



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Caracterización físico-química del agua residual,
efluente, de la Escuela Nacional de Estudios
Profesionales Zaragoza Campus II

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO
P R E S E N T A N :
ROGELIO GARCIA JUAREZ
GELASIO PEREZ VALVERDE

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Página

INTRODUCCION

I. FUNDAMENTACION DEL TEMA

| | |
|--|----|
| A. Medida del caudal | 3 |
| B. Muestreo | 4 |
| C. Análisis de muestras | 4 |
| D. Resultados analíticos | 5 |
| E. Características de las aguas residuales | 5 |
| 1. Características Físicas | 7 |
| 1.1. Definición y aplicación | 7 |
| 1.2. Sólidos Totales | 7 |
| 1.3. Turbiedad | 8 |
| 1.4. Temperatura | 9 |
| 1.5. Color | 10 |
| 1.6. Olor | 10 |
| 1.7. Conductividad | 11 |
| 1.8. pH | 11 |
| 2. Características Químicas | 12 |
| 2.1. Definición y Aplicación | 12 |
| 2.2. Materia Orgánica | 12 |
| 2.2.1. Proteínas | 13 |
| 2.2.2. Carbohidratos | 13 |
| 2.2.3. Grasas y Aceites | 14 |
| 2.2.4. Detergentes | 14 |
| a. Espuma | 15 |
| b. Eutroficación | 15 |
| 2.2.5. Fenoles | 16 |
| 2.2.6. Pesticidas y productos químicos agrícolas | 16 |
| 2.2.7. Cianuros | 17 |
| 2.3. Medida del contenido orgánico | 17 |
| 2.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno | 18 |
| 2.3.2. Demanda Química de Oxígeno | 20 |
| 2.4. Materia Inorgánica | 22 |
| 2.4.1. Acidez | 22 |
| 2.4.2. Alcalinidad | 22 |
| 2.4.3. Dureza Total | 23 |
| 2.4.4. Sulfatos | 23 |
| 2.4.5. Relación de Absorción de Sodio (RAS) | 24 |
| 2.4.6. Cloruros | 24 |
| 2.4.7. Fosfatos | 25 |
| 2.4.8. Nitrógeno | 25 |
| 2.4.9. Metales Pesados | 26 |
| 2.4.10. Compuestos Tóxicos | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.5. Gases Disueltos | 27 |
| 2.5.1. Oxígeno disuelto | 28 |
| 2.5.2. Sulfuro de Hidrógeno | 28 |
| 2.5.3. Metano | 28 |
| 3. Características Biológicas | 29 |
| 3.1. Definición y Aplicación | 29 |
| 3.2. Organismos Coliformes | 29 |
| F. Legislación para descargas de aguas residual | 31 |
| G. Reglamento para la prevención y el control de la contaminación de aguas | 33 |
| H. Tipos de tratamientos | 33 |
| 1. Tratamiento preliminar | 34 |
| 2. Tratamiento primario | 34 |
| 3. Tratamiento secundario | 34 |
| 4. Tratamiento terciario | 35 |
| II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 36 |
| III. OBJETIVOS | 37 |
| IV. HIPOTESIS | 38 |
| V. MATERIAL Y METODO | 39 |
| 1. Agua potable | 39 |
| 2. Agua residual | 40 |
| A. Medida del caudal | 40 |
| B. Muestreo | 41 |
| C. Análisis de Muestras | 42 |
| VI. RESULTADOS | 43 |
| VII. ANALISIS DE RESULTADOS | 59 |
| VIII. CONCLUSIONES | 71 |
| IX. PROPUESTAS | 73 |
| X. BIBLIOGRAFIA | 75 |

INDICE DE TABLAS

| | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| Tabla 1. Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua residual | 6 |
| Tabla 2. Métodos oficiales para el análisis de agua y agua residual | 39 |
| Tabla 3. Condiciones de almacenamiento y preservación de muestras de agua residual | 42 |
| Tabla 4. Resultados promedio del análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua potable que recibe la ENEP Zaragoza en mg/L, excepto donde se indica. | 43 |
| Tabla 5. Variación del caudal promedio del agua residual con respecto al tiempo, en época de estiaje de la ENEP Zaragoza Campus II | 44 |
| Tabla 6. Resultados del análisis de agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II | 46 |
| Tabla 7. Límites máximos permisibles de la NOM-CCA-031-Ecol/93 en comparación con los resultados promedio de la ENEP Zaragoza Campus II. | 60 |
| Tabla 8. Composición típica del agua residual doméstica en comparación con el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II | 61 |
| Tabla 9. Clasificación de reusos de agua renovada | 64 |
| Tabla 10. Normas de calidad de agua renovada para su reuso, dictadas por la DGCOH en comparación con los resultados promedio de la ENEP Zaragoza Campus II | 65 |
| Tabla 11. Eficiencias en porcentaje de remoción, utilizando tratamiento secundario de lodos activados | 68 |
| Tabla 12. Parámetros estadísticos determinados de los valores del análisis para el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II | 69 |

INDICE DE GRAFICAS

| | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| Gráfica 1. Variación horaria del flujo de agua residual en tiempo seco de la ENEP Zaragoza campus II. | 45 |
| Gráfica 2. Variación de la alcalinidad del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II | 47 |
| Gráfica 3. Cianuros | 47 |
| Gráfica 4. Cloruros | 48 |
| Gráfica 5. Coliformes fecales y totales | 48 |
| Gráfica 6. Conductividad | 49 |
| Gráfica 7. DBO₅ y DQO | 49 |
| Gráfica 8. Detergentes | 50 |
| Gráfica 9. Materia Flotante | 50 |
| Gráfica 10. Dureza total | 51 |
| Gráfica 11. Fenoles | 51 |
| Gráfica 12. Fosfatos | 52 |
| Gráfica 13. Grasas y Aceites | 52 |
| Gráfica 14. Nitratos | 53 |
| Gráfica 15. Nitrógeno | 53 |
| Gráfica 16. Variación del pH | 54 |
| Gráfica 17. Sólidos en todas sus formas | 54 |
| Gráfica 18. Sólidos sedimentables | 55 |
| Gráfica 19. Sulfatos | 55 |
| Gráfica 20. Temperatura | 56 |
| Gráfica 21. Turbiedad | 56 |
| Gráfica 22. Metales I | 57 |
| Gráfica 23. Metales II | 57 |
| Gráfica 24. Metales Mayoritarios | 58 |

INTRODUCCION

El agua es elemental para la vida, materia prima esencial utilizada en numerosos procesos industriales, se usa como disolvente, reactivo, medio de reacción, medio de transporte y transferencia de calor. El funcionamiento y expansión futuras de la industria y por tanto de nuestro nivel de vida, depende en gran parte de que se mantengan los suministros existentes.

Sin embargo, puesto que el agua es abundante en ciertas regiones, se ha descuidado y usado irracionalmente, lo que conduce a su contaminación de manera alarmante. ⁽¹⁾

Haciendo referencia a la ciudad de México, la insuficiencia del agua ha obligado a invertir enormes sumas para traerlas de cuencas alejadas, como los sistemas Cutzamala, Toluca, Lerma, Ixtlahuaca y Amacuzac. Estos caudales, además de insuficientes, afectan las cuencas hidrológicas de donde es extraída, de tal forma que el costo social real del líquido sea muy elevado. Mediante un sistema de pozos se extraen 45 metros cúbicos por segundo de la cuenca del Valle de México, y la recarga en forma natural fluctúa entre 20 y 25 metros cúbicos por segundo, esto explica el trasvase de agua de otras cuencas. ⁽²⁾

Aunado a la falta de agua potable, surge el problema de su contaminación. Actualmente la descarga de aguas residuales provenientes de centros urbanos corresponde a un caudal de 120 metros cúbicos por segundo; por lo que respecta al sector industrial, este genera aguas residuales de características muy variadas, las que en su mayoría resultan altamente contaminantes para los cuerpos de agua receptores, por verter a estos sin tratamiento alguno. Se estima que la industria descarga, a nivel nacional, un caudal de aguas residuales de 83 metros cúbicos por segundo, siendo los principales giros contaminantes los correspondientes a la industria del azúcar, Química, celulosa y papel, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica y alimentos. ⁽³⁾

Menos del 20% de las aguas residuales provenientes de centros urbanos, reciben tratamiento adecuado, no siendo más halagadora la situación en el sector industrial.

El aumento en el conocimiento en años de los efectos de la contaminación, ha llevado a una mayor preocupación y legislación cada vez más estricta, en lo que concierne al vertido de residuos industriales, líquidos y gaseosos.

Los requerimientos de agua de diferente calidad, que satisfaga la creciente demanda de la población, implica una mayor explotación del recurso, la tecnología hasta ahora desarrollada permite considerar a las aguas residuales, como una fuente más de abastecimiento, aún cuando se consideren para fines domésticos como lo son la higiene sanitaria y el riego de áreas verdes. (3)

Por definición, el agua residual, es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original. (4)

El agua residual recogida de pueblos y ciudades debe devolverse a las aguas de nuestro planeta, los contaminantes que deben de eliminarse y hasta que punto, es la pregunta que se debe de hacer en cada caso, a la vista de un análisis de las condiciones locales, conocimiento científico, experiencia previa y juicio técnico.

I. FUNDAMENTACION DEL TEMA

Los dos primeros pasos para resolver un problema de aguas residuales son su identificación y establecer los requisitos necesarios respecto a su tratamiento. Definido el problema y fijado los requisitos para la evacuación de los caudales, se efectuará un examen del agua residual para:

1. Obtener los datos necesarios que caracterizan los distintos vertidos .
2. Determinar si las características del agua residual son alterables y si su volumen puede reducirse mediante modificaciones convenientes en los procesos u operaciones de fabricación o en los métodos utilizados para la recolección de las aguas residuales.

Las fábricas e instituciones que producen caudales de aguas residuales importantes, generan distintos contaminantes de diversas características que conforman el efluente final. Primero se analizan las procedencias de cierta importancia determinando caudales, tomando muestras de las aguas residuales y caracterizandolas mediante análisis de laboratorio.

Los procedimientos que comprende la realización de un exámen de agua residual al abordar un problema de tratamiento se exponen a continuación.

A. Medida del caudal.

Las medidas del caudal se realizan con el fin de obtener las siguientes características 1). Determinar el grado de variación del mismo, 2). Establecer un programa representativo del muestreo, 3). Fijar los volúmenes de aguas residuales a ser tratados y 4). Determinar el tipo de instalaciones necesarias para manipular los caudales que sean fluctuantes. El investigador tendrá que elegir el método, el equipo y el lugar para obtener los datos del caudal y considerar el tipo de medidor, su ubicación, costo de instalación, calidad de los datos obtenidos y su conveniencia para el trabajo en cuestión.

B. Muestreo.

Las técnicas de muestreo utilizadas en un examen de aguas, aportarán muestras representativas, ya que los datos que se obtengan del análisis de las mismas, servirán de base para el diseño de las instalaciones de tratamiento. Este se hará en cada caso, de modo que se ajuste a la operación de cada fábrica o institución y a las características del residuo producido.

El examen de planos, que muestren las conducciones y pozos de registro (de visita), facilitará la localización de los puntos idóneos para llevar a cabo el muestreo de las aguas, deberán estar situados donde las condiciones de flujo sean tales que provoquen una mezcla homogénea.

El grado de variación del caudal indicará el intervalo del tiempo del muestreo, el cual deberá ser suficientemente corto a fin de proporcionar una representación real del flujo. Debe tenerse presente que, incluso cuando los caudales varíen ligeramente, la concentración de los contaminantes residuales llegan a variar mucho en algunos casos. El muestreo frecuente (Intervalos uniformes de 10 a 15 min.) permite la estimación de la concentración media durante el período de muestreo.⁽¹²⁾

De nada servirá un programa de muestreo realizado con todo cuidado si la integridad Química, Física y Biológica de las muestras no se mantiene durante los periodos intermedios entre la recogida y análisis de la muestra. Cuando las condiciones analíticas y de ensayo aconsejen un intervalo de tiempo entre la toma y el análisis, tal y como sucede cuando se toma una muestra compuesta de 8, 16 y 24 horas, se tomarán las medidas necesarias para preservar las muestras.⁽¹³⁾

C. Análisis de muestras.

El análisis de las muestras es el siguiente paso del estudio; los análisis específicos a realizar dependen del tipo de la actividad y de la finalidad del examen en cuestión

aparte. Datos sobre agua residual doméstica pueden utilizarse a modo de guía para determinar los tipos de análisis que se efectúen de forma rutinaria.

D. Resultados analíticos.

Los resultados son dados en miligramos por litro (mg/L), excepto en algunas determinaciones donde se indique lo contrario, como conductividad, temperatura, etc. Para los sistemas diluidos en los que un litro pesa un kilogramo, tales como los constituidos por las aguas naturales y residuales, la unidad mg/L se expresa como partes por millón (ppm), que es la relación de peso a peso.

E. Características de las aguas residuales

Los análisis realizados con aguas residuales pueden clasificarse en Físicos, Químicos y Biológicos. Los principales parámetros utilizados para caracterizar un agua residual se citan en la *tabla 1*. Estos análisis varían desde precisas determinaciones Químicas cuantitativas hasta determinaciones cualitativas de carácter Biológico y Físico. Además muchos de los parámetros están interrelacionados entre si. Esta misma tabla presenta el origen de los parámetros, incluyéndolos dentro de las secciones que se refieren a las características Físicas, Químicas y Biológicas del agua residual. (2)

Tabla 1. Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua residual.

| Físicas | |
|----------------|--|
| PARAMETRO | ORIGEN |
| Sólidos | Suministros de agua, residuos Industriales y doméstico |
| Temperatura | Residuos Industriales y domésticos |
| Color | Residuos Industriales y domésticos |
| Olor | Agua residual en descomposición, residuos industriales |
| pH | Residuos Industriales |

| Químicas | |
|---|---|
| ORGANICO | |
| Proteínas | Residuos comerciales y domésticos. |
| Carbohidratos | Residuos comerciales y domésticos. |
| Grasas animales, aceites y grasas minerales | Residuos Industriales, comerciales y domésticos. |
| Agentes tensoactivos | Residuos Industriales y domésticos. |
| Fenoles | Residuos Industriales . |
| Pesticidas | Residuos agrícolas. |
| INORGANICO | |
| Cloruros | Suministro de agua doméstica, residuos industriales, infiltración de aguas. |
| Alcalinidad | Suministro de agua doméstica, residuos industriales, infiltración de aguas. |
| Nitrógeno | Residuos agrícolas y domésticos. |
| Fósforo | Residuos industriales y domésticos, derrame natural. |
| Azufre | Suministro de agua doméstica y residuos Industriales. |
| Compuestos tóxicos | Residuos Industriales, infiltración de agua subterránea. |
| Metales pesados | Residuos Industriales. |
| GASES | |
| Oxígeno | Suministro de agua doméstica, infiltración de agua de superficie. |
| Sulfuro de hidrógeno | Descomposición de aguas domésticas. |
| Metano | Descomposición de aguas domésticas. |

| Biológicas | |
|------------------------------|----------------------|
| Coliformes totales y fecales | Residuos domésticos. |

1. Características Físicas

1.1. Definición y aplicación.

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, olor, conductividad, turbiedad y pH.

1.2. Sólidos Totales.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico, además del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas como ya se indicó anteriormente. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura y ablandadores de agua.

Análíticamente, el contenido total de sólidos de una agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. Los sólidos totales o residuos de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos y 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 (1 μm). La fracción de sólidos suspendidos incluyen los sólidos sedimentables que se depositarán en un recipiente en forma de cono (llamado como Imhoff) durante un periodo de 60 min. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

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^{-3} y 1 μm . Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, inorgánicas y iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción

coloidal no puede eliminarse por sedimentación, por lo general, se requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse nuevamente en base 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 (mineral) de los sólidos suspendidos. A 600°C la descomposición de las sales inorgánicas se limita al carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y bióxido de carbono a 350°C. El carbonato cálcico, principal componente de las sales inorgánicas, es estable hasta una temperatura de 825°C, el análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los fangos del agua residual para medir su estabilidad biológica. (6)

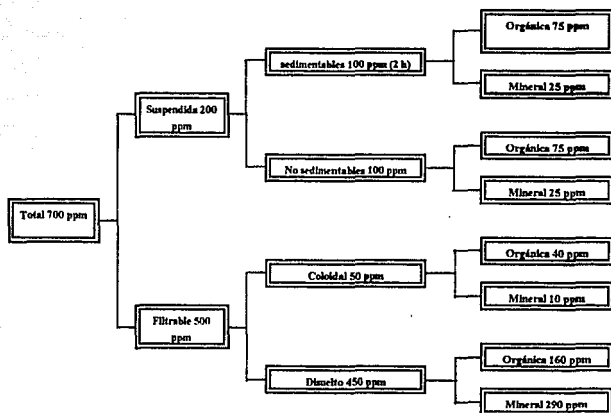
El contenido de sólidos de un agua residual de intensidad media puede clasificarse como se indica en la figura 1.

1.3. Turbiedad.

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que provoca en una muestra que la luz se desvíe o se absorba en lugar de transmitirse en línea recta. La turbiedad en el agua es debida a la presencia de partículas de material suspendido, que varía desde arcillas a materia orgánica e inorgánica finamente diluida. La turbiedad debida a la materia orgánica depende de la concentración más que del tamaño.

En el aspecto inorgánico los tamaños de las partículas que causan la turbiedad, varía de diámetros que van desde 0.2 micras a 0.5 micras o mayores, las que exceden de 1 micra de diámetro generalmente sedimentan rápidamente. Las partículas menores se clasifican como coloidales y pueden permanecer mucho tiempo suspendidas.

Fig. 1. Clasificación de los sólidos presentes en un agua residual de intensidad media



La turbiedad excesiva, reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua, afectando la fotosíntesis que realizan los microorganismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación. La turbiedad en el agua es removida por una combinación de coagulación, sedimentación y filtración. Las columnas de intercambio iónico utilizadas para el ablandamiento de aguas, pierde su capacidad al aumentar la turbiedad.

1.4. 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. Dependiendo de la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10 a 21°C, siendo 15°C un valor promedio.

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 útiles, por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en fría. El aumento de la velocidad de reacciones químicas que suponen un aumento de temperatura, junto con la disminución de oxígeno presente en las aguas superficiales, pueden frecuentemente provocar graves agotamientos de las concentraciones de oxígeno disuelto, además pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos.

1.5. 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, algunos efluentes de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica.

1.6. Olor.

Los olores son debidos 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, cuyo olor característico es el del sulfuro de hidrógeno (H_2S) producido por microorganismos anaerobios que reducen

los sulfatos. Las aguas residuales industriales contienen a veces compuestos fétidos capaces de producir olores en el proceso de tratamiento.

1.7. Conductividad.

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la propiedad de una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia y de la temperatura. La conductividad está relacionada con la cantidad de sólidos disueltos, varía con la temperatura así como la concentración electrolítica. El coeficiente de conductancia de soluciones electrolíticas en agua, es siempre positiva y de una magnitud del 1 al 3%, por grado centígrado, la temperatura de referencia en las mediciones de Conductividad es de 25°C.

Para las aguas de irrigación, la conductividad expresa salinidad, se ha tomado el valor de una solución de cloruro de sodio (NaCl) 0.05 N con una conductancia de 604 micromhos/cm a 25°C, como el factor que al multiplicarlo por la conductividad expresa la salinidad como se indica:

$$\text{Salinidad} = (\text{micromhos/cm}) \times 604$$

Es importante conocer el valor de la conductividad, pues al aumentar, aumenta la presión osmótica, lo que ocasiona una disminución en la respiración de las plantas.

(10)

1.8. pH.

El potencial de hidrógeno (pH) indica la intensidad ácida o alcalina de una solución. El pH de las aguas negras es normalmente cercano a 7; cambios en los valores de pH suelen ser indicadores de la presencia de descargas industriales, éstas frecuentemente dañan los sistemas de alcantarillado y complican el tratamiento, ya que

hay que incluir procesos de neutralización en forma complementaria con objeto de evitar alteraciones en el proceso, además su intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

2. Características Químicas.

2.1. Definición y Aplicación.

Esta sección se divide en cuatro categorías generales que tratan de: Materia orgánica, medida del contenido orgánico, materia inorgánica y gases que se encuentran en agua residual. La medida del contenido orgánico se discute por separado, dada su importancia en el proyecto y funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y en la gestión de la calidad del agua.

2.2. Materia Orgánica.

En un agua residual de intensidad media, el 75 % de los sólidos suspendidos y el 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica, tal y como se muestra en la figura 1, proceden de los reinos vegetal y animal así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, estos 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 también. 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 orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es muy raramente encontrada en un agua residual que no sea muy reciente.

El agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede variar desde muy simple hasta sumamente compleja. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos (detergentes), fenoles y pesticidas usados en la agricultura. Por otro lado el número de tales

compuestos aumenta año tras año al incrementarse la síntesis de moléculas orgánicas, la presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente o bien lo hacen muy lentamente, este factor justifica el creciente interés por el uso de precipitación química seguida de la adsorción por carbón activado para el tratamiento completo del agua residual.

2.2.1. Proteínas.

Todas las proteínas contienen carbono, que es común a todas las sustancias orgánicas así como oxígeno e hidrógeno. Además, como característica que las distingue, tienen proporción bastante elevada y constante de Nitrógeno de aproximadamente el 16%. En muchos casos, también son componentes el azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual; cuando este elemento se halle presente en grandes cantidades, es posible que se produzcan olores extremadamente desagradables debido a la descomposición.

2.2.2. Carbohidratos.

Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, los azúcares son solubles en agua, otros tales como los almidones, son insolubles. Los azúcares tienen predisposición a la descomposición con las enzimas de ciertas bacterias, los fermentos dan lugar a la producción de alcohol y bióxido de carbono. Los almidones por su lado son más estables pero se transforman en azúcares por la actividad microbiana así como los ácidos minerales diluidos. La celulosa es el carbohidrato más importante que se encuentra en el agua residual; la destrucción de la celulosa en el suelo progresa sin dificultad, principalmente como resultado de la actividad de distintos hongos, especialmente cuando prevalezcan condiciones ácidas.

2.2.3. *Grasas y Aceites.*

El término *grasa*, normalmente utilizado, incluye las *grasas animales*, aceites, ceras y otros constituyentes que se encuentran en agua residual. El contenido de grasas se determina mediante la extracción de la muestra con hexano. Otro grupo de sustancias solubles en hexano son los aceites minerales, tales como el queroseno, aceites lubricantes y aceites procedentes de materiales bituminosos usados en la construcción de carreteras.

Las grasas son uno de los compuestos más estables y no se descomponen fácilmente por acción bacteriana. Sin embargo los ácidos minerales las atacan, formando glicerina y ácido graso. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido de sodio, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos, generalmente conocidos como jabones. Estos son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza, las sales sódicas se transforman en sales de calcio y magnesio de los ácidos grasos (jabones minerales), que son insolubles y precipitan. El queroseno y los aceites lubricantes se derivan del petróleo. Estos llegan a veces a las alcantarillas procedentes de tiendas, talleres automotrices y gasolineras. En su mayoría flotan sobre el agua residual e interfieren con la acción biológica.

El contenido de grasa del agua residual puede motivar varios 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, como ya mencionamos, con la vida biológica en las aguas y crear películas imperceptibles.

2.2.4. *Detergentes (Sustancias Activas al Azul de Metileno).*

Los detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido donde se encuentran disueltos, de modo que este adquiere mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales, y se extienden más fácilmente a la superficie de los cuerpos en los que se aplica. Contienen de 20 al

30% de una sustancia activa, llamada surfactante o tensoactivo, y del 70 a 80% de aditivos que sirven para aumentar las propiedades de los detergentes; entre los aditivos más comunes se hallan: Tripolifosfato de sodio (de 25 a 50%), Sulfato de sodio (del 5 al 10%), Silicato de sodio (de 2 a 10%), Bloqueadores ópticos (trazas).

En general la molécula del surfactante presenta una cadena polar alifática, que es hidrofílica y una aromática hidrofóbica. A esta dualidad de la molécula, se deben las propiedades humectantes, dispersantes y emulsificantes de los detergentes. Los surfactantes se clasifican de acuerdo a su disociación electrolítica, la cual depende del grupo polar y pueden ser de tres tipos: Aniónicos, Catiónicos y no iónicos.

Dificultades causadas en agua de desecho son:

A. Espuma.

En plantas de tratamiento provoca problemas de operación, oculta los equipos de control y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos, también dificulta la difusión y dilución del oxígeno atmosférico en el agua.

B. Eutroficación.

Los detergentes presentan un alto contenido de fosfatos, los cuales son nutrientes que incrementan la población de la flora acuática, al morir se degrada formando pantanos, esto provoca una mayor demanda de oxígeno que perjudica a la fauna y al propio cuerpo del agua.

Otros aspectos secundarios producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales son: Cambios en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y en los sólidos suspendidos, formación de floculos, efectos corrosivos en las partes mecánicas e interferencias en el proceso de cloración.

Tras la entrada en vigor de la legislación de 1965, compuestos como el SAB (sulfonato de alquilo benceno) fue sustituido por sulfonato de alquilo lineales (SAL),

que son biodegradables.⁽⁵⁾ Puesto que los agentes tensoactivos procedían principalmente de detergentes sintéticos, el problema de la formación de espuma se redujo en gran medida. La determinación de los agentes tensoactivos se determina por el método del azul de metileno, midiendo el color en una solución normalizada.

2.2.5. Fenoles.

El fenol, derivado monohidroxilado del benceno, es ampliamente usado como desinfectante y en la síntesis de productos orgánicos, particularmente resinas. Se presenta como componente natural de las aguas residuales de las industrias del petróleo, gas alumbrado, plantas de coque y de procesos que comprenden el uso del fenol como materia prima.

El término "Fenoles", incluye los derivados orto-, meta- y para- sustituidos por halógenos o por un grupo alquilo, aldehído, amílico, nitrofenilo, nitroso y del ácido sulfónico. Dada la diversidad de compuestos fenólicos, el fenol propiamente dicho, ha sido seleccionado como patrón y cualquier reacción producida por los compuestos fenólicos se reporta como tal. Entre las principales fuentes de contaminación de este tipo de compuestos tenemos: Las industrias de aluminio, automotriz, de compuestos químicos orgánicos, refinación del petróleo, materiales plásticos y sintéticos, papel y acero.

La remoción de olores provocados por el fenol, es un problema serio en las plantas de tratamiento. Para resolverlo se usan procesos como cloración, tratamiento con dióxido de cloro o cloroamoníaco, ozonización y adsorción con carbón activado.

2.2.6. Pesticidas y productos químicos agrícolas.

Los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros compuestos 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 del escurrimiento de parques, campos agrícolas y tierras abonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne de pescado que disminuye así su valor como fuente de alimentación y el empeoramiento del suministro de agua.

La concentración de estos contaminantes se determina por el método de extracción y se determinan por cromatografía de gases.

2.2.7. Cianuros.

Los cianuros, representados por ácido cianhídrico y sus sales son importantes contaminantes químicos industriales. Son extremadamente tóxicos, especialmente a valores de pH bajos (menores de 7), esto es porque los cianuros actúan inhibiendo las reacciones de oxidación fosforilativa, las cuales permiten la respiración celular. Los compuestos con cianuros formados por la reacción de CN^- con metales pesados pueden ser más tóxicos. Por esta razón el control de cianuro en efluentes industriales es muy importante, su remoción es comúnmente efectuada por aplicación de cloro, el cual progresivamente oxida a este compuesto, sin embargo, esto también puede producir la formación de compuestos organoclorados.

2.3 Medida del contenido orgánico.

En el transcurso de los años se han desarrollado una serie de ensayos para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Un método ya discutido, consiste en medir la fracción volátil de los sólidos totales, pero raramente es empleado. Los métodos de laboratorio utilizados actualmente son el de la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono Orgánico Total (COT). Los métodos usados, anteriores a los mencionados arriba, incluían: Nitrógeno total, Albuminoide, Orgánico, Amoniacal y Oxígeno consumido.

Estas determinaciones, a excepción del nitrógeno albuminoide y el oxígeno consumido, figuran aún en los análisis completos de aguas residuales. Sin embargo, mientras antes se utilizaban para indicar el contenido de la materia orgánica, en la actualidad son empleados para determinar la disponibilidad de nitrógeno, de esta forma se mantiene la actividad biológica en los procesos de aguas residuales industriales y para evitar crecimientos indeseables de algas en las aguas receptoras.

2.3.1. *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).*

El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los cinco días (DBO_5). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica. La DBO es fundamental en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad del agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos de la DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos, así mismo se puede calcular la velocidad a la que se requerirá el oxígeno.

Las limitaciones de la determinación de la DBO incluyen la necesidad de una elevada concentración de bacterias activas y aclimatadas que hagan de inóculo, de un pretratamiento cuando haya residuos tóxicos y la reducción de los efectos provocados por organismos nitrificantes. El arbitrario y prolongado período de tiempo requerido para obtener resultados, el hecho de que sólo se midan los productos orgánicos biodegradables, y el que el ensayo no tenga validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada. ⁽¹⁷⁾

Esta prueba es una serie de bioensayos en condiciones muy similares a las naturales, la degradación de la materia orgánica efectuada por los organismos en

condiciones aerobias, llega hasta una oxidación completa, es decir, dióxido de carbono, agua y amoníaco.

Las reacciones oxidativas efectuadas en la DBO son el resultado de una actividad biológica, la velocidad a la que se llevan a cabo está regida por la población de microorganismos y la temperatura. Efectos de la temperatura se controlan manteniendo la prueba a 20°C.

En forma teórica, se requiere de un tiempo infinito para una oxidación biológica de la materia orgánica, pero para fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días. Sin embargo, la mayoría de los casos un período de 20 días es grande para esperar resultados. Se ha encontrado por experiencia, que un porcentaje razonablemente alto de la DBO total se logra en 5 días, aproximadamente el 70-80% en aguas residuales domésticas y muchas industriales, por consiguiente, el lapso de 5 días de incubación se ha aceptado como patrón.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales y los efluentes de plantas de tratamiento es debida a tres clases diferentes de materiales:

- A. Material orgánico carbonoso, utilizable como fuente de alimento para los organismos aerobios.
- B. Nitrógeno oxidable, derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico que sirven de alimento a bacterias específicas (*Nitrosomas* y *Nitrobacter*).
- C. Ciertos compuestos químicos reductores, fierro ferroso, sulfitos, sulfuros y aldehídos que reaccionan con el oxígeno molecular.

En aguas residuales domésticas gran parte de la demanda se debe a la primera clase de materiales y se determina por la prueba de la DBO a los cinco días. En efluentes tratados biológicamente, una proporción considerable en la demanda de oxígeno puede deberse a la oxidación de los compuestos de la segunda clase, y también

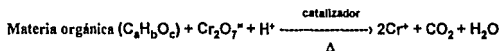
pueden determinarse por la prueba de DBO. Los materiales existentes en la clase c no pueden ser incluidos en la prueba de la DBO pero deben tomarse en cuenta.

Se ha establecido que la cinética de la reacción es de primer orden, porque su velocidad es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable remanente, y es modificada por la población de organismos activos. (9)

2.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido. El dicromato de potasio resulta excelente para tal fin. La determinación debe realizarse a temperatura elevada. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador (sulfato de plata).

Puesto que algunos compuestos inorgánicos interfieren con el ensayo, se tendrá cuidado en eliminarlos previamente. La reacción principal utilizando dicromato como agente oxidante puede representarse de un modo general por la siguiente ecuación esquemática:



La DQO se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la DBO, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO, esto resulta muy útil porque la DQO puede determinarse en tres horas comparado con los cinco días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida pueden

utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de una planta de tratamiento.

Dentro de las ventajas de la DQO se encuentran: El costo del equipo y el tiempo son menores, sus condiciones de oxidación son mucho más efectivas al abarcar un mayor espectro de compuestos químicos, especialmente en ciertos desechos con sustancias tóxicas, en donde la DQO puede ser el único método para determinar la carga orgánica del desecho. Los resultados de la DQO sumados al oxígeno equivalente para lograr la oxidación del amoníaco (NH_3) para formar nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3), y del nitrógeno orgánico (aminas, amidas, imidas y los compuestos diazoicos) se consideran como una muy buena estimación de la DBO última para muchos desechos municipales domésticos. Dentro de las limitaciones tenemos ciertos compuestos no susceptibles a la oxidación de las condiciones de la prueba, o son demasiado volátiles para poder permanecer en el matraz al ser oxidados a la temperatura elevada del sistema.

Sustancias inorgánicas como el hierro ferroso (Fe^{+2}), Sulfuros (S^{-2}), Sulfitos (SO_3^{-2}), Tiosulfatos ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$) y Nitritos (NO_2^-) bajo las condiciones de la prueba son oxidadas, creando una DQO inorgánica, la cual interfiere cuando se estima el contenido orgánico de un agua residual. Los cloruros causan el problema más serio, debido a su concentración relativamente grande en la mayoría de influentes, el problema se corrige utilizando sulfato de mercurio (Hg_2SO_4).

Fundamentalmente la calidad química del agua residual, según Qasim ⁽⁶⁾, es expresada en términos de constituyentes orgánicos e inorgánicos. Un agua residual doméstica generalmente contiene 50% de materia orgánica y 50% de materia inorgánica.

2.4 Materia Inorgánica.

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para establecer su calidad. Las concentraciones de estas sustancias aumentan por la formación geológica con la que el agua entra en contacto, también por las aguas residuales tratadas o sin tratar que son vertidas. 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 raramente tratadas para eliminar sus constituyentes inorgánicos que se añaden en su utilización. La concentración de estos constituyentes inorgánicos aumenta igualmente debido al proceso natural de la evaporación, que elimina parte del agua superficial. Puesto que el contenido de los distintos constituyentes inorgánicos puede afectar grandemente a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de alguno de ellos, especialmente los que se añaden en su utilización.

2.4.1. Acidez

La acidez del agua se puede deber a la presencia de Dióxido de Carbono combinado, ácidos minerales o de sales de ácidos fuertes y bases débiles. En esta última categoría se encuentran las sales de hierro y aluminio provenientes de minas o de origen industrial, en algunos desechos industriales, la acidez se debe a la presencia de ácidos, principalmente en la industria metalúrgica. Las aguas ácidas poseen propiedades corrosivas atacando cualquier tipo de tubería, alteran el pH provocando reacciones secundarias y alteran las relaciones ecológicas del cuerpo del agua.

2.4.2. 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, aunque también contribuyen otras sales de ácidos débiles como boratos, silicatos y fosfatos. De estos, los más frecuentes son los bicarbonatos de magnesio y

calcio. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo del agua de suministro, subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico. Se determina por titulación con un ácido normalizado; los resultados se expresan en carbonato de calcio.

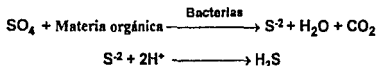
2.4.3. Dureza total.

La dureza es causada por la presencia de cationes metálicos divalentes, los cuales reaccionan con el jabón formando precipitados y con ciertos aniones ocasionando incrustaciones. Los principales cationes que causan dureza son: Calcio, Magnesio, Estroncio, Hierro y Manganeseo. Los iones Al^{+3} y Fe^{+3} a veces se consideran como dureza, pero su solubilidad es tan limitada a los valores naturales de pH, que sus concentraciones iónicas son despreciables.

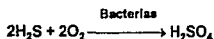
2.4.4. Sulfatos.

La presencia de sulfatos puede ser perjudicial debido a la formación de incrustaciones; el concreto al contacto con aguas de altas concentraciones de sulfatos, se deteriora debido a ciertos cambios químicos que forman cristales de sulfoluminato, los cuales originan una expansión del material que destruye su textura.

También son responsables en forma indirecta de problemas de olor y corrosión de tuberías, fenómenos que están relacionados con el manejo y tratamiento de aguas residuales, originados por una reducción química en condiciones anaerobias, produciéndose ácido sulfhídrico, bajo la reacción siguiente:



El H_2S puede ser oxidado biológicamente en condiciones aerobias a H_2SO_4 , el cual es corrosivo para las tuberías del alcantarillado (efecto corona).⁽²⁾



Los sulfatos son reducidos a sulfuros en los digestores de fangos y pueden alterar los procesos biológicos si las concentraciones son altas.

2.4.5. Relación de Absorción de Sodio. (RAS).

Existen muchas clasificaciones establecidas para las aguas destinadas al riego, sean tratadas o potables, exponiendo por su generalidad las que definen el índice RAS.

La clasificación establecida se basa en las siguientes características:

- A. La concentración total de sales solubles, expresada mediante la conductividad eléctrica en micromhos/cm a 25°C .
- B. La concentración relativa de sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice RAS, que se calcula con la ecuación siguiente:

$$RAS = \frac{r \text{ Na}}{[(rCa + rMg)/2]^{1/2}} \quad r = \text{meq/L}$$

Para que un índice sea representativo, no deben producirse precipitaciones de las sales cálcicas o magnésicas como consecuencia de la evapotranspiración. A las aguas de un RAS constante se les atribuye, un mayor, peligro de alcalinización del suelo cuanto mayor es la concentración total. ⁽¹¹⁾

2.4.6. 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, en las regiones costeras, debido a la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales.

Las heces humanas, por ejemplo, contienen unos 6 gramos 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.

2.4.7. Fosfatos.

El fósforo se encuentra presente en las aguas naturales y en las aguas de desecho en diversas formas, como ortofosfato, fosfato hidrolizado o condensado, como parte de un compuesto orgánico. Puede presentarse en forma soluble, en partículas de detritus o en los organismos acuáticos y en los sedimentos de los cuerpos de agua. Las diversas formas de fosfatos provienen de una gran variedad de fuentes como son aguas de uso agrícola (fertilizantes), escurrimientos superficiales, aguas de desecho de origen doméstico, detergentes, procesos de control de corrosión e incrustaciones y microorganismos.

El fósforo es un elemento que tiene mucha inferencia en los estudios de calidad del agua, debido a que influye sobre los procesos de productividad acuática, disminuye los procesos de coagulación de tratamiento de aguas y es difícil removerlo mediante tratamientos convencionales para obtener concentraciones bajas. Siendo un nutriente primario pueden causar crecimiento excesivo de algas y malezas en el cuerpo de agua (Eutroficación).⁽⁹⁾

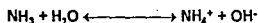
2.4.8. Nitrógeno.

Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para las síntesis de proteínas, se necesitará conocer datos sobre él 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, por otro lado, cuando sea necesario el control del crecimiento de algas en el agua receptora para proteger los usos a los que se destina, puede ser conveniente la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes de su descarga.

El nitrógeno presente en el agua residual reciente, se encuentra principalmente en la forma de urea y materia protéica. 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 o descomposición de las proteínas vegetales y animales por las bacterias produce de nuevo amoníaco.

El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa, bien como ión amonio o como amoníaco, dependiendo ello del pH de la solución, según la siguiente ecuación de equilibrio:



A niveles de pH superior a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda; a niveles de pH inferiores de 7, el ión amonio es predominante. El nitrógeno se determina por el método Kjeldahl.

2.4.9. Metales pesados.

Concentraciones muy bajas de muchos metales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg) son constituyentes en muchas aguas. Algunos de estos metales son importantes para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidad suficiente podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia de estos elementos en cantidades excesivas interferirá con muchos usos dada su toxicidad, por eso, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

Las cantidades de estos elementos pueden determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales como la polarigrafía y la espectrofotometría de absorción atómica.

La presencia de estos elementos en el agua potable, generalmente provoca alteraciones de tipo fisiológico sobre las personas que la ingieren, para una revisión de los efectos de los metales pesados sobre el medio ambiente, se recomienda el estudio realizado por McKee y Wolf. ⁽¹⁶⁾

2.4.10. *Compuestos Tóxicos.*

Por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre (Cu), plomo (Pb), plata (Ag), cromo (Cr), boro (B) y arsénico (As) son tóxicos para los microorganismos en diferentes grados y por lo tanto, deben tenerse en consideración al proyectar una planta de tratamiento biológico.

Por ejemplo, en los digestores de fango, el cobre es tóxico a una concentración de 100 mg/L; el cromo (Cr) y el níquel (Ni) son tóxicos a concentraciones de 500 mg/L; y el sodio es tóxico también a concentraciones elevadas. ⁽²⁰⁾

Los cationes como el potasio y el amoníaco suelen ser tóxicos a concentraciones por encima de los 4000 mg/L. Los iones de calcio precipitan al combinarse con iones de naturaleza alcalina, disminuyendo su concentración en agua.

2.5 *Gases Disueltos.*

Los gases más frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratamiento son nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), 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 la materia orgánica presente en el agua residual. Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, otros gases con los que se debe estar familiarizado son el cloro (Cl_2) y el Ozono (O_3), empleados para la desinfección y el control del olor, y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión).

2.5.1. *Oxígeno disuelto*

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, es ligeramente soluble en el agua. La cantidad real de oxígeno disuelto y de otros gases viene regida por la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua.

Puesto que las reacciones bioquímicas que utilizan el oxígeno, se incrementan al aumentar la temperatura, así los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en el verano. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable para evitar la formación de malos olores.

2.5.2. *Sulfuro de Hidrógeno*

El sulfuro de hidrógeno se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos. No se forma en un abundante suministro de oxígeno. Se trata de un gas incoloro, flamable, con olor característico a huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe principalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro (Fe) presente para formar sulfuro ferroso (SFe). Aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas formado más importante desde el punto de vista de los olores, pueden formarse otros compuestos volátiles, tales como el indol, escatol y mercaptanos durante la descomposición anaerobia y que pueden producir olores peores a los del sulfuro de hidrógeno.

2.5.3. *Metano*

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual es el gas metano. El metano es un hidrocarburo, incoloro e inodoro de gran valor como combustible. Normalmente no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, debido a que el oxígeno puede ser tóxico para

los organismos responsables de la producción del metano, aún en concentraciones bajas.

3. Características biológicas.

3.1. Definición y aplicación.

Los aspectos biológicos necesarios incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico, organismos indicadores de contaminación y su importancia.

3.2. Organismos coliformes.

El tracto gastrointestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidos como organismos coliformes. Cada persona evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos del tratamiento del agua residual.

Los organismos patógenos son evacuados por los seres humanos que se ven afectados con alguna enfermedad o que sean portadores de alguna enfermedad particular. Los organismos patógenos que normalmente pudieran ser excretados por el hombre causan enfermedades del sistema gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea, disentería, diarrea y en ciertas partes del mundo el cólera.

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son difíciles de aislar, el organismo coliforme, que es más numeroso y de determinación más sencilla, se utiliza como organismo indicador y su presencia revela la existencia de organismo patógenos, así como su ausencia indica que el agua se encuentra exenta de organismos productores de enfermedades.

Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de estos como indicadores tiene algunos inconvenientes, debido a que la *Aerobacter* y

ciertas especies de *Escherichia* pueden crecer en el suelo, por lo tanto su presencia en el agua no significa que haya sido por contaminación de desechos humanos. Parece ser que la *Escherichia coli* (*E. coli*) es totalmente de origen fecal. Es difícil determinar la *E. coli* sin incluir los coliformes del suelo; como resultado de ello el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal.

En los últimos años se han desarrollado una serie de ensayos que permiten distinguir los coliformes totales, los coliformes fecales y los estreptococos fecales.

El procedimiento más usual para determinar la presencia de coliformes consiste en la realización de ensayos presuntivos y confirmados. El ensayo presuntivo se basa en la capacidad del grupo coliforme para fermentar el caldo de lactosa, con desprendimiento de gas. El ensayo confirmativo consiste en el desarrollo de cultivos de bacterias coliformes sobre medios que eliminan el crecimiento de otros organismos.

Existen en la actualidad dos métodos aceptados para obtener el número de organismos coliformes presentes en un volumen de agua dado. La técnica del número más probable (NMP) se ha utilizado durante mucho tiempo y se basa en un análisis estadístico del número de resultados positivos y negativos obtenidos al hacer ensayos múltiples sobre fracciones de igual volumen. Hay que hacer notar que el NMP no es la concentración absoluta de organismos que están presentes, sino solamente una aproximación estadística de dicha concentración.

La técnica de filtro de membrana puede utilizarse igualmente para determinar el número de organismos coliformes presentes en el agua. La determinación se realiza haciendo pasar un volumen de la muestra a través de un filtro de membrana que tenga poros de tamaño muy pequeño. Las bacterias son retenidas en el filtro porque son mayores que los poros y se coloca sobre un cojín impregnado con el medio de cultivo específico, después de la incubación, las colonias coliformes pueden ser contadas determinándose la concentración en la muestra de agua.

Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes, no dan resultados estrictamente comparables, entre otras razones porque los recuentos sobre filtros de membrana no proporcionan una indicación directa acerca de la producción de gas a partir de la lactosa, pero en la práctica es similar la información obtenida con ellos. (7)

F. Legislación para descargas de agua residual

Existen dentro del proyecto de las Normas Oficiales Mexicanas, en materia de protección ambiental de Octubre de 1993, 33 Normas Oficiales que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de diferentes giros industriales e incluyen el tipo de muestreo a realizar para su caracterización. Las Normas Oficiales Mexicanas se enlistan a continuación.

NORMA OFICIAL MEXICANA

INDUSTRIA

- | | |
|---|---|
| <p>1. NOM-CCA-001-Ecol/93 2. NOM-CCA-002-Ecol/93 3. NOM-CCA-003-Ecol/93 4. NOM-CCA-004-Ecol/93 5. NOM-CCA-005-Ecol/93 6. NOM-CCA-006-Ecol/93 7. NOM-CCA-007-Ecol/93 8. NOM-CCA-008-Ecol/93 9. NOM-CCA-009-Ecol/93 10. NOM-CCA-010-Ecol/93 11. NOM-CCA-011-Ecol/93 12. NOM-CCA-012-Ecol/93 13. NOM-CCA-013-Ecol/93 14. NOM-CCA-014-Ecol/93 15. NOM-CCA-015-Ecol/93 16. NOM-CCA-016-Ecol/93 17. NOM-CCA-017-Ecol/93 18. NOM-CCA-018-Ecol/93</p> <p>19. NOM-CCA-019-Ecol/93 20. NOM-CCA-020-Ecol/93 21. NOM-CCA-021-Ecol/93 22. NOM-CCA-022-Ecol/93 23. NOM-CCA-023-Ecol/93 24. NOM-CCA-024-Ecol/93 25. NOM-CCA-025-Ecol/93</p> <p>26. NOM-CCA-026-Ecol/93 27. NOM-CCA-027-Ecol/93 28. NOM-CCA-028-Ecol/93 29. NOM-CCA-029-Ecol/93 30. NOM-CCA-030-Ecol/93 31. NOM-CCA-031-Ecol/93</p> <p>32. NOM-CCA-032-Ecol/93</p> <p>33. NOM-CCA-033-Ecol/93</p> | <p>Centrales Termoelectricas Convencionales Productora de Azucar de Caña Petroleo y sus derivados, Petroquímica Fabricación de Fertilizantes Productos Plásticos y Polímeros Fabricación de Harinas Malta y Cerveza Asbestos para construcción Leche y sus derivados Manufactura de vidrio y fibra de vidrio Vidrio prensado y soplado Industria Hulera Hierro y el acero Textil Celulosa y Papel Bebidas gaseosas Acabados metalúrgicos Laminación, Extrusión, Estiraje de cobre y sus aleaciones. Impregnación de productos de acerradero Asbestos textiles, Materiales de fricción y selladores Curtido y Acabado de pieles Matanza de Animales y empaclado de carnicos Envasado de conservas alimenticias Elaboración del papel a partir de celulosa virgen Elaboración del papel a partir de fibra celulósica reciclada Restaurantes y Hoteles Café Producción de Harina y Aceite de pescado Hospitales Jabones y Detergentes Límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal. Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. Establece las condiciones para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua en el riego agrícola</p> |
|---|---|

G. Reglamento para la prevención y control de contaminación de aguas.

Entre las obligaciones que establece esta legislación a los responsables de descargas tenemos:

1. Queda prohibido arrojar a las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces y demás depósitos de agua, aguas residuales que contengan contaminantes, materiales radiactivos o cualquier otra sustancia dañina a la salud de las personas, flora y fauna.

2. Las aguas residuales provenientes de usos públicos, domésticos o industriales, que descargan en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, mares y demás depósitos corrientes. Así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y en general las que se derramen en el terreno, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

A. Contaminación de los cuerpos receptores.

B. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas.

C. Modificaciones, trastornos, interferencias o alteraciones en el aprovechamiento, funcionamiento adecuado de los cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

El permiso de descarga consta de dos partes, la primera autoriza la descarga de aguas residuales y la segunda condiciona la calidad y cantidad de la descarga y establece las medidas técnicas y legales a que ésta deberá sujetarse.

En base a este reglamento, deberá realizarse un registro de todas las descargas de aguas residuales provenientes de usos industriales, municipales, etc., con excepción de los usos domésticos, dicho registro deberá indicar las características de las descargas y entregarse en menos de 4 meses a las autoridades correspondientes.

H. Tipos de tratamientos.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales comenzaron desde hace mucho tiempo, así su purificación por filtración a través de arena y grava gruesa data de hace

siglos, sin embargo los procesos de tratamientos de aguas residuales empezó a principios de este siglo en los Estados Unidos, donde ya existían plantas grandes y efectivas en las que se aplicaban los procesos unitarios de aereación, decantación, coagulación química, etc.

Actualmente existen diferentes divisiones de los procesos de tratamiento de aguas residuales, así encontramos:

A. División que hace referencia al proceso fundamental desarrollado en el tratamiento; tales como tratamiento químico, físico, fisicoquímico y tratamiento biológico.

B. División de acuerdo con las características del contaminante en el agua. Así encontramos la división como tratamiento de sólidos orgánicos disueltos, de sólidos en suspensión, coloidales, tratamiento de ácidos y alcalis, etc.

C. Finalmente, división de acuerdo a la etapa de tratamiento que recibe; tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario y terciario.

Para la descripción de los diferentes procesos de tratamiento, emplearemos la división de acuerdo a la etapa de tratamiento que recibe el desecho. Una clasificación de los niveles de tratamiento se da a continuación :

1. Tratamiento Preliminar: Esta etapa se desarrolla en todos los casos, se emplea para acondicionar las aguas residuales que serán descargadas en alcantarillados públicos o a la entrada a una planta de tratamiento. Se desarrolla con una serie de procesos físicos que consisten principalmente en el cribado (rejillas, mallas), desarenado, mezclado e igualación.

2. Tratamiento Primario: En esta etapa de tratamiento encontramos procesos químicos como la neutralización, y físicos como la sedimentación primaria y flotación.

3. Tratamiento Secundario: El tratamiento secundario de las aguas residuales esta constituido por procesos de tratamiento biológico. Los objetivos que persigue el

tratamiento biológico del agua residual, son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica; eliminar los nutrientes tales como nitrógeno y fósforo, que son capaces de estimular el crecimiento de las plantas acuáticas, así mismo reducir la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, y la oxidación y precipitación de metales pesados.⁽³⁾ Entre los procesos biológicos se encuentran: Filtros percoladores, Sistema Biodiscos, Lagunas de Oxidación Aerobia y Anaerobia y lodos activados.

En el proceso de lodos activados, el agua residual se estabiliza biológicamente en un reactor, mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le denomina líquido mezcla, una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación secundario y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada. Las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica del efluente.

4. Tratamiento Terciario: Esta etapa se desarrolla cuando se requiere de una mayor calidad de agua, esta constituido principalmente por procesos fisicoquímicos y químicos. El objetivo de esta etapa es la remoción de contaminantes que permanecen en el agua después de que ha recibido tratamiento secundario. Los procesos comunes del tratamiento terciario son ósmosis inversa, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, ozonización, diálisis, coagulación, etc .

En un sistema de tratamiento es frecuente encontrar la combinación de uno o más de los niveles señalados dependiendo de la descarga a tratar. Es importante enfatizar que, dependiendo del reuso que se le quiera dar al agua residual tratada, será el tratamiento a emplear; el aumento de la calidad incrementa las operaciones y costo de tratamiento.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II, compete por la utilización del agua potable con las colonias aledañas: Alvaro Obregón, Paraíso, Ejército de Oriente, Unidad Habitacional Cabeza de Juárez y en forma global con la Delegación Iztapalapa; la cual tiene una tasa poblacional alta y en constante aumento. Esta situación sumada a la escasez de agua, y a problemas de abastecimiento que afecta a toda la ciudad, enfatiza la necesidad de llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales para su posterior aprovechamiento.

Por otro lado, las aguas negras generan numerosos problemas de contaminación ambiental, focos de infección, malos olores, etc., por lo que tienen que cumplir normas bien definidas antes de que se puedan descargar a una corriente de agua (drenaje municipal).

Ante esta problemática, nace la perspectiva de realizar un tratamiento al agua residual de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II, con el fin de tener un control de contaminantes generados por la institución y con el propósito de reutilizar el agua tratada, en actividades como higiene sanitaria, riego, sistemas de enfriamiento, etc.

Esto implica como primera meta el análisis del agua residual, para lograr su caracterización físico-química.

El conocimiento de las características del agua residual de la escuela, permite evaluar la posibilidad de tratarla por medio de sistemas de tratamiento Biológico y de otro tipo.

III.OBJETIVOS

- 1. Determinar mediante un análisis físico-químico, las características y composición del agua potable y residual de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II.**
- 2. Proponer en base a los resultados del análisis del agua residual, el tipo de tratamiento más adecuado, para su posterior aprovechamiento en las instalaciones de la escuela.**

IV. HIPOTESIS

La ENEP Zaragoza Campus II desarrolla una serie de actividades que incluyen la utilización de reactivos químicos y materias primas en laboratorios, así como en la realización de procesos farmacéuticos. Por lo tanto se espera encontrar una descarga final con altos niveles de contaminación.

La caracterización física y química del agua residual, permitirá conocer la concentración real de los distintos vertidos que son desalojados al drenaje municipal. Así mismo es la base en la planeación y el desarrollo de un proceso de tratamiento para estas aguas de descarga, lo cual hará posible tener un control de contaminantes generados por la institución, contribuyendo a disminuir los problemas de contaminación ambiental. Del análisis del efluente, se obtienen criterios para pruebas de tratabilidad y diseño experimental, con el fin de reutilizar el agua tratada en las instalaciones de la escuela, logrando con ello un menor y mejor uso del agua potable.

V. MATERIAL Y METODO

1. Agua Potable.

Para una mejor evaluación del tipo de descarga de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II, es importante conocer la composición del influente, es decir, del agua potable que recibe la localidad y así tener un marco de referencia analizando las modificaciones sufridas por su uso.

Se realizó un muestreo de la toma localizada en el cuarto de cisternas. El método de muestreo es sencillo e implica sanitizar la llave con alcohol al 70%, el agua se deja fluir por 5 minutos. La toma de muestras para análisis bacteriológicos y fisicoquímicos deben realizarse lo mas cercano a la llave pero sin tocarla. Para las determinaciones se utilizaron la metodología y materiales que se mencionan en la tabla 2 excepto color (método colorimétrico unidades Platino/Cobalto), hierro (método de la fenantrolina), manganeso (método del permanganato), turbiedad (método espectrofotométrico, Unidades de sílice) y sólidos disueltos (combinaciones hipotéticas).

Tabla 2: Métodos oficiales para el análisis de agua y agua residual.

| Analisis | Norma |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Acidez | NOM - AA - 35 - 1980 |
| Alcalinidad | NOM - AA - 36 - 1980 |
| Cianuros | Método de la Pirazolona (9) |
| Cloruros | NOM - AA - 73 - 1981 |
| Color | NOM - AA - 17 - 1980 |
| Coliformes Totales y Fecales | NOM - AA - 42 - 1987 |
| Conductividad | NOM - AA - 93 - 1984 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | NOM - AA - 28 - 1981 |
| Demanda Química de Oxígeno | NOM - AA - 30 - 1981 |
| Detergentes | NOM - AA - 39 - 1980 |
| Dureza Total | NOM - AA - 72 - 1981 |
| Fenoles | NOM - AA - 60 - 1981 |
| Fluor | NOM - AA - 77 - 1981 |
| Fosfatos | NOM - AA - 29 - 1981 |

Tabla 2: Continuación

| | |
|---------------------------------------|--|
| Grasas y Aceites | NOM - AA - 05 - 1980 |
| Materia Flotante | DGN - AA - 08 - 1973 |
| Nitrógeno en todas sus formas | NOM - AA - 26 - 1980 |
| Nitritos | NOM - AA - 79 - 1986 |
| Metales (Excepto *) | NOM - AA - 51 - 1981 |
| *Boro | Método de la Curcumina ⁽¹⁶⁾ |
| pH | NOM - AA - 08 - 1980 |
| Relación de Absorción de Sodio (RAS) | Método Custodio ⁽¹¹⁾ |
| Sólidos en todas sus formas | NOM - AA - 34 - 1981 |
| Sólidos disueltos Totales y Volátiles | NOM - AA - 20 - 1981 |
| Sólidos Sedimentables | DGN - AA - 04 - 1977 |
| Sulfatos | NOM - AA - 74 - 1981 |
| Temperatura | NOM - AA - 07 - 1980 |
| Turbiedad | NOM - AA - 33 - 1981 |

2. Agua residual.

A. Medida del caudal

La medición del caudal promedio y su grado de variación con respecto al tiempo se determinó con el siguiente método. ⁽¹²⁾

Método de volumen y tiempo: También se conoce como método volumétrico y de hecho su mecanismo es simple, ya que consiste en hacer descargar la corriente a un depósito impermeable, de volumen conocido y de capacidad suficiente para medir lo captado en un tiempo determinado; el gasto unitario de la corriente se conocerá al dividir el volumen captado en el recipiente entre el tiempo empleado en la captación, o sea:

$$\text{Volumen gastado/Tiempo empleado} = \text{Gasto (L/s)}$$

Este método se emplea para medir corrientes muy pequeñas, generalmente de tuberías en donde se aprecia el chorro de agua, ya que resulta inadecuado para medir canales y corrientes naturales.

B. Muestreo

La legislación que establece los métodos de muestreo se encuentran en las Normas Oficiales Mexicanas con los números NOM-AA-3-1980 para el muestreo de agua residual y la NOM-AA-14-1980 para cuerpos receptores.

El punto de muestreo, al igual que el de la medida del caudal, se indica en el plano No. I, en donde se observa que hay una salida principal de la descarga de la escuela en la Av. Batalla del 5 de Mayo hacia el drenaje municipal.

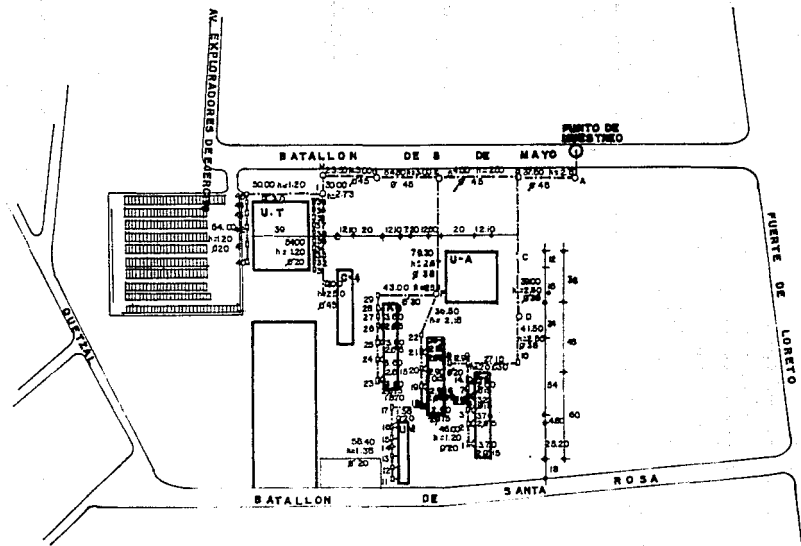
Se realizaron ocho muestreos compuestos, con intervalos de 30 minutos (de acuerdo al caudal instantáneo) durante ocho horas, en un horario de 10 a 18 horas entre los dos turnos; que es en donde se observa la mayor actividad de la escuela, al azar, en diferentes días de la semana durante el semestre 92-2.

Fecha de Muestreo

| Muestreo | Fecha |
|----------|-----------------------|
| 1 | 17 de Mayo 1992 |
| 2 | 01 de Junio 1992 |
| 3 | 23 de Junio 1992 |
| 4 | 08 de Julio 1992 |
| 5 | 23 de Julio 1992 |
| 6 | 02 de Agosto 1992 |
| 7 | 17 de Agosto 1992 |
| 8 | 01 de Septiembre 1992 |

Fechas de muestreo en el periodo 92-2

Para la preservación de las muestras durante los periodos de tiempo entre la recogida y el análisis, se utilizaron las técnicas que marca la USEPA ⁽¹²⁾ y las Normas Oficiales Mexicanas de Muestreo (NOM). ⁽¹⁴⁾ que se encuentran en la tabla 3.



E. M. E. P.
Z A RAGOZA

SIMBOLOGIA

TUBERIA

130.00 m Ø 16
 309.00 m Ø 20
 232.80 m Ø 30
 209.80 m Ø 38
 282.00 m Ø 48

REGISTROS

□
 0.80 X 0.80 m 29 pts
 0.60 X 0.40 m 16 pts

POZOS DE VISITA

○
 H - 3.00 4 Pts
 H - 2.50 8 Pts

U. S. A. M.
DIR. GENERAL DE OBRA

CONJUNTO II
SETOS UNIVERSITARIOS

PLANO
PLANTA COMUNITO

RED DE DRENAJE

ING. FRANCISCO DE PABLO
DIRECTOR GENERAL

PLANTA DE CONJUNTO

PLANO N° 1

C. Análisis de las muestras

Para el análisis de las muestras, la metodología y material utilizados se basaron en las Normas Técnicas de Análisis de Aguas Residuales editadas por el Diario Oficial de la Federación establecidos en la tabla 2 y los Métodos Estándar USA 1989. (15)

Tabla 3. Condiciones de almacenamiento y preservación de muestras de agua residual.

| Parametro | Recipiente | Preservativo | Tiempo de Almacenamiento |
|------------------------------|------------|--|--------------------------|
| Acidez | P, V | Refrig. 4°C | 14 Días |
| Alcalinidad | P, V | Refrig. 4°C | 14 Días |
| Cianuros | P, V | Refrig. 4°C, NaOH a pH > 12 | 14 Días |
| Cloruros | P, V | No requiere | 28 Días |
| Color | P, V | No requiere | Análisis Inmediato |
| Coliformes totales y focales | P, V | Refrig. 4°C y 0.0008% de Na ₂ S ₂ O ₃ | 6 Horas |
| Conductividad (µMhos/cm) | P, V | Refrig. 4°C | 28 Días |
| DBO | P, V | Refrig. 4°C | 48 horas |
| DQO | P, V | Refrig. 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2 | 28 Días |
| Detergentes | P, V | Refrig. 4°C | 48 Horas |
| Dureza total | P, V | HNO ₃ pH < 2 | 6 meses |
| Fenoles | Solo V | Refrig. 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2 | 28 Días |
| Fosfatos | P, V | Refrig. 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2 | 28 Días |
| Grasas y Aceites | Solo V | Refrig. 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2 | 28 Días |
| Materia flotante | P, V | No requiere | Análisis Inmediato |
| Nitrógeno | P, V | Refrig. 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2 | 28 Días |
| Nitratos | P, V | Refrig. 4°C | 48 Horas |
| Metales (excepto *) | P, V | HNO ₃ a pH < 2 | 6 meses |
| * Cr VI + | P, V | Refrig. 4°C | 24 Horas |
| * Hg | P, V | HNO ₃ a pH < 2 | 28 Días |
| pH | P, V | No requiere | Análisis Inmediato |
| RAS | P, V | No requiere | 6 meses |
| Sólidos en todas sus formas | P, V | Refrig. 4°C | 7 Días |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | P, V | Refrig. 4°C | 48 Horas |
| Sulfatos | P, V | Refrig. 4°C | 28 Días |
| Temperatura (°C) | P, V | No requiere | Análisis Inmediato |
| Turbiedad (UTJ) | P, V | Refrig. 4°C | 48 Horas |

P = Plástico

V = Vidrio

VI. RESULTADOS

Los resultados del análisis de agua potable se observan en la tabla 4, sólo se determinaron algunos parámetros característicos y de mayor importancia que nos indican la calidad del agua potable. Se establece además una comparación con las Normas Mexicanas para Agua Potable.

Tabla 4: Resultados promedio del análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua potable que recibe la ENEP Zaragoza en mg/L, excepto donde se indica.

| Parámetro | Norma | ENEP-Z C II |
|----------------------------------|-----------|-------------|
| Alcalinidad total | 400 | 198.00 |
| Carbonatos | n.s | 0 |
| Bicarbonatos | n.s | 242.00 |
| Cloruros | 250 | 40 |
| Color (unid. PCo) | 20 | 0.0 |
| Coliformes totales (Col./100 mL) | 0 | 0 |
| Coliformes fecales (Col./100 mL) | 0 | 0 |
| Conductividad (Micromohs/cm) | n.s | 508.00 |
| Dureza total | 120* | 76.0 |
| Aluminio | 0.20 | 0.015 |
| Arsénico | 0.05 | 0.002 |
| Bario | 1.00 | 0.158 |
| Cadmio | 0.005 | 0.004 |
| Calcio | 300 | 7.332 |
| Cobre | 1.50 | 0.058 |
| Cromo total | 0.05 | 0.001 |
| Cromo hexavalente | 0.05 | 0.001 |
| Fluoruros | 1.500 | 0.30 |
| Hierro | 0.30 | 0.120 |
| Magnesio | 125 | 15.00 |
| Manganeso | 0.15 | 0.03 |
| Mercurio | 0.001 | 0.001 |
| Níquel | n.s | 0.001 |
| Plata | n.s | 0.008 |
| Piomo | 0.05 | 0.001 |
| Selenio | 0.05 | 0.001 |
| Sodio | 270* | 95.00 |
| Zinc | 5.00 | 0.298 |
| Nitratos | 5.00 | 0.660 |
| pH | 6.9 - 8.5 | 7.5 |
| RAS | 6.0* | 1.0 |

Tabla 4: Continuación

| | | |
|-----------------------------|-------|-------|
| Sólidos totales | 500** | 428.0 |
| Sólidos suspendidos | 1.0 | 1.0 |
| Sólidos disueltos | 500** | 425.0 |
| Sulfatos | 250 | 27.0 |
| Temperatura | n.s | 20 °C |
| Turbiedad (Unid. de Silice) | 10 | 6.30 |
| DBO ₅ | 2 | 0.5 |
| DQO | 3 | 2 |

* DGCCH

** Criterios EPA

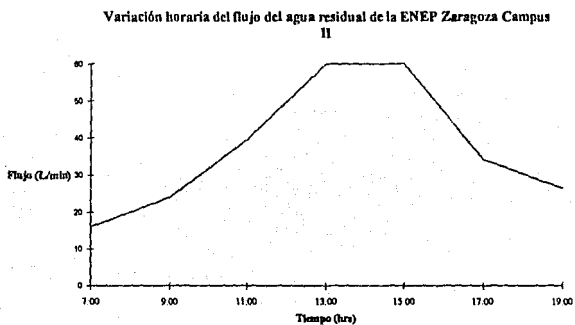
n.s No Sancionado

Los resultados de la variación del caudal promedio de agua residual con respecto al tiempo, se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5: Variación del caudal promedio de agua residual con respecto al tiempo, en época de estiaje de la ENEP Zaragoza Campus II

| Hora | Caudal (L/m) | Caudal (m3/día) |
|-------|--------------|-----------------|
| 07:00 | 16.0 | 23.0 |
| 09:00 | 24.0 | 34.5 |
| 11:00 | 38.6 | 57.0 |
| 13:00 | 60.0 | 86.4 |
| 16:00 | 60.0 | 86.4 |
| 17:00 | 34.2 | 49.2 |
| 18:00 | 26.4 | 38.0 |

Para una mejor interpretación, se hallan representados los datos del caudal en litros por minuto contra tiempo en horas, en la gráfica 1.



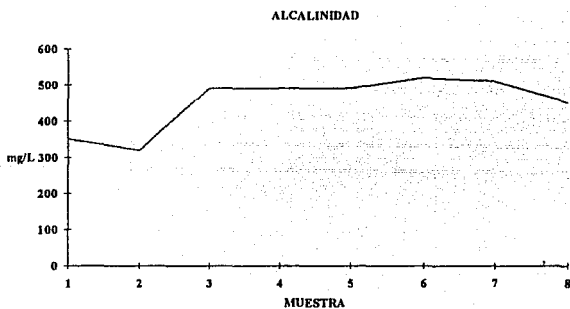
Gráfica 1. Variación horaria del flujo de agua residual en tiempo seco de la ENEP Zaragoza Campus II.

Los resultados de los distintos parámetros analizados en el agua residual se encuentran en la tabla 6.

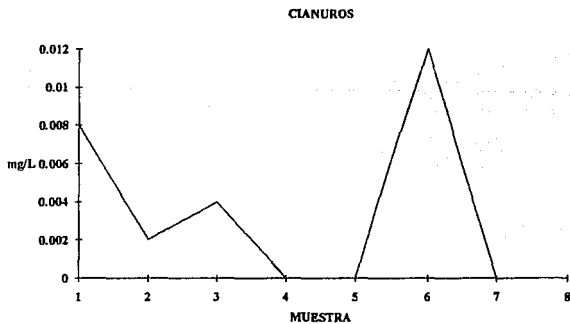
Tabla 6. Resultados del análisis del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II en mg/L, excepto donde se indica con (*) en mL/L.

| Parámetro/Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Acidez | 18 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Alcalinidad | 350 | 320 | 490 | 490 | 490 | 520 | 510 | 450 |
| Cianuros | 0.009 | 0.002 | 0.004 | 0.00 | 0.00 | 0.012 | 0.00 | 0.00 |
| Cloruros | 126 | 140 | 190 | 169 | 164 | 273 | 209 | 367 |
| Color/Tono | Amarillo | Ama/Ver | Amarillo | Ama/Ver | Ama/Ver | Ama/Ver | Ama/Ver | Ama/Ver |
| % Pureza | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| % Luminosidad | 91 | 97 | 85 | 86 | 86 | 87 | 89 | 88 |
| λ. Maxima | 678 | 673 | 678 | 673 | 664 | 668 | 664 | 662 |
| Coliformes Totales | >2400000 | >2400000 | >2400000 | >2400000 | >2400000 | >2400000 | >2400000 | >2400000 |
| Coliformes Fecales. | >1800000 | >1800000 | >2400000 | >1800000 | >2000000 | >1800000 | >2100000 | >2400000 |
| Conductividad $\mu\text{mho/cm}$ | 906 | 792 | 1639 | 1604 | 1604 | 1587 | 1678 | 2000 |
| D B O ₅ | 64 | 49 | 123 | 81 | 67 | 107 | 110 | 128 |
| D O O | 189 | 130 | 327 | 267 | 264 | 275 | 297 | 300 |
| Detergentes | 8.33 | 7.43 | 8.83 | 4.40 | 0.06 | 6.69 | 8.29 | 7.55 |
| Dureza Total | 116 | 140 | 126 | 164 | 148 | 164 | 172 | 180 |
| Fenoles | 0.060 | 0.034 | 0.166 | 0.161 | 0.121 | 0.083 | 0.173 | 0.184 |
| Fosfatos | 3.96 | 2.31 | 7.37 | 7.87 | 7.61 | 8.52 | 8.48 | 5.85 |
| Grasas y Aceites | 18 | 19 | 20 | 20 | 34 | 32 | 23 | 34 |
| Materia Flotante | 0.3 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.6 |
| Aluminio | 0.30 | 0.118 | 0.101 | 0.166 | 0.099 | 0.840 | 0.120 | 0.230 |
| Arsénico | 0.060 | 0.001 | 0.001 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Bario | 0.028 | 0.004 | 0.000 | 1.178 | 0.840 | 0.001 | 0.002 | 0.018 |
| Boro | 0.498 | 0.479 | 0.318 | 0.354 | 0.378 | 0.409 | 0.399 | 0.402 |
| Cadmio | 0.007 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Calcio | 89.56 | 102.31 | 96.206 | 123.10 | 100.101 | 117.200 | 110.230 | 112.823 |
| Cobres | 0.089 | 0.036 | 0.027 | 0.101 | 0.062 | 0.001 | 0.073 | 0.070 |
| Cromo total | 0.070 | 0.012 | 0.018 | 0.006 | 0.009 | 0.001 | 0.024 | 0.027 |
| Cromo hexavalente | 0.033 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Hierro | 19.926 | 12.498 | 8.450 | 81.00 | 11.600 | 10.960 | 8.060 | 7.126 |
| Magnesio | 21.248 | 43.200 | 28.417 | 68.712 | 49.160 | 82.213 | 83.130 | 70.690 |
| Manganeso | 0.118 | 0.318 | 0.626 | 0.200 | 0.199 | 0.175 | 0.276 | 0.500 |
| Mercurio | 0.001 | 0.0001 | 0.200 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0140 | 0.0100 | 0.0060 |
| Níquel | 0.017 | 0.012 | 0.001 | 0.018 | 0.016 | 0.020 | 0.023 | 0.038 |
| Plata | 0.001 | 0.001 | 0.004 | 0.001 | 0.009 | 0.002 | 0.004 | 0.010 |
| Plomo | 0.078 | 0.022 | 0.001 | 0.044 | 0.046 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Selenio | 0.020 | 0.017 | 0.020 | 0.010 | 0.001 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| Sodio | 77.260 | 72.976 | 66.126 | 104.600 | 99.00 | 102.775 | 103.228 | 162.960 |
| Zinc | 0.072 | 0.139 | 0.419 | 0.186 | 0.160 | 0.124 | 0.196 | 0.148 |
| Nitratos | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| Nitrógeno total | 43.68 | 26.78 | 101.92 | 89.60 | 104.30 | 118.02 | 103.04 | 84.00 |
| Nitrógeno amoniacal | 34.72 | 20.16 | 90.72 | 77.04 | 91.90 | 104.68 | 88.48 | 71.88 |
| Nitrógeno orgánico | 8.96 | 6.60 | 11.20 | 12.66 | 12.32 | 13.44 | 14.56 | 12.32 |
| pH | 8.4 | 8.3 | 8.6 | 8.6 | 8.7 | 8.6 | 8.8 | 8.6 |
| RAS | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Sólidos totales | 666 | 604 | 792 | 742 | 728 | 818 | 900 | 1064 |
| Sólidos totales volátiles | 170 | 118 | 244 | 190 | 120 | 160 | 246 | 204 |
| Sólidos suspendidos f. | 36 | 48 | 106 | 104 | 97 | 73 | 112 | 64 |
| Sólidos suspendidos v. | 36 | 20 | 86 | 72 | 77 | 66 | 76 | 48 |
| Sólidos disueltos f. | 622 | 456 | 697 | 638 | 631 | 746 | 788 | 890 |
| Sólidos disueltos v. | 136 | 86 | 168 | 118 | 43 | 96 | 170 | 166 |
| Sólidos sedimentables* | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.1 |
| Sulfatos | 84.34 | 81.60 | 86.87 | 89.92 | 82.78 | 83.69 | 84.86 | 86.72 |
| Temperatura (°C) | 18 | 19 | 21 | 20 | 18 | 20 | 20 | 20 |
| Turbiedad (UTJ) | 78 | 48 | 141 | 128 | 114 | 142 | 129 | 110 |

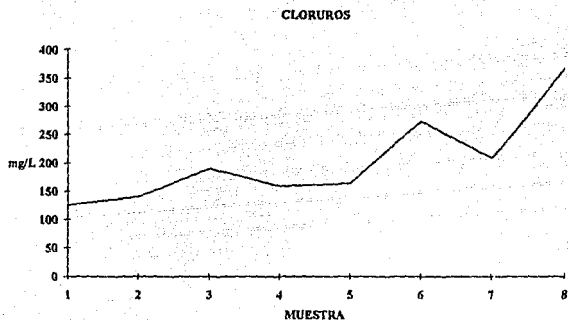
El comportamiento gráfico de los contaminantes evaluados de la descarga, son presentados a continuación:



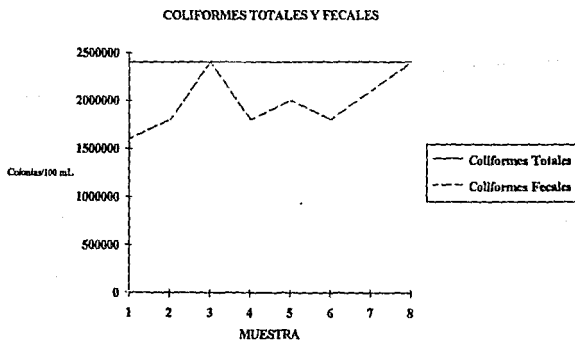
Gráfica 2. Variación de la alcalinidad del agua residual de la ENEP-Z Campus II.



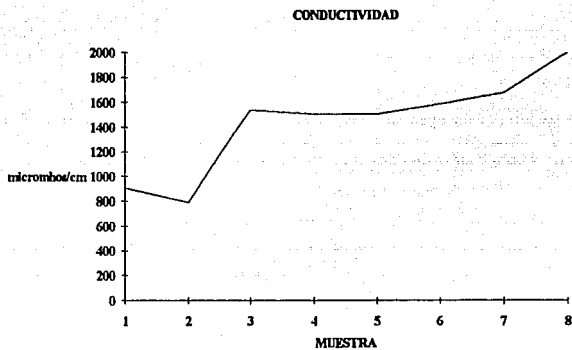
Gráfica 3. Variación de la concentración de cianuros del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



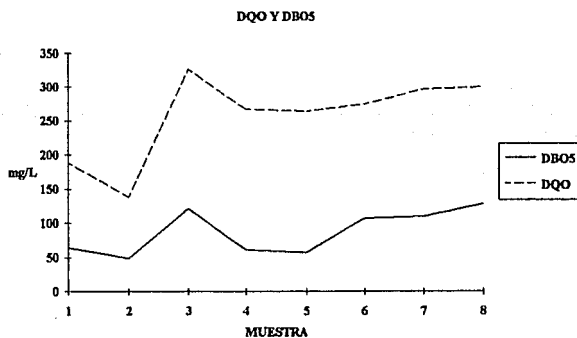
Gráfica 4. Variación de la concentración de cloruros en agua residual de la ENEP-Zaragoza Campus II.



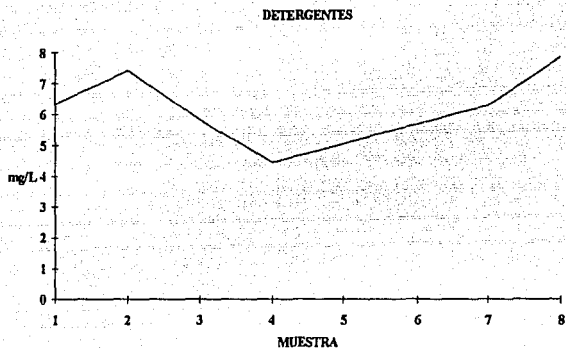
Gráfica 5. Contenido de Bacterias coliformes en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



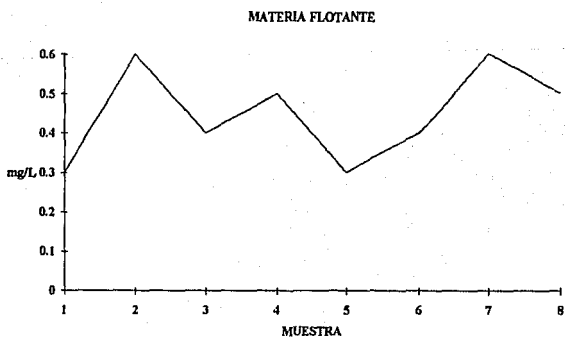
Gráfica 6. Conductividad del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



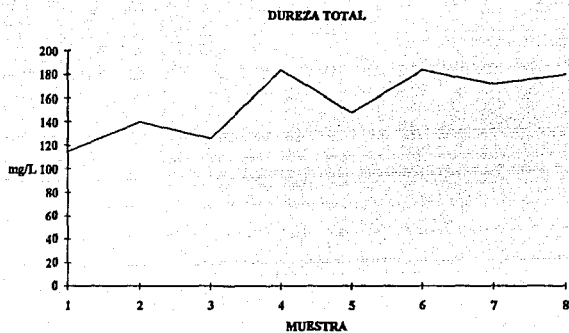
Gráfica 7. Demanda química y bioquímica de Oxígeno evaluada del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II



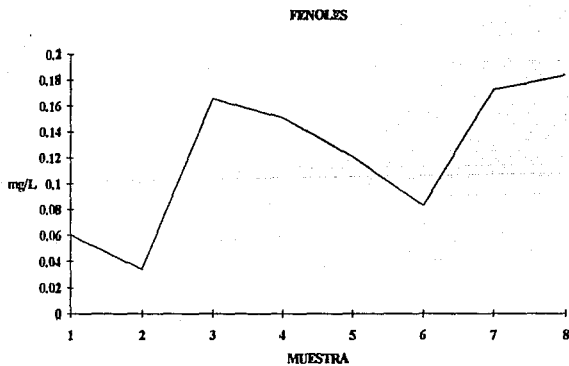
Gráfica 8. Variación de la concentración de detergentes en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



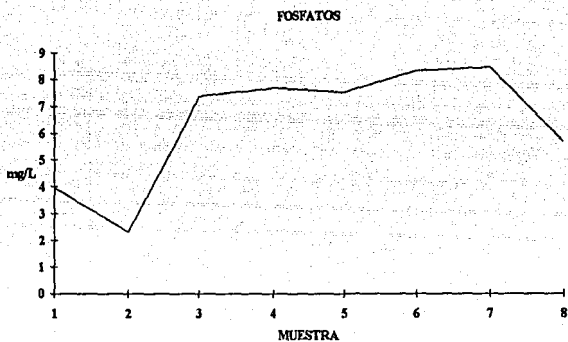
Gráfica 9. Contenido de materia flotante en agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II



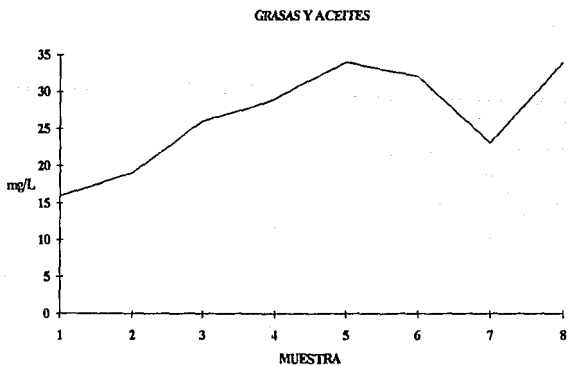
Gráfica 10. Dureza del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II



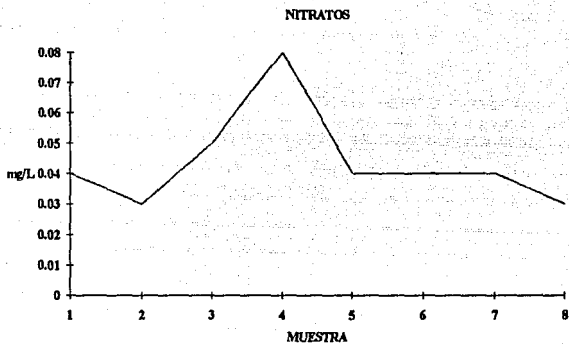
Gráfica 11. Contenido de fenoles en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



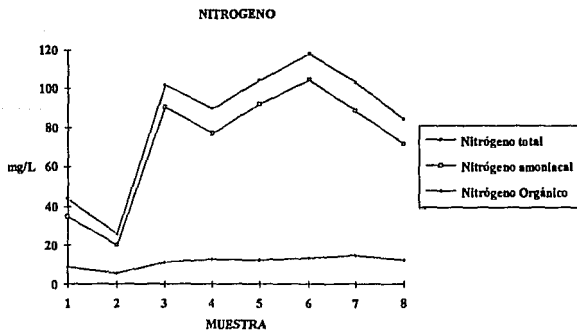
Gráfica 12. Contenido de fosfatos en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



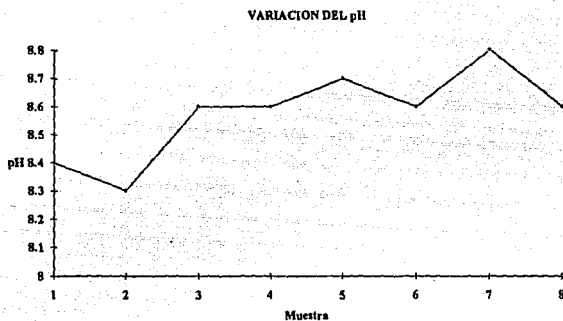
Gráfica 13. Concentración de grasa y aceite del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



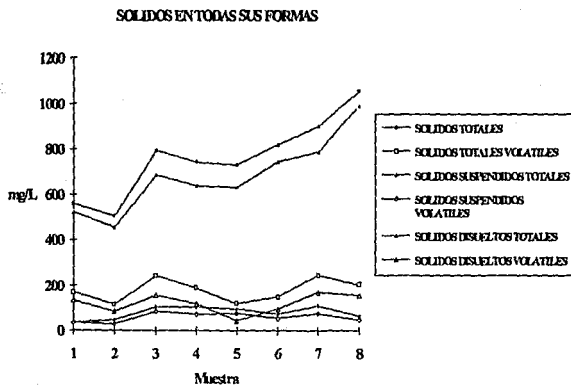
Gráfica 14. Concentración de Nitratos en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



Gráfica 15. Concentración de Nitrógeno de varias especies químicas en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.

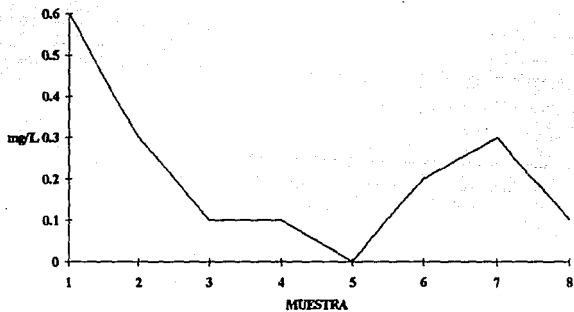


Gráfica 16. pH del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



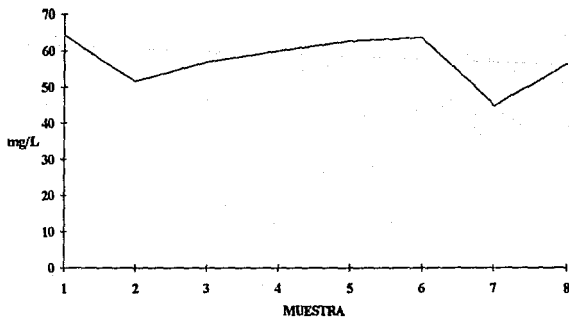
Gráfica 17. Contenido de sólidos en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.

SOLIDOS SEDIMENTABLES

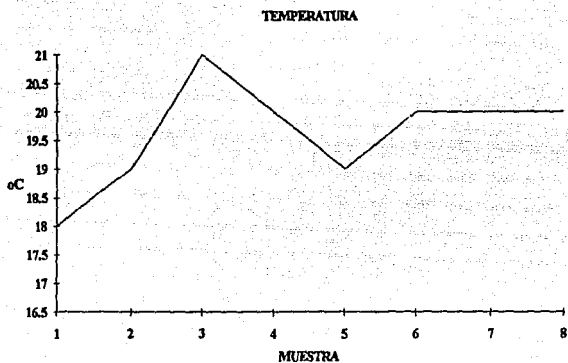


Gráfica 18. Sólidos sedimentables en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.

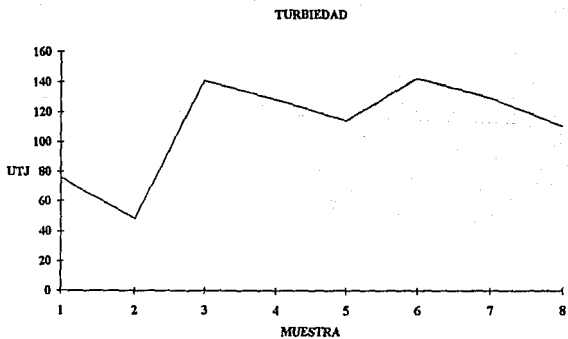
SULFATOS



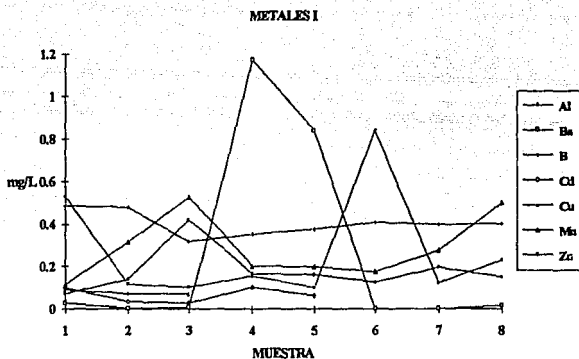
Gráfica 19. Concentración de Sulfatos en el agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



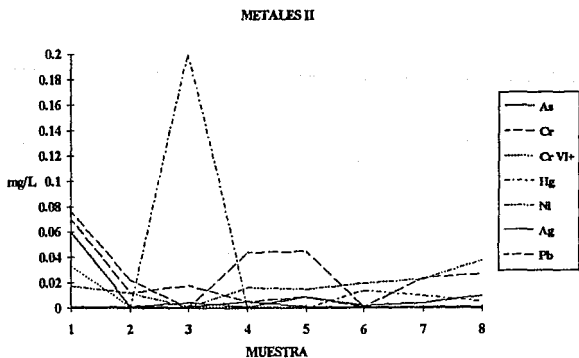
Gráfica 20. Variación de la temperatura del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



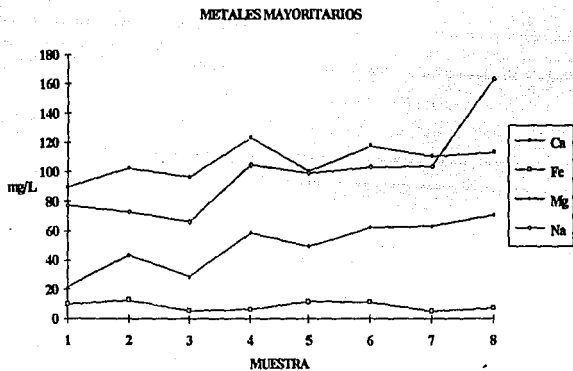
Gráfica 21. Turbiedad del Agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



Gráfica 22. Concentración de metales inferior a 1.5 mg/L en agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



Gráfica 23. Concentración de metales inferior a 0.5 mg/L en agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.



Gráfica 24. Concentración de metales mayoritarios en agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

El agua que recibe la localidad y que llega a la escuela, tiene características que cubren los requisitos de potabilidad, de acuerdo a las normas para agua potable editadas por el Diario Oficial de la Federación.

La gráfica 1 del caudal de la descarga, nos presenta un máximo entre las 13 y 15 hrs. del día, es decir, cuando hay mayor actividad en la escuela dado que los dos turnos se traslapan. El valor obtenido es de aproximadamente de 60 lts/min. El gasto mínimo es alrededor de 20 lts/min. entre las 7 y 9 hrs. y 17 y 19 hrs.

El conocimiento de los datos del flujo permite saber el caudal al que se enfrentará un sistema de tratamiento y para el cálculo de la dimensión del sistema. El flujo puede variar con respecto a la estación y/o actividades.

No existe una Norma Oficial Mexicana que indique los límites máximos permisibles para descargas de instituciones educativas.

La ENEP Zaragoza Campus II tiene actividades que incluyen la utilización de reactivos químicos, además de una planta farmacéutica para la elaboración de medicamentos, registrada ante la Secretaría de Salud.

Por otro lado, la Norma 031 (NOM-CCA-031-Ecol/93) establece de manera más general los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual provenientes de la industria, haciendo una comparación y dado que no existe una Norma Oficial para este tipo de descarga, en la tabla 7 se encuentran los límites máximos permisibles que establece la Norma 031 y los resultados obtenidos del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II.

Tabla 7: Límites máximos permisibles de la NOM-CCA-031-Ecol/93 en comparación con los resultados promedio de la ENEP Zaragoza Campus II

| PARAMETROS | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES | | |
|---|-----------------------------|--------------|------------------|
| | Promedio diario | Instantáneo | ENEP Z Campus II |
| Temperatura | — | 40°C (313°K) | |
| pH | 6 a 9 | 6 a 9 | 8.57 |
| Sólidos sed. (mL/L) | 5 | 10 | 0.21 |
| Grasas y Aceites (mg/L) | 60 | 100 | 26.62 |
| Conductividad eléctrica (µmohs/cm) | 5,000 | 8,000 | 1439 |
| Aluminio (mg/L) | 10 | 20 | 0.274 |
| Arsénico (mg/L) | 0.5 | 1 | 0.0087 |
| Cadmio (mg/L) | 0.5 | 1.0 | 0.002 |
| Cianuros (mg/L) | 1.0 | 2.0 | 0.0032 |
| Cobre (mg/L) | 5 | 10 | 0.069 |
| Cromo hexavalente (mg/L) | 0.5 | 1.0 | 0.005 |
| Cromo total (mg/L) | 2.5 | 5.0 | 0.020 |
| Fluor (mg/L) | 3 | 6 | — |
| Mercurio (mg/L) | 0.01 | 0.02 | 0.0062 |
| Níquel (mg/L) | 4 | 8 | 0.017 |
| Plata (mg/L) | 1.0 | 2.0 | 0.04 |
| Plomo (mg/L) | 1.0 | 2.0 | 0.023 |
| Zinc (mg/L) | 6 | 12 | 0.164 |
| Fenoles (mg/L) | 5 | 10 | 0.190 |
| Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes) (mg/L) | 30 | 60 | 6.11 |

Como se observa, no se rebasa ningún límite máximo permisible con respecto a esta norma, y de acuerdo con los antecedente del análisis y composición de aguas residuales, en la tabla 8 se muestran las características típicas del agua residual doméstica según los resultados de Metcalf and Eddy ⁽³⁾ En comparación con los resultados promedio obtenidos en la caracterización de la descarga de la ENEP Zaragoza Campus II.

Tabla 8. Composición típica del agua residual doméstica según Metcalf and Eddy en comparación con la descarga de la ENEP Zaragoza Campus II. Todos los resultados en mg/L.

| PARAMETRO | CONCENTRACION | | | |
|------------------------------|---------------|-------|-------|------------------|
| | Fuerte | Media | Débil | ENEP-Z (μ) |
| Sólidos Totales | 1200 | 700 | 350 | 762 |
| Sólidos disueltos tot. | 850 | 500 | 250 | 682 |
| Sólidos disueltos Vol. | 325 | 200 | 105 | 120 |
| Sólidos Susp. Tot. | 350 | 200 | 100 | 80 |
| Sólidos susp. vol. | 275 | 150 | 70 | 60 |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 20 | 10 | 5 | 0.2 |
| D B O ₅ | 300 | 200 | 100 | 87 |
| D Q O | 1000 | 500 | 250 | 257 |
| Nitrógeno Total | 85 | 40 | 20 | 84 |
| Nitrógeno orgánico | 35 | 15 | 8 | 11 |
| Nitrógeno amoniacal | 50 | 25 | 12 | 72 |
| Nitratos | 0 | 0 | 0 | 0.04 |
| Fosfatos | 20 | 10 | 6 | 6.4 |
| Cloruros | 100 | 50 | 30 | 203 |
| Alcalinidad | 200 | 100 | 50 | 452 |
| Grasas y Aceites | 150 | 100 | 50 | 27 |

La tabla 8 sirve como marco de referencia, dado que se considera como de un agua residual doméstica típica, sin embargo cada descarga tiene sus propias características que no siguen un patrón definido, situación que depende del giro de la institución en este caso.

Analizando la tabla en cuestión, los parámetros DBO₅, DQO, Sólidos suspendidos totales, Sólidos suspendidos volátiles y grasas, indican que en carga orgánica el agua residual es de carácter débil, pero con una concentración importante para aplicar tratamiento secundario (Lodos activados).

La cantidad de sólidos disueltos totales que constituyen el mayor porcentaje del total de sólidos tienen una relación estrecha con la alcalinidad, pH, conductividad y RAS y lo sitúan entre una concentración media.

Los parámetros conocidos como nutrientes incluyen al nitrógeno en todas sus formas y a los fosfatos, estos últimos se encuentran en concentraciones bajas y no presentan problemas de eutroficación en las aguas receptoras (3).

El nitrógeno total y amoniacal es de una concentración fuerte. Hecho que nos permite considerar el uso del tratamiento de lodos activados (25).

En lo que se refiere a los demás constituyentes analizados y que no son evaluados en la tabla, podemos señalar que bacteriológicamente los parámetros de contaminación son muy elevados, muy similares a los de un agua residual doméstica (3).

La importancia de los metales pesados en un agua residual, que no son considerados en la tabla, así como los cianuros y fenoles, radica en su alta toxicidad aún en concentraciones bajas y que están siendo descargados al sistema de drenaje municipal, y deben ser removidos en el sistema de tratamiento.

La cantidad de cloruros es muy alta, y rebasa el doble de una concentración fuerte, este parámetro es a menudo asociado con la concentración de sodio.

Con respecto a las gráficas de los resultados del agua residual, tenemos: La concentración de los sólidos totales tienen un aumento constante hasta el final del semestre así como en la fracción de sólidos disueltos totales, que a su vez se refleja en la conductividad, cloruros, pH y en general en las sales disueltas. La fracción orgánica como lo son los sólidos suspendidos totales y volátiles, presentan poca variabilidad lo que sugiere utilizar un proceso biológico en lugar de un tratamiento químico. Por otro lado los sólidos sedimentables se hallan en concentración muy baja que van desde 0 a 0.6 mL/L.

El contenido de nitrógeno total y amoniacal bajan en las últimas semanas del ciclo escolar aunque el nitrógeno orgánico se mantiene constante. Esto se debe a que una parte de la población de la escuela disminuye sus horas de actividad y presencia.

La alcalinidad presenta una variación al inicio del ciclo y después se mantienen entre valores de 400 y 500 mg/L.

Compuestos como cianuros, fenoles, fosfatos, materia flotante, Nitratos, turbiedad tienen mucha variación en su concentración a lo largo del período.

Los cloruros, conductividad, DBO₅ y DQO, detergentes, grasas y aceites, pH, tienden a elevarse hasta el final del semestre. La temperatura, tiene una variabilidad pequeña entre 18 y 21°C.

Los metales reflejan también el aumento de los sólidos disueltos por elevación de los iones calcio, magnesio y sodio. En lo que respecta al Hierro (Fe), indica una probable corrosión en las tuberías de la escuela, pues los niveles son altos. En lo referente a los demás metales, hay una variación grande entre cada muestreo. La gráfica 5 indica los niveles de bacterias coliformes totales y fecales; el método NMP es una evaluación estadística, cuyos valores límites son alrededor de 2,400,000 colonias por 100 mL de muestra. El efluente de la escuela presenta gran cantidad de este grupo de bacterias.

Dado que existe la posibilidad de utilizar el agua tratada como recurso, en la tabla 9 se encuentra una clasificación de los reusos del agua residual tratada.

Las aguas que son destinadas para satisfacer las necesidades domésticas, así como las utilizadas en el riego de áreas verdes, la recreación, la industria, etc, necesitan cumplir ciertos requisitos respecto al contenido de sustancias y organismos presentes en ellos, de tal forma que garanticen el manejo constante y sin riesgo para la salud a quien este en contacto con ellas sin detrimento de las instalaciones y equipos de las actividades que demanden.

Tabla 9. Clasificación de reusos de agua renovada

| |
|--|
| 1. SUMINISTRO DE AGUA POTABLE |
| Inyección directa a la red de agua municipal |
| Inyección por pasos al acuífero |
| Infiltración superficial al acuífero |
| 2. REUSOS MUNICIPALES |
| Uso recreativo con contacto directo |
| Uso recreativo sin contacto directo |
| Riego urbano |
| 3. REUSO INDUSTRIAL |
| Enfriamiento |
| Generación de vapor |
| Procesos industriales |
| 4. REUSO AGROPECUARIO |
| Forrajes, Alimentos para consumo cocidos. |
| Alimentos que se consumen crudos |
| Abrevaderos y vida silvestre |
| Acuicultura |

En la tabla 10 se presentan los usos potenciales y normas que sancionan la calidad fisicoquímica y biológica del agua residual tratada según la DGCOH ⁽³⁰⁾ en comparación con la concentración promedio de la escuela.

Tabla 10. Normas de calidad de agua renovada para su reuso dictadas por la DGOH en comparación con los resultados promedio de la ENEP Zaragoza Campus II. Los resultados se encuentran en mg/L, excepto donde se indica (*).

| PARAMETRO | RECARGA DE ACUÍFEROS (DGTCC/100) | REGO DE AREAS VERDES | USO AGRICOLA (PARA CRIOLLOS) | INDUSTRIAS (REFINAMIENTO) | DESCARGA EN EP ZARAGOZA (PROMEDIO) |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Alcalinidad | 500 | 500 | 500 | 500 | 451.5 |
| Cloruro | 0.10 | 0.018 | 0.10 | 0.20 | 0.0432 |
| Cloruro* | 250 | 500 | 500 | 600 | 203.37 |
| Color * | N.S | N.S | N.S | N.S | ----- |
| Tono * | N.S | N.S | N.S | N.S | ----- |
| % Pureza * | N.S | N.S | N.S | N.S | ----- |
| % luminosidad * | N.S | N.S | N.S | N.S | ----- |
| λ Máxima (nm) | N.S | N.S | N.S | N.S | ----- |
| Coliformes tot. (# Col/100 ml) | 1000 | 1000 | 1000 | 10,000 | 2,400,000 |
| Coliformes fecales (# col/100 ml) | N.S | 2.2 | N.S | N.S | 1,987,000 |
| Conductividad (µMhos) | 900 | 2000 | 3500 | 2000 | 1439 |
| DQO | 4 | 35 | 35 | 75 | 256.87 |
| DBO5 | 2.5 | 20 | 20 | 20 | 87.25 |
| Detergentes | 0.50 | 1.0 | 0.50 | 0.50 | 6.11 |
| Dureza total | 500 | 625 | 625 | 325 | 152.12 |
| Fenoles | 3500 | 14,000 | 7000 | N.S | 0.109 |
| Fosfatos | 1.0 | 5.0 | 5.0 | 1.0 | 6.40 |
| Grasas y aceites | V.L. | V.L. | V.L. | V.L. | 24.62 |
| Materia flotante | N.S | N.S | N.S | N.S | 0.45 |
| Nitrógeno total | 1.0 | 30.0 | 30.0 | 1.0 | 83.79 |
| Nitrógeno amoniacal | 0.50 | 15.0 | 15.0 | 0.50 | 72.42 |
| Nitrógeno orgánico | 10.0 | 30.0 | 10.0 | 30.0 | 11.37 |
| Nitritos | 30.0 | 90.0 | 30.0 | 90.0 | 0.04 |
| Aluminio | 0.2 | 5.0 | 5.0 | 1.0 | 0.274 |
| Arsénico | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.0087 |
| Bario | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.259 |
| Boro | 5.0 | 1.0 | 1.0 | 5.0 | 0.403 |
| Cadmio | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.75 | 0.0036 |
| Calcio | 400 | 375 | 375 | 75 | 104.452 |
| Cobro | 1.0 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0.069 |
| Cromo | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 1.0 | 0.028 |
| Cromo VI | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 1.0 | 0.005 |
| Hierro | 0.3 | 5.0 | 5.0 | 0.5 | 0.573 |
| Mercurio | 0.002 | 0.02 | 0.002 | 0.03 | 0.006 |
| Níquel | 0.05 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.017 |
| Plata | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.004 |
| Plomo | 0.05 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 0.023 |
| Selenio | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.016 |
| Sodio | 100 | 250 | 250 | 500 | 90.610 |
| Magnesio | 125 | 250 | 250 | 250 | 49.283 |
| Manganeso | 0.05 | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 0.208 |

Tabla 10: Continuación

| PARAMETRO | RECARGA DE ACUIFEROS (INVECCIAN) | RIEGO DE AREAS VERDES | USO AGRICOLA (PARA CRUDOS) | INDUSTRI- ENFRIAMIENTO | DESCARGA ENEP ZARAGOZA (PROMEDIO) |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Zinc | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 25 | 0.164 |
| pH * | 7.9 | 6.9 | 7.8 | 5-8.3 | 8.57 |
| RAS | 6.0 | 18 | 18 | 6 | 2.37 |
| Sólidos Totales | 500 | 1200 | 2000 | 1700 | 763 |
| Sólidos totales vol. | N.S. | N.S. | N.S. | N.S. | 180 |
| Sólidos susp. totales | 2.0 | 15 | 100 | 500 | 79.87 |
| Sólidos susp. volátiles | 1.0 | 5.0 | 25 | 100 | 59.87 |
| Sólidos dis. tot. | 500 | 1200 | 2000 | 1200 | 687.12 |
| Sólidos disueltos vol. | 10 | 10 | 10 | 10 | 128.12 |
| Sólidos sedimentables (ml/l) | N.S. | N.S. | N.S. | N.S. | 8.212 |
| Sulfatos | 250 | 400 | 250 | 700 | 67.58 |
| Temperatura °C | N.S. | N.S. | N.S. | N.S. | 19.6 |
| Turbiedad (NTU) | 5.0 | 20 | 10 | 10 | 111 |

VL= Virtualmente libre

NS= No Sancionado

Con base a los resultados obtenidos en la caracterización de la descarga de la institución y en la información referente a normas de calidad del agua para diversos usos, se concluye que este tipo de aguas residuales no pueden reutilizarse sin tratamiento previo para fines de uso municipal de agua no potable, como son riego de aguas verdes, fines industriales ni agrícolas, ya que existe un alto riesgo para la salud pública.

Adelantandonos a los probables usos del agua tratada y dado que entre otras razones requiere de menores costos de tratamiento a largo plazo, hemos escogido como fines de reuso el riego de áreas verdes. Si observamos la tabla 10 encontraremos que los parámetros que rebasan la norma o límite máximo para este fin son coliformes totales y fecales, DBO_5 , DQO, detergentes, fosfatos, grasas y aceites, nitrógeno total y moniacal, sólidos suspendidos totales y volátiles, sólidos disueltos volátiles y turbiedad. Todos ellos susceptibles de tratamiento por lodos (fangos) activados convencional.

Se propone el siguiente tren de tratamiento para el agua residual de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II.

A. Tratamiento preliminar.

Uso de mallas: Son empleadas para retener materiales de diferentes tamaños; pueden ser circulares, cuadradas o rectangulares sus aberturas. Las mallas gruesas tienen aberturas de 1/4 de pulgada o más y las finas tienen aberturas menores. Las mallas finas son muy empleadas en plantas de tratamientos de desechos industriales y son de tipo disco o tambor (las aberturas en estos tipos de mallas son de 1/32 - 2/32 de pulgada de ancho por dos pulgadas de longitud. Tienen una efectividad de remoción del 5 al 15% de toda la materia suspendida en el agua residual.

B. Tratamiento primario.

Tanque de sedimentación primaria con el fin de remover sólidos sedimentables recolectados en el fondo del tanque y grasas y aceites y otros materiales flotantes por medio de desnatadores en la superficie del mismo. La mayor parte de los tanques de sedimentación son de flujo horizontal y pueden ser rectangulares o circulares en planta. Los tanques de sedimentación primaria, tienen generalmente periodos de retención de 60 a 120 minutos (aunque pueden tener hasta 5 horas) y remueven del 50 al 70% de los sólidos suspendidos, además disminuyen del 25 al 40% de la DBO₅.

C. Tratamiento secundario.

Proceso de lodos activados de carga continua.

Este proceso de tratamiento consiste en la estabilización de aguas residuales, mediante una masa de microorganismos capaces de degradar los desechos. (Ver pag. 35 y 36).

C'. Tanque de sedimentación Secundaria (clarificador circular).

Para separar los sólidos del fango del líquido mezcla. Se trata del último paso en la conservación de un efluente bien clarificado, estable, de bajo contenido en DBO y sólidos suspendidos, como tal, representa un punto crítico en la operación de un proceso de tratamiento de lodos activados.

C". Tanque de cloración: Aplicación de cloro para lograr una desinfección del efluente tratado.

Las eficiencias de remoción esperadas mediante el empleo de este tren de tratamiento, se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Eficiencias en porcentaje de remoción, utilizando tratamiento secundario de lodos activados. (+)= Incremento, (*)=Información no concluyente. Los valores en mg/L, excepto color y turbiedad.

| Parámetro | % de Remoción | mg/L de Remoción | |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| | | Entrada | Salida |
| DBO | 94 | 87.25 | 5.23 |
| DQO | 83 | 256.87 | 43.66 |
| SST | 91 | 79.87 | 7.18 |
| N-NH3 | 70 | 72.42 | 21.72 |
| N-NO3 | + | 11.37 | - |
| Fósforo | 60 | 6.40 | 2.56 |
| Alcalinidad | 38 | 452.50 | 280.55 |
| Grasas y Aceites | 94 | 26.62 | 1.59 |
| Arsénico | 52 | 0.0087 | 0.0041 |
| Bario | 31 | 0.259 | 0.178 |
| Cadmio | 71 | 0.002 | 0.0006 |
| Cromo total | 85 | 0.020 | 0.003 |
| Cobre | 88 | 0.069 | 0.0082 |
| Fluor | * | -- | -- |
| Hierro | 84 | 8.573 | 1.371 |
| Plomo | 85 | 0.023 | 0.0034 |
| Manganeso | 46 | 0.288 | 0.155 |
| Mercurio | 23 | 0.0062 | 0.0047 |
| Selenio | 7 | 0.016 | 0.014 |
| Plata | 91 | 0.040 | 0.0036 |
| Zinc | 67 | 0.164 | 0.054 |
| COT | 89 | -- | -- |
| Turbiedad (UTJ) | 90 | 111.0 | 11.1 |
| Color (Pt/Co) | 56 | -- | -- |
| Detergentes | 79 | 6.11 | 1.28 |

En la tabla 12 se contemplan los parámetros estadísticos aplicados a los resultados del análisis del agua residual de la Escuela Nacional de Estudios

Profesionales Zaragoza Campus II, se determinó el promedio y la dispersión de los datos (media y desviación estándar). Para tener un panorama de la carga fluctuante que recibirá el sistema de tratamiento, se calculó también el rango para obtener los valores de concentración mínima y máxima probable (media $\mu \pm$ rango).

$$\mu - \text{Rango} = \text{Concentración Mínima}$$

$$\mu + \text{Rango} = \text{Concentración Máxima}$$

Tabla 12: Parámetros estadísticos determinados de los valores del análisis para el agua residual de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza Campus II (en mg/L).

| Parámetro | Media (μ) | DS (σ) | Rango | Límite mínimo | Límite máximo |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------------|---------------|
| Alcalinidad | 452.50 | 70.84 | 200.0 | 252.0 | 652.0 |
| Cianuros | 0.0032 | 0.0042 | 0.012 | 0.000 | 0.0152 |
| Cloruros | 203.37 | 75.42 | 242.0 | 0.00 | 445.37 |
| Coliformes totales ² | 2,400,000 | 0.00 | 0.00 | 2,400,000 | 2,400,000 |
| Coliformes fecales ² | 1,987,000 | 275.85 | 800,000 | 1,187,000 | 2,787,000 |
| Conductividad ¹ | 1439 | 372.95 | 1208.0 | 231.0 | 2647.0 |
| DQO | 256.87 | 59.03 | 189.0 | 67.87 | 445.87 |
| DBO | 87.25 | 30.37 | 79.0 | 8.25 | 166.25 |
| Detergentes | 6.11 | 1.05 | 3.4 | 2.71 | 9.51 |
| Dureza total | 156.12 | 25.74 | 69.0 | 87.12 | 225.12 |
| Fenoles | 0.109 | 0.062 | 0.163 | 0.00 | 0.272 |
| Fosfatos | 6.40 | 2.08 | 6.14 | 0.260 | 12.54 |
| Grasas y Aceites | 26.62 | 6.40 | 18.0 | 8.62 | 44.62 |
| Materia flotante | 0.450 | 0.110 | 0.30 | 0.15 | 0.750 |
| Nitrógeno total | 83.79 | 30.21 | 92.26 | 0.00 | 176.05 |
| Nitrógeno amoniacal | 72.42 | 27.80 | 84.42 | 0.00 | 156.84 |
| Nitrógeno orgánico | 11.37 | 2.66 | 8.96 | 2.41 | 20.33 |
| Nitratos | 0.043 | 0.014 | 0.05 | 0.00 | 0.093 |
| Aluminio | 0.274 | 0.252 | 0.741 | 0.00 | 1.015 |
| Arsénico | 0.0087 | 0.019 | 0.059 | 0.00 | 0.067 |
| Bario | 0.259 | 0.440 | 1.175 | 0.00 | 1.434 |
| Boro | 0.403 | 0.054 | 0.171 | 0.232 | 0.574 |
| Cadmio | 0.002 | 0.001 | 0.006 | 0.00 | 0.008 |
| Calcio | 106.452 | 10.561 | 33.45 | 73.002 | 139.902 |
| Cobre | 0.069 | 0.025 | 0.074 | 0.00 | 0.143 |
| Cromo total | 0.020 | 0.020 | 0.069 | 0.00 | 0.089 |
| Cromo VI | 0.005 | 0.010 | 0.032 | 0.00 | 0.037 |
| Hierro | 8.573 | 2.777 | 7.036 | 1.537 | 15.609 |

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla 12: Continuación

| Parámetro | Media (μ) | DS (σ) | Rango | Límite mínimo | Límite máximo |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------|---------------|---------------|
| Magnesio | 49.583 | 16.430 | 49.344 | 0.239 | 98.92 |
| Manganeso | 0.288 | 0.141 | 0.410 | 0.00 | 0.698 |
| Mercurio | 0.0062 | 0.0071 | 0.0199 | 0.00 | 0.0261 |
| Níquel | 0.017 | 0.009 | 0.037 | 0.00 | 0.054 |
| Plata | 0.040 | 0.003 | 0.009 | 0.00 | 0.013 |
| Plomo | 0.023 | 0.026 | 0.075 | 0.00 | 0.098 |
| Selenio | 0.016 | 0.006 | 0.019 | 0.00 | 0.035 |
| Sodio | 98.610 | 28.246 | 96.825 | 1.785 | 195.435 |
| Zinc | 0.164 | 0.104 | 0.354 | 0.00 | 0.518 |
| pH | 8.57 | 0.14 | 0.50 | 8.07 | 9.07 |
| RAS | 2.37 | 0.48 | 1.00 | 1.37 | 3.37 |
| Sólidos T | 762 | 165.1 | 550.0 | 212.0 | 1312 |
| Sólidos T V | 180 | 47.20 | 130.0 | 50.0 | 310.0 |
| Sólidos S T | 79.87 | 26.87 | 76.0 | 3.87 | 155.87 |
| Sólidos S V | 59.87 | 19.55 | 56.0 | 3.87 | 115.87 |
| Sólidos D T | 682.12 | 154.63 | 534.0 | 148.12 | 1216.12 |
| Sólidos D V | 120.12 | 40.58 | 127.0 | 0.00 | 247.12 |
| Sólidos Sed. (mL/L) | 0.21 | 0.17 | 0.60 | 0.00 | 0.81 |
| Sulfatos | 37.59 | 6.27 | 19.49 | 38.10 | 77.08 |
| Temperatura (°C) | 19.62 | 0.85 | 3.00 | 16.62 | 22.62 |
| Turbiedad (UTJ) | 111.0 | 30.97 | 94.0 | 17.0 | 205.0 |

¹ microMhos/cm

² Colonias/100 ml

VIII. CONCLUSIONES

El agua potable que recibe la localidad y que llega a la escuela, tiene características que cubren los requisitos de potabilidad, de acuerdo a las Normas Mexicanas para Agua Potable.

No se realizó un muestreo puntal debido a que el corredor, indicado en el plano I, que colecta las aguas residuales de materias primas, laboratorios de investigación y edificios adjuntos, se encuentra bloqueado, y aunque el corredor proveniente de la planta farmacéutica se encuentra libre, el muestreo sería incompleto.

Los valores de la caracterización del agua residual, no rebasan los límites máximos permisibles para una industria (NOM-CCA-031-Ecol/93), encontrándose muy por debajo de dichos límites. Se realiza esta comparación dado que no existe una norma para descargas de instituciones educativas.

Se observa un aumento de compuestos orgánicos y metales en la descarga, la concentración de la DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles, Grasas y Aceites, indican que en carga orgánica el agua residual es de carácter débil en relación a un agua doméstica típica, pero en cantidades importantes para aplicar un tratamiento biológico.

Los parámetros que rebasan la norma para reuso en riego de áreas verdes son DBO₅, DQO, Detergentes, Fosfatos, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total y Amoniacal, Sólidos suspendidos totales y volátiles, Sólidos disueltos volátiles, turbiedad y Coliformes fecales y totales.

Con respecto a este último, aplicando un tratamiento de lodos activados, teóricamente la carga orgánica tiene una remoción de hasta el 94% en DBO₅ y 83% en DQO, así como del 79% para detergentes, 94% en grasas y aceites, 91% de sólidos suspendidos totales y el 70% para nitrógeno. en lo que se refiere a metales, estos tienen

una remoción que varía desde el 7% para selenio hasta entre un 80 y 90% para cobre, hierro, plomo, cromo y plata.

Se ha propuesto el tratamiento secundario de lodos activados por su aplicabilidad de acuerdo a las características del agua residual de la institución, sin duda su costo inicial es alto, pero es una alternativa importante. Sin embargo existen otras posibilidades de tratamiento que podrían aplicarse como coagulación química y laguna de oxidación.

La utilización de cualquiera de estos métodos, dependerá de la problemática económica, de las condiciones del terreno, de los resultados de las pruebas de tratabilidad y de la separación de los residuos tóxicos que permitan una descarga con niveles bajos de contaminantes.

Este trabajo se realizó antes de la aplicación de medidas para disminuir la descarga de desechos tóxicos al drenaje. Por lo tanto, estos resultados sirven también para evaluar, mediante un análisis de la descarga actual, la disminución de los niveles de contaminación lograda con la separación de dichos desechos tóxicos.

IX. PROPUESTAS

Dadas las condiciones del agua residual de la ENEP Zaragoza Campus II, características y concentración promedio, la continuidad del presente trabajo es la siguiente:

A. Efectuar pruebas de tratabilidad, para determinar si el tipo de tratamiento propuesto es el más idóneo y factible técnicamente a nivel piloto.

B. Realizar una evaluación del terreno, en donde se instalaría la probable planta de tratamiento, climatología del area y un análisis de las fluctuaciones pluviales de la zona.

Finalmente, llevar a cabo un diseño de planta, haciendo un análisis profundo en base a los datos de los puntos arriba señalados, y en los del presente trabajo.

Se sugiere efectuar obras que permitan el acceso a los pozos de visita del corredor bloqueado para poder realizar un muestreo puntal.

El agua residual es más que un problema que se tiene que resolver, es un recurso que debemos aprender a administrar.

CONSIDERANDO

El 19 de Mayo de 1993 por acuerdo del H Consejo Técnico, la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza, trasciende a Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

X. BIBLIOGRAFIA

1. Winkler, M A. Tratamiento Biológico de aguas de desecho, Ed. Limusa, México (1983).
2. CICM. Agua Limpia: Estrategia Nacional, Cuadernos Técnicos No. 3, Ed. Colegio de Ingenieros Civiles, México (1991).
3. Metcalf and Eddy Inc. Wastewater Engineering: Trreatment Disposal, Reuse, 2nd. ed. Ed. McGraw Hill, USA (1979).
4. Diario Oficial de la Federación. Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas, México (1990).
5. APF, Manual on Disposal Refinering Wastes, Volume on Liquids Wastes, USA (1969).
6. Qasim, S R. Wastewater Treatment Plants, Ed. CBS College Publishing, USA (1985).
7. OMS. Guías para la Calidad del Agua Potable, Vol. I, Public Scient. No 481, USA (1985).
8. Santa Niello, R M. Evolution of Industrial Pollution Control, 2nd. ed. Ed. McGraw Hill, USA (1987).
9. CIECCA. Manual de Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, Vol. 1 y 2, 3a. ed. México (1980).
10. USEPA. Handbook for Analytical Quality Control in Water and Waste Water Laboratories, Technology Transfer, USA (1972).
11. Custodio, E. Hidrología Subterránea, 12va. ed. Ed. Omega, España (1983).
12. CIECCA. Instructivo para la toma de muestras para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, Ed. México (1980).
13. USEPA. Handbook for Sampling & Sample Preservation of Water and Wastewater, USA (1982).

14. Diario Oficial de la Federación. Normas Oficiales de Muestreo y Análisis de Laboratorio para Aguas residuales, México (1987).
15. American Health Association. Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater Publication Office), 16a. ed. USA (1991).
16. Mckee, J E. Water Quality Criteria, 2nd ed. Report to California State, USA (1963).
17. Jenkins, D. Química del agua (Manual de Laboratorio), 3a. ed. Ed. Limusa, México (1983).
18. Halleboe, H E. Manual de tratamiento de Aguas, 8va. ed. Ed. Limusa, México (1984).
19. Maskew, F G. Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales, 4a. ed. Ed. Limusa, México (1980).
20. Dickson, T R. Química Enfoque Ecológico, 3a. ed. Ed. Limusa, México (1986).
21. Maskew, F G. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, 4a. ed. Ed. Limusa, México (1984).
22. Corzo, M A. Ingeniería de Proyectos, 11va. ed. Ed. Limusa, México (1990).
23. Kemmer, F N. Manual del Agua; Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Ed. McGraw Hill, México (1983).
24. Manual Técnico del Agua, 4a. ed. Ed. Degremont, España (1980).
25. Eckenfelder, W W. Industrial Water Pollution Control, 2nd. ed. Ed. McGraw Hill, USA (1989).
26. Water Analysis, Vol I, II, Ed. Academic Press, Inc., USA (1982).
27. Handbook of Water Purification, 2nd ed. Ed. John Wiley & Sons, USA (1987).
28. Babcock, R H. Instrumentación y Control en el Tratamiento de Agua Potable, Industrial y de Desecho, 4a. ed. Ed. Limusa, México (1985).
29. Morales, O G A. Tesis de Licenciatura: Estudio Comparativo de Procesos de Tratamiento de efluentes para la eliminación de Sólidos Orgánicos Disueltos Mediante un Análisis Gráfico, ENEP Zaragoza (1986).

30. DDF. Análisis de Factibilidad Técnica, Económica y Operacional de Aplicación de Normas para el Reuso de Aguas Residuales Tratadas en el Distrito Federal, México (1987).
31. Arrijoja, J R. Control de Calidad Estadístico de Análisis de Laboratorio, 2a. ed. Ed. Limusa, México (1988).
32. CNA, Memorias. Seminario Internacional sobre el Uso Eficiente del Agua, México (1991).
33. UAM Manual de Curso. Tratamiento de Aguas Residuales; Azcapotzalco, México (1984).
34. IPN Manual de Curso. Tratamiento de Aguas Residuales, México (1991).
35. Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories, USA (1979)
36. Fritz, S J. Química Analítica Cuantitativa, 3a ed. Ed. Limusa, México (1979).
37. Dickson, T R. Química Enfoque Ecológico, 2a ed. Ed. Limusa, México (1986).
38. Dick, J G. Química Analítica, Ed. El Manual Moderno, México (1979).
39. Ayres, G H. Análisis Químico Cuantitativo, 2a ed. Ed. Harla, México (1980).
40. Carter, M W. Environmental Impact of Water Resources Project, 2a ed. Ed. Lewis Publishers, Inc. USA (1986).