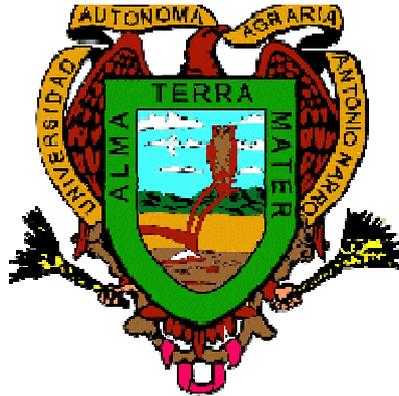


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

DE LA COLONIA LA MINA TORREÓN, COAH.

POR

EDWIN CUELLAR CARRASCO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

EL TÍTULO DE:

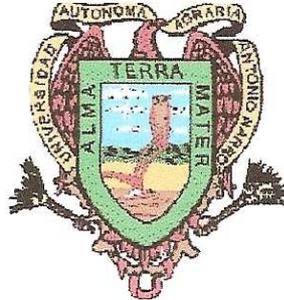
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DEL 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA
COLONIA LA MINA TORREÓN, COAH.

POR
EDWIN CUELLAR CARRASCO

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA

ASESOR PRINCIPAL

Manuela Bolívar Duarte

DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE

COASESOR

Javier J. Cortes Bracho

DR. JAVIER J. CORTES BRACHO

COASESOR

Ricardo Vázquez Chávez

M.C. RICARDO VÁZQUEZ CHÁVEZ
"ANTONIO NARRO"

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Raúl Rodríguez García

DR. RAÚL RODRÍGUEZ GARCÍA



BIENVISTA SAITILLO COAHUILA MEXICO JUNIO 2010
Coordinación de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haber abierto las puertas y brindarme la oportunidad de formarme como Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Por justa razón siempre pondré tu nombre en alto como la gran Institución en el sector agrario que eres.

Al Departamento de Riego y Drenaje por dejarme por haberme dejado ser parte de su historia y cultivar todos los conocimientos del ingeniero que ahora me vuelvo y a todo el personal de docencia que conforman a éste, el mejor departamento de la UAAAN.

A mis asesores gracias por el apoyo que me dieron en la realización de este trabajo de tesis.

A la Dra. Manuel Bolívar Duarte no solo fue un asesor sino que también me brindo su confianza y apoyo moral, compartió conmigo sus conocimiento así como el tiempo y dedicación en la elaboración de este trabajo. Le deseo lo mejor junto con toda su familia y espero que nuestra amistad nunca se termine.

Al M.C. Ricardo Vaquera Chávez por haberme brindado su amistad y compartir todos sus conocimientos, al tiempo dedicado no solo en la realización de este trabajo sino también a mi formación como persona, por aconsejarme en todos los problemas que se me presentaron en mi estancia en la UAAAN, por haberme abierto las puertas de su casa y dejar sentirme parte de su familia que dios lo bendiga a usted con toda su familia

Al Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho al tiempo que dedico a la realización de este trabajo, a mi formación profesional y esa amistad que me ofreció desde el momento que ingrese a esta Institución.

DEDICATORIA.

A MIS PADRES:

Sra. María Carrasco Gómez por haber confiado incondicionalmente en este proyecto de mi vida que es mi carrera que estoy a punto de culminar, gracias a ti mami por dedicarme tantos desvelos y preocupaciones en mi estancia lejos por ello te dedico este trabajo de tesis que es una forma de decirte ya culmine mi proyecto en el cual siempre estuviste apoyando y alentando para seguir siempre adelante con esto, te amo mamá.

Sr. Heriberto Herrera Tovar esta es una forma de decirte cuanto te quiero, agradezco todos los desvelos, consejos y apoyos que siempre me otorgaste a pesar de mi mal genio siempre me estuviste apoyando, como también a mi mamá.

Por todas esas razones y más, les dedico este trabajo que más que ser mío es de ustedes por ser tan maravillosos padres.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Contaminación del Agua.....	4
2.2 Tipos de Contaminación del Agua.....	4
2.2.1 Compuestos Minerales.....	4
2.2.2 Compuestos Orgánicos.....	4
2.2.3 La Contaminación Microbiológica.....	5
2.2.4 La Contaminación Térmica.....	5
2.3 Tipos de Agua en Función del Origen de su Contaminación.....	5
2.3.1 Aguas Residuales Urbanas.....	5
2.3.2 Aguas Residuales Industriales.....	12
2.3.3 Aguas Residuales Ganaderas.....	12
2.3.4 Aguas Residuales Agrícolas.....	12
2.3.5 Mareas Negras.....	12
2.4 Toma y Preservación de Muestras.....	13
2.5 Tipos de Muestras.....	14
2.5.1 Muestra Simple o Puntual.....	14

2.5.2	Muestras Compuestas.....	15
2.5.3	Muestras Integradas.....	16
2.6	Control y Vigilancia del Muestreo, Preservación y Análisis	18
2.6.1	Etiquetas	18
2.6.2	Sellos	18
2.6.3	Libro de Campo.....	19
2.6.4	Registro del Control y Vigilancia de la Muestra.....	19
2.6.5	Formato de Solicitud de Análisis	20
2.6.6	Entrega de la Muestra en el Laboratorio	20
2.6.7	Recepción y Registro de la Muestra.....	21
2.6.8	Asignación de la Muestra para Análisis	21
2.7	Métodos de Muestreo	21
2.7.1	Muestreo Manual.....	21
2.7.2	Muestreo Automático	21
2.8	Recipientes para las Muestras	22
2.9	Precauciones Generales.....	23
2.10	Número de Muestras	25
2.11	Cantidad de la Muestra.....	25
2.12	Preservación de la Muestra	26
2.12.1	Naturaleza de los Cambios en la Muestra	26
2.12.2	Intervalo de Tiempo Entre la Toma y el Análisis de Muestras	27
2.12.3	Técnicas de Preservación	27
2.13	Aforo de Caudales y Efluentes.....	35
2.13.1	Medición Volumétrica Manual	36

2.13.2	Medición en Canales Abiertos.....	37
2.13.3	Medición por Velocidad.....	38
2.14	Parámetros de Calidad de Agua.....	40
2.14.1	Índice de Calidad del Agua.....	40
2.15	NOM-001-ECOL -1996.....	42
2.16	NOM-002-SEMARNAT-1996.....	45
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1	Procedimiento del Muestreo.....	47
3.2	Materiales y Equipo para la Determinación de los Parámetros a Analizar.....	52
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53
V.	CONCLUSIONES.....	61
VI.	RECOMENDACIONES.....	62
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1 Composición de las Aguas Urbanas (FAO, 2005).....	5
Cuadro No. 2 Recomendaciones para el Muestreo y Preservación de Muestras de Acuerdo con las Mediciones.....	29
Cuadro No. 3 Parámetros del Ica: Importancia Relativa (Comisión Nacional del Agua,1999.)	41
Cuadro No. 4 Parámetros y Límites Máximos de Acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.....	43
Cuadro No. 5 Parámetros y Límites Permisibles de Acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996(DOF).....	45
Cuadro No. 6 Material o Equipo y Parámetros a Medir en Laboratorio.	52
Cuadro No. 7 Se Muestran los Parámetros Hidráulicos (Gasto, Velocidad y Nivel del Efluente) Obtenidos con el Sigma 900 Max	53
Cuadro No. 8 Se Muestran los Parámetros Hidráulicos (Gasto, Velocidad y Nivel del Efluente) Obtenidos con el Sigma 900 Max	55
Cuadro No. 9 Promedio por Día de los Parámetros Físicos-Químicos a Comparar con las Normas.....	58
Cuadro No. 10 Promedio Diario de Parámetros Físico-Químicos Comparados con los de la NOM-001-ECOL-1996	58
Cuadro No. 11 Promedio Diario de los Parámetros Físico-Químicos Comparados con los de la NOM-002-SEMARNAT1996.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Localización del registro de alcantarillado donde fue tomada la muestra	46
Figura No. 2 Muestreador SIGMA 900 MAX con la fuente de energía.....	49
Figura No. 3 Llenando recipiente muestreador.....	50
Figura No. 4 Midiendo pH con un potenciómetro.....	51
Figura No. 5 Recipientes llenos de aguas residuales en hielera.....	51
Figura No. 6 Parámetros hidráulicos tomados el sábado 11 de Julio del 2009.....	54
Figura No. 7 Parámetros hidráulicos del domingo 12 de Julio del 2009.....	55
Figura No. 8 Parámetros hidráulicos del miércoles 15 de Julio del 2009.....	56
Figura No. 9 Parámetros hidráulicos del jueves 16 de Julio del 2009.....	57

RESUMEN

En la Ciudad de Torreón, Coahuila México, al sur de la Unidad Laguna de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se localiza la Colonia la Mina donde se realizó un muestreo de aguas residuales evaluando los parámetros hidráulicos del efluente y la determinación de los parámetros físico-químicos al agua residual para establecer su calidad. El muestreo de las aguas residuales es utilizado para recabar datos de soporte técnico para el diseño de una planta de tratamiento.

Para la medición de los parámetros hidráulicos que fueron gasto (m^3/s), velocidad (m/s) y la carga se utilizó el muestreador automático SIGMA 900 MAX y para evaluar la calidad del agua residual se determinaron los parámetros físico químicos: Potencial de hidrogeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SS), grasas y aceites (G y A), nitrógeno total (N total), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), nitrógeno orgánico (N org.), soluciones activas al azul de metileno (SAAM), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fosforo total (F total). Estos parámetros físico químicos fueron comparados con las Normas Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales.

Palabras claves: **Aguas residuales, parámetros hidráulicos, parámetros**

físico-químicos y Normas Mexicanas.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más abundante del planeta. Se calcula que el 75 por ciento de la superficie del planeta está cubierto de agua.

El 97 por ciento del agua total del planeta es agua salada que se encuentra en los océanos, el restante 3 por ciento se reparte en: agua sólida atrapada en los glaciales (2 por ciento), agua subterránea a más de un kilómetro de profundidad que no está a nuestro alcance (0.5 por ciento) y el resto es agua dulce concentrada en lagos, ríos y vertientes (0.5 por ciento). Aunque esta cantidad de agua dulce parece pequeña, es fundamental para la vida animal y vegetal. El agua de lagos, ríos y vertientes se llama "dulce" para diferenciarla del agua salada de los mares (Comisión Nacional del Agua-CNA-2007).

En el ambiente acuático (tanto de agua salada como dulce) vive una enorme cantidad de organismos vivos, como peces y vegetales. Además el agua es indispensable en la supervivencia de casi todos los organismos vivos del planeta.

La contaminación del agua atenta no sólo contra la supervivencia de los seres que habitan en ella, sino también contra quienes beben de las fuentes contaminadas, sean seres humanos, animales o plantas. Existen básicamente dos formas de contaminación del agua, las de causa natural y las generadas por el hombre.

La escasez cada vez es mayor del agua dulce debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y probablemente, al cambio climático, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas. En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura. Si bien el uso de aguas residuales en la agricultura puede aportar beneficios (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas) su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana. Estos impactos en la salud se pueden minimizar cuando se implementan buenas prácticas de manejo para lo que es necesario la determinación de la calidad del agua residual. Para ello debemos saber los tipos de muestreo que existen para determinar el más apropiado de acuerdo a nuestras necesidades, cómo se debe llevar a cabo este método, cuándo se debe realizar, el material necesario, técnicas de conservación en campo de acuerdo a los parámetros que se deban determinar, así como las técnicas de laboratorio necesarias para los parámetros fisicoquímicos necesarios y poder compararlos con las normas oficiales que rigen actualmente en México, ya que para cada uso requiere un determinado estándar de calidad.

1.1 Justificación

Los datos resultantes del muestreo de las aguas residuales sirven como soporte técnico para el diseño de una planta de tratamiento, además los datos obtenidos de calidad son comparados con los parámetros

establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas que definirán la construcción de la planta tratadora y su reutilización en los diferentes usos.

1.2 Objetivos

- Determinar los parámetros del efluente de la Colonia La Mina, Torreón, Coah.
- Determinar la calidad del agua residual de la Colonia La Mina, Torreón, Coah.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Contaminación del Agua

Según Carabias *et al.* (2005) la contaminación de los cuerpos de agua es producto de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola, pecuario o minero. A finales del año 2001, más del 70 por ciento de los cuerpos de agua del país presentaban algún indicio de contaminación (CNA, 2003). Las cuencas que destacan por sus altos índices de contaminación son la del Lerma-Santiago, la del Balsas, y las aguas del Valle de México y el sistema Cutzamala (CNA, 2004).

2.2 Tipos de Contaminación del Agua

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2005) la contaminación del agua puede estar producida por:

2.2.1 Compuestos Minerales

Pueden ser sustancias tóxicas como los metales pesados (plomo, mercurio, etc.), nitratos, nitritos. Otros elementos afectan a las propiedades organolépticas (olor, color y sabor) del agua que son el cobre, el hierro, etc. Otros producen el desarrollo de las algas y la eutrofización (disminución de la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua como el fósforo).

2.2.2 Compuestos Orgánicos

Producen también eutrofización del agua debido a una disminución de la concentración de oxígeno, ya que permite el desarrollo de los seres vivos y éstos consumen oxígeno, fenoles, hidrocarburos, detergentes, etc.

2.2.3 La Contaminación Microbiológica

Se produce principalmente por la presencia de fenoles, bacterias, virus, protozoos, algas unicelulares.

2.2.4 La Contaminación Térmica

Provoca una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables.

2.3 Tipos de Agua en Función del Origen de su Contaminación

2.3.1 Aguas Residuales Urbanas

Según la FAO (2005) las aguas residuales urbanas se componen de aguas fecales, aguas de fregado, agua de cocina. Los principales contaminantes de éstas son la materia orgánica y microorganismos, en el Cuadro No. 1 se muestra la composición de las aguas residuales urbanas. Estas aguas suelen verterse a ríos o al mar tras una pequeña depuración.

Cuadro No.1. Composición de las aguas urbanas (FAO, 2005).

Constituyentes	Concentraciones en mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
Total de sólidos	1200	700	350
Sólidos disueltos (TDS)	850	500	250
Sólidos en suspensión	350	200	100
Nitrógeno (como N)	85	40	20
Fósforo (como P)	20	10	6
Cloruro de	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50
DBO₅	400	200	100

2.3.1.1 Propiedades Físicas

Estas propiedades según Seoánez. (1999) son adquiridas en su mayor parte, según sea el contenido de sólidos totales en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos.

El color de los efluentes urbanos es un indicador de la concentración y composición de las aguas contaminadas y puede variar del gris al negro.

La temperatura no plantea gran problema, ya que oscila entre 10 y 20 °C; facilita el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente.

El olor es causado por la putrefacción o descomposición de la materia orgánica esto es debido a la concentración de ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles. El olor y color aumentan su intensidad en medida que se incrementen las condiciones sépticas del agua residual.

2.3.1.2 Propiedades Químicas

El mismo autor nos dice que las propiedades químicas de las aguas residuales son proporcionadas por componentes que podemos agrupar en tres categorías según su naturaleza: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos, conjunto que podemos reunir a su vez en dos grandes grupos: sólidos en suspensión y compuestos en disolución.

1. Conductividad Eléctrica (CE).

Es un parámetro acumulativo de la concentración de iones de una solución. Mientras más sales, ácidos o bases se encuentren disociados en una

solución, más alta será su conductividad. Al ser los iones de las sales disueltas la causa de la conductividad en las aguas brutas y residuales, con ayuda de este parámetro es posible determinar tanto la concentración de sal en aguas residuales como el grado de pureza del agua.

La conductividad se mide en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y esta unidad es el producto de la conductancia de la solución y la constante de geometría de la celda conductimétrica. La escala de conductividad de soluciones acuosas comienza con un valor de $0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C) para el agua ultrapura. La conductividad de aguas naturales como el agua potable o aguas de superficie oscila entre $100 - 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. En el extremo superior de la escala quedan algunos ácidos y bases.

Es un parámetro de medición reconocido e imprescindible para el análisis de aguas residuales, brutas y el análisis de procesos industriales. Los sistemas de medición de operación continua se utilizan entre otras cosas para vigilar las cargas de sal en las entradas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, en el control de calidad de agua potable y ultrapura o para la determinación de impurezas no específicas en procesos industriales.

2. Potencial de Hidrógeno (pH).

Para Seoáñez. (1999) éste parámetro nos indica la concentración de protones (iones hidrógeno H^+) presentes en una disolución acuosa. La expresión que nos da el pH de una disolución es una relación logarítmica:

$$pH = -\log[\text{H}^+]$$

Donde:

$[H^+]$ = Concentración de protones en el equilibrio de las disolución, mol/L

La escala del pH puede tomar valores de 0 a 14, siendo el pH=7 el correspondiente a una disolución neutra, esto es, sin carácter ácido ni alcalino. Se emplea un potenciómetro basado en métodos conductimétricos y permiten conocer con gran exactitud el valor del pH de una disolución.

3. Oxígeno Disuelto (OD).

Según Pürschel (1993) el OD es la cantidad de oxígeno que esta disuelta en el agua. Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno del aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura también. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. Una diferencia en los niveles de OD puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua esta fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de OD también puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y las temperaturas del agua en el verano. Asimismo, una diferencia en los niveles

de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm).

4. Sólidos Sedimentables (SS).

La Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000 publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de Marzo de 2002. Establece que los sólidos sedimentables son materiales que se detectan en el fondo de un recipiente debido a la sedimentación de éstos.

5. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

La Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001) que se publicó en el DOF el día 19 de Marzo del 2002 establece que los sólidos suspendidos totales están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante.

6. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

La Norma Mexicana anterior dice que los sólidos suspendidos volátiles son la cantidad de materia orgánica (incluidos aquéllos inorgánicos) capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación $550^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 15 a 20 min.

7. Compuestos Nitrogenados.

Pürschel (1993) nos dice que el óxido nitroso (N_2O_3) o el ácido nitroso no son perjudiciales si aparecen en pequeñas cantidades, pero puede

ser de consecuencia de la contaminación fecal. Por lo tanto, éstos compuestos deben de estar ausentes del agua potable. Si se trata de agua subterránea muy profunda, pobre en oxígeno y conteniendo en hierro, la presencia de ácido nitroso y amoníaco se debe a las condiciones geológicas. En este caso, no existen reparos desde el punto de vista higiénico.

El óxido nitroso (N_2O_3) o el ácido nítrico (NO_3H) son el producto final de la oxidación de sustancias orgánicas nitrogenadas. En el agua potable pueden admitirse hasta 50mg/L. Sin embargo conviene que no pase de 30 mg/l. Un contenido mayor en nitritos podría interpretarse como impurezas orgánicas. Ocasionalmente, son las condiciones geológicas las que dan lugar a un contenido elevado de nitratos.

8. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso de agua, captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de oxígeno al margen de todo proceso biológicas se le denomina DQO.

La medida del DQO es una estimación de materiales oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). Es una prueba particularmente útil para apreciar el funcionamiento de las estaciones depuradoras. El DQO es función de las características de los compuestos presentes de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, por lo que la interpretación y la reproducción de los resultados no son

satisfactorios más que bajo unas condiciones meteorológicas bien definidas estrictas según Seoánez (1999.).

9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

También el autor anterior expresa que es la cantidad de oxígeno necesario para biodegradar (degradación por microorganismos) la materia orgánica. Este parámetro ha sido objeto de distintas discusiones; sin embargo, mejorado y precisando las condiciones del pH, de temperatura y de la salinidad, constituye un método de los fenómenos naturales de degradación de la materia orgánica.

Hay que considerar que la oxidación de la materia orgánica no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación; a ésta se le debe añadir la oxidación de los nitritos y las de las sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno por los procesos de asimilación y de formación de nuevas células. Por lo tanto, en la medida que este parámetro varía según las especies de microorganismos, su concentración y edad, la presencia de bacterias nitrificantes y la presencia de protozoos consumidores de oxígeno y que se alimentan de bacterias. También lo hacen a lo largo de los procesos catabólicos las reacciones de descarboxilación, hidrólisis e hidratación no consumen oxígeno, pero el elemento intermolecular si puede emplearse con fines respiratorios, dando lugar a una disminución del oxígeno del medido. Algunas sustancias reductoras con sulfuros, sulfitos, hierro ferro, etc., que se encuentran en los vertidos industriales, influyen también en el consumo de oxígeno. El problema se complica cuando hay vertidos de distintos orígenes.

La DBO, en la práctica, permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable.

2.3.2 Aguas Residuales Industriales

Según la FAO (2005) las aguas residuales industriales contienen casi todos los tipos de contaminantes (minerales, orgánicas, térmicos por las aguas de refrigeración). Estas aguas se vierten a ríos o mares tras una depuración parcial.

2.3.3 Aguas Residuales Ganaderas

Según la FAO (2005) el tipo de contaminantes va a ser materia orgánica y microorganismos. Pueden contaminar pozos y aguas subterráneas cercanas.

2.3.4 Aguas Residuales Agrícolas

La misma publicación de la FAO nos indica que los contaminantes que contienen las aguas residuales agrícolas son materia orgánica (fertilizantes, pesticidas). Pueden contaminar aguas subterráneas, ríos, mares, embalses, etc.

2.3.5 Mareas Negras

La causa de éstas es el vertido de petróleo debido a pérdidas directas de hidrocarburos (sólo un 9 por ciento) siendo las fuentes de contaminación marina por petróleo más importantes las constituidas por las operaciones de limpieza y lastrado de las plantas petrolíferas.

2.4 Toma y Preservación de Muestras

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio. El propósito del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.) para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis (Garay *et al*, 1993).

Los mismos autores dicen que en algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

2.5 Tipos de Muestras

Según Asociación Nacional de Industriales 1997 reportaron que existe tres tipos de muestras que se mencionan a continuación:

2.5.1 Muestra Simple o Puntual

Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

2.5.2 Muestras Compuestas

En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (*time-composite*)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios. Para éstos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disuelto, pH o temperatura,

pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 min) y mezclarlas al final del período de muestreo o combinarlas en una sola botella al momento de tomarlas. Si las muestras van a ser preservadas, agregar previamente las respectivas sustancias a la botella, de tal manera que todas las porciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Es deseable y a menudo esencial, combinar las muestras individuales en volúmenes proporcionales al caudal. Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestra de 2 a 3 L. Para este propósito existen muestreadores automáticos, que no deben ser empleados a menos que la muestra sea preservada; limpiar tales equipos y las botellas diariamente, para eliminar el crecimiento biológico y cualquier otro depósito.

2.5.3 Muestras Integradas

Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos o lo más cercanas

posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

Los lagos naturales y artificiales muestran variaciones de composición según la localización horizontal y la profundidad; sin embargo, éstas son condiciones bajo las cuales las variaciones locales son más importantes mientras que los resultados promedio y totales no son especialmente útiles. En tales casos se deben examinar las muestras separadamente antes que integrarlas.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior. Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento y composición de varias partes del cuerpo de agua a ser estudiado. La toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.

2.6 Control y Vigilancia del Muestreo, Preservación y Análisis

Garay, *et al*, (1993) reportan que el proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (*chain-of custody procedure*) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona si esta bajo su posesión física individual, a su vista y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

2.6.1 Etiquetas

Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección y preservación realizada.

2.6.2 Sellos

Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: número de muestra (idéntico al número en la etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora de muestreo; también son útiles los sellos de plástico térmicos. Adherir el sello de tal manera que sea necesario

romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal muestreador ceda la custodia o vigilancia.

2.6.3 Libro de Campo

Registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo en un libro apropiado, en el que se incluya como mínimo lo siguiente: propósito del muestreo; localización de la estación de muestreo o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la dirección y el nombre del representante de la empresa; tipo de muestra y método de preservación si es aplicable. Si se trata de una muestra de aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente. Estipular también la posible composición de la muestra y las concentraciones; número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; número(s) de identificación del (los) recolector(es) de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados. Guardar el libro en un sitio seguro.

2.6.4 Registro del Control y Vigilancia de la Muestra

Diligenciar el formato de control y vigilancia de cada una de las muestras o grupo de muestras, las cuales deben estar acompañadas de este formato; en él se incluye la siguiente información: número(s) de la(s)

muestra(s); firma del recolector responsable; fecha, hora y sitio de muestreo; tipo de muestra; firmas del personal participante en el proceso de control, vigilancia y posesión de las muestras y las fechas correspondientes.

2.6.5 Formato de Solicitud de Análisis

La muestra debe llegar al laboratorio acompañada de una solicitud de análisis; el recolector completa la parte del formato correspondiente a la información de campo de acuerdo con la información anotada en el libro de campo. La parte del formato correspondiente al laboratorio la completa el personal del laboratorio e incluye: nombre de la persona que recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recepción, y las determinaciones a ser realizadas.

2.6.6 Entrega de la Muestra en el Laboratorio

Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo, en el transcurso de dos días como máximo; si el tiempo de almacenamiento y preservación es menor, debe planificarse el procedimiento para asegurar su entrega oportuna en el laboratorio. En caso de que las muestras sean enviadas por correo a través de una empresa responsable, se debe incluir el formato de la compañía transportadora dentro de la documentación del control y vigilancia de la muestra. La solicitud de análisis debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.

2.6.7 Recepción y Registro de la Muestra

En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición y el sello de la muestra, compara la información de la etiqueta y el sello con el registro o formato del proceso de control y vigilancia, le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el cuarto o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.

2.6.8 Asignación de la Muestra para Análisis

Que el coordinador del laboratorio asigna la muestra para su análisis. Una vez la muestra está en el laboratorio, el auditor y los analistas son responsables de su cuidado y vigilancia.

2.7 Métodos de Muestreo

Según el Instituto de Tecnología del Agua (IMTA 2005) hay dos métodos de muestreo:

2.7.1 Muestreo Manual

El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

2.7.2 Muestreo Automático

Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar

muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones del mismo y las necesidades del muestreo, ajustar cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos según el tipo de muestra a tomar.

2.8 Recipientes para las Muestras

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, éstos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, aceites y grasas según Garay, *et al*, (1993).

2.9 Precauciones Generales

El IMTA (2005) nos indica que uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente al uno por ciento del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras coleccionadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo coleccionando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades

y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible aparentar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

En términos generales, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, éstos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz.

2.10 Número de Muestras

Garay, *et al*, (1993) debido a las variaciones aleatorias tanto del procedimiento analítico como la presencia de un constituyente en el punto de muestreo, una muestra simple puede ser insuficiente para obtener el nivel deseado de incertidumbre. Si la desviación estándar de todo el proceso es conocida, el número de muestras requeridas puede ser calculado a través de la siguiente relación.

$$N \geq (ts/U)^2$$

Donde:

N = número de muestras,

t = prueba t de Student para un nivel de confiabilidad dado,

s = desviación estándar global, y

U = nivel aceptable de incertidumbre.

2.11 Cantidad de la Muestra

Los mismos autores dicen que para la mayoría de análisis físicos y químicos tomar 2 L de muestra. Para determinados análisis puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes. Colectar siempre un volumen de muestra suficiente en el recipiente adecuado que permita hacer las mediciones de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación.

2.12 Preservación de la Muestra

Según Garay, *et al*, (1993) las muestras se deben preservar de acuerdo a su naturaleza, tiempo de medir el parámetro deseado de la muestra.

Dicen que es prácticamente imposible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales y de aguas naturales. Independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus constituyentes; en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente.

2.12.1 Naturaleza de los Cambios en la Muestra

Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes. Los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos, formar complejos con otros constituyentes e incluso algunos, tales como aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc, se pueden adsorber en las superficies de los recipientes (vidrio, plástico, cuarzo, etc.). Bajo determinadas condiciones oxidantes o reductoras, los iones pueden cambiar de estado de valencia; otros constituyentes se pueden disolver o volatilizar con el paso del tiempo.

Los cambios biológicos que tienen lugar en una muestra pueden cambiar la valencia de un elemento o radical los constituyentes solubles pueden convertirse en materiales orgánicamente enlazados a las estructuras celulares o la ruptura de las células puede liberar el material celular hacia la

solución. Los ciclos del nitrógeno y del fósforo son ejemplos de la influencia biológica en la composición de la muestra. La actividad microbiológica puede ser responsable de cambios en el contenido de nitrato-nitrito-amonio, disminución de la concentración de fenoles y de la DBO o de la reducción del sulfato a sulfuro.

2.12.2 Intervalo de Tiempo Entre la Toma y el Análisis de Muestras

Los resultados analíticos son más exactos en la medida que el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis sea menor, hecho especialmente cierto cuando las concentraciones de los analitos están en el orden de $\mu\text{g/L}$. Para evaluar ciertos constituyentes y parámetros físicos, se requiere su análisis inmediato en el campo. Para las muestras compuestas se registra el tiempo en el momento de finalizar la operación de composición. Los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura (< 4 °C pero sin congelar). Registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra y la técnica de preservación aplicada.

2.12.3 Técnicas de Preservación

Según el Instituto Mexicano Tecnología del Agua (2005) los métodos de preservación incluyen las siguientes operaciones: control del pH (retardar la acción biológica) adición de reactivos (retardar la hidrólisis de los compuestos o complejos químicos) uso de botellas ámbar y opacas, refrigeración, filtración (reducir la volatilidad de los constituyentes) y congelamiento (reducir los efectos de absorción.).

Para minimizar la volatilización o biodegradación de los constituyentes, guardar la muestra a baja temperatura sin congelación. Antes del envío al laboratorio, es preferible empacar las muestras en hielo triturado o en sustitutos comerciales del hielo; evitar el uso de hielo seco debido a que puede alterar el pH de las muestras, además de que las congela y puede causar la ruptura de los recipientes de vidrio. Las muestras compuestas deben mantenerse a 4 °C, con hielo o un sistema de refrigeración, durante el período de composición. Analizar las muestras lo más pronto posible después de su llegada al laboratorio; si esto no es posible se recomienda, para la mayoría de muestras, almacenamiento a 4 °C (Sawyer, y Mccarty, 1996).

Los autores anteriores consideran que para la adición de preservativos químicos sólo es aplicable cuando éstos no interfieren con los análisis a realizarse y deben agregarse previamente a la botella de muestra de tal manera que todas las porciones de muestra se preserven de inmediato. En ocasiones, cuando se hacen diferentes determinaciones en una muestra es necesario tomar diferentes porciones y preservarlas por separado, debido a que el método de preservación puede interferir con otra determinación. Todos los métodos de preservación pueden ser inadecuados cuando se aplican a la materia en suspensión. El formaldehído afecta la mayoría de análisis químicos y no debe usarse como preservativo.

En la Cuadro No.2 se dan los métodos de preservación recomendados para varios constituyentes; la estimación del volumen de muestra requerido para su análisis; el tipo de recipiente sugerido y el tiempo

máximo de almacenamiento recomendado para muestras preservadas en condiciones óptimas (Garay et al 1993 e IMTA 2005).

Sin embargo, es imposible dar las reglas absolutas para prevenir todos los cambios posibles; en cada protocolo de análisis de las variables fisicoquímicas se encuentra la información correspondiente. La confiabilidad de una determinación analítica se apoya en la experiencia y buen criterio de la persona que toma la muestra.

Cuadro No.2 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras de acuerdo con las mediciones

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Acidez	P, V	100	s	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No requiere	6 meses

Continuación.....

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Bromuro	P, V	100	s, c	No requiere	28 d
Carbono orgánico, total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H ₃ PO ₄ o H ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Cianuro: Total	P, V	500	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad ⁶	14 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Compuestos orgánicos:					
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	V(S), tapón de TFE	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	40 d después de extraer
Purgables por purga y trampa	V, tapón de TFE	2 a 40	s	Refrigerar; agregar HCl hasta pH<2; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay Cl residual	14 d

Continuación.....

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbono	P, V	100	s	Análisis inmediato	—
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	
Fluoruro	P	300	s, c	No requiere	28 d
Clorable	P, V	500	s, c	Agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /L	14 d
Cloro, residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de lodos	V, botella de gases	—		—	—
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d

Continuación.....

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Clorable	P, V	500	s, c	Agregar 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /L	14 d
Cloro, residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de lodos	V, botella de gases	—		—	—
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales, general		500	s	Filtrar ⁸ , agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	300	s	Refrigerar	24 h
Cobre, colorimetría	P (A), V(A)				
Mercurio	P (A), V(A)	500	s, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2, 4° C,	28 d

Continuación.....

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento o máximo recomendado
Nitrógeno:					
Amoníaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible	—
Oxígeno, disuelto:	G, botella DBO	300	s		
Electrodo				Análisis inmediato	—

Continuación.....

Determinación	Recipiente Plástico (P) Vidrio(V)	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra Simple (s) Compuesta(c)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Ozono	V	1000	s	Análisis inmediato	—
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sabor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	—
Sílica	P	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	—
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	—

2.13 Aforo de Caudales y Efluentes

Según el IMTA (2005) el aforo de canales abiertos es muy importante ya que en México, el 67.6 por ciento de la población cuenta con alcantarillado el otro 33.4 por ciento tienen descargas a cielo abierto, fosas u otro tipo de descarga.

Una vez determinados el tipo de descarga y ubicación del sitio donde se va a realizar el muestreo, se diseña el plan de aforo y muestreo. En la determinación de caudales debe adoptarse la forma más práctica de aforar dependiendo del tipo de descarga que se tenga; si se hace necesario adecuar el sitio de muestreo, se deben dar las instrucciones para la implementación de la adecuación. Los factores que se han de tener en cuenta en el momento de seleccionar un sistema de medición son los siguientes:

Tipo de conducto y accesibilidad.

- ✚ El intervalo de medida debe cubrir con la mejor precisión posible, los caudales máximos y mínimos previstos teóricamente. Si el punto de medida recoge aguas pluviales e interesa determinar su caudal, habrá que tener en cuenta la lluvia máxima registrada caída en la zona.
- ✚ Economía de compra, instalación y servicio, así como de fácil puesta en marcha, comprobación y ajuste.
- ✚ Posibilidad de recuperación una vez finalizada la serie de medidas, para su aplicación en otros puntos.
- ✚ Debido a que los vertidos de aguas residuales se hacen por gravedad, el método seleccionado deberá producir la mínima pérdida posible de carga.

- ✚ Distancia mínima a la que se encuentran todos aquellos servicios generales precisos para el funcionamiento de todos los aparatos de medida (aire a presión, corriente eléctrica, etc.).
- ✚ Máxima sencillez de manejo y lectura.
- ✚ Características del agua residual a medir, y su influencia en el equipo (corrosión, abrasión, ataque químico, taponamiento, etc.).
- ✚ Como norma general, todas las partes en contacto con el líquido deben estar totalmente protegidas y en aquellos casos en que se puedan desprender gases o vapores, los equipos y el personal se separan de su acción lo más lejos que sea posible o bien se dotan con la protección adecuada.
- ✚ En el caso de utilización de aparatos comerciales, se valorará la experiencia, garantía y servicio posventa del proveedor.

2.13.1 Medición Volumétrica Manual

La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella. Siendo Q = caudal en l/s, V = volumen en l y t = tiempo en s, el caudal se calcula como:

$$Q = V / t$$

Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga. Entre sus desventajas se cuenta que la mayoría de veces es necesario adecuar el sitio de aforo y toma de muestras para evitar pérdida de muestra en el momento de aforar; también se deben evitar represamientos que permitan la acumulación de sólidos y grasas.

2.13.2 Medición en Canales Abiertos

El vertedero es un canal en el cual se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas; el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal, relacionadas por ecuaciones dependientes del tipo de vertedero, que puede ser rectangular, triangular o trapezoidal. Las ventajas de este tipo de vertederos radican en su fácil construcción, bajo costo y buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos.

Cuando la cabeza sobre un vertedero triangular es menor de 10 cm hay posibilidad de que se formen vacíos, por lo tanto no se recomienda su uso. En los vertederos hay que tener especial cuidado debido a que éstos al represar el agua van acumulando sólidos y sustancias como grasas que interfieren en la calidad del agua y, en la representatividad de la muestra.

2.13.3 Medición por Velocidad.

Las canaletas se usan más comúnmente en canales abiertos donde:

- ✚ El flotador de flujo no pueda medirse adecuadamente por un vertedero.
- ✚ Haya una significativa cantidad de partículas y otros materiales que podrían llenar un vertedero.
- ✚ La capacidad de la cabeza hidráulica sea insuficiente para utilizar el vertedero.
- ✚ La velocidad de flujo de una canaleta puede ser establecida tal que, sedimentos y otros sólidos pueden ser lavados a través de ella.
- ✚ La instalación de una canaleta puede ser relativamente más cara que un vertedero.

El diseño típico de una canaleta debe incluir lo siguiente: las secciones rectas del canal deben estar corriente arriba de la entrada de la canaleta, el flujo debe ser bien distribuido a través del canal, la velocidad corriente arriba del canal debe ser menor que la velocidad crítica, y la canaleta no debe estar sumergida y debe tener una descarga libre aguas abajo.

2.13.3.1 Tubo Vénturi

Este medidor es una especie de tubo Vénturi abierto, que dispone de una garganta que produce una elevación de nivel en función del caudal. Está formado por una sección de entrada de paredes verticales convergentes y fondo a nivel, una garganta o estrechamiento de paredes paralelas y fondo descendente y una sección de salida con paredes divergentes y fondo ascendente. Los canales se definen por el ancho de la garganta; la canaleta

debe ser construida rigurosamente con las dimensiones dadas, o de lo contrario su relación cabeza-descarga de agua residual es inválida.

Para la determinación del caudal se precisa de la medición de la altura del líquido, que se puede realizar de forma instantánea con sólo una medida de altura. Sin embargo, existen diferentes tipos de instrumentos que permiten llevar a cabo esta medición de forma continua, permitiendo determinar el caudal diario de una forma precisa, pudiendo acoplar esto a un indicador de registro gráfico que se encarga de almacenar toda esta información. En las canaletas se pueden acoplar diferentes tipos de sensores que permiten registrar otro tipo de parámetros diferentes al caudal, como son pH y temperatura.

El caudal se calcula como:

$$Q = 4 W H_a^n$$

Donde:

Q = Caudal, pies cúbicos / segundo,

H_a = altura del agua sobre la garganta, en pies,

W = ancho de la canaleta en la sección de la garganta, y

$n = 1,522 W^{0,026}$.

El tubo Vénturi tiene como ventajas: es autolavable, tiene una pérdida de cabeza relativamente baja, el aumento de velocidad en la garganta impide la sedimentación de partículas, tiene la habilidad de operar de forma aproximada sobre un intervalo amplio de descarga, tiene resistencia a los productos químicos ya que se puede construir de diferentes materiales y en el caso de instalaciones permanentes se puede construir en concreto vaciado. Su

principal desventaja es que para la construcción se precisa de la adecuación de un sitio de descarga, dado que debe poseer una inclinación que permita la formación de un flujo crítico en la garganta y los costos de construcción van a depender de las características de la descarga, dado que estas influyen en el tipo de material de construcción como de las dimensiones en el diseño.

2.14 Parámetros de Calidad de Agua

La calidad de agua se define en relación con el uso o actividad a la que se va a destinar. Y por ellos podemos hablar de buena o mala calidad en abstracto, sino que a cada actividad exige una calidad adecuada. Para evaluar los cambios de las diferentes aplicaciones del agua pueden originar en su calidad, empleamos parámetros físicos, químicos o biológicos. A estos parámetros se les denomina indicadores de calidad del agua (Seoánez, 1999), o índice de calidad del agua según el CNA (Comisión Nacional del Agua, 1999).

2.14.1 Índice de Calidad del Agua

2.14.1.1 Significado

La Comisión Nacional del Agua, (1999). El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100 por ciento.

2.14.1.2 Desarrollo

El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas: La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (I_i). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua, como se muestra en el Cuadro No. 3.

Cuadro No. 3 Parámetros del ICA: importancia relativa (Comisión Nacional del Agua,1999.)

Parámetro	Peso (W_i)	Parámetro	Peso (W_i)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5.0	Nitrógeno en nitratos (NO_3^{-1})	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales (PO_4^{-3})	2.0	Cloruros (Cl^{-1})	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal (NH_3)	2.0	Turbiedad	0.5

2.15 NOM-001-ECOL -1996.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales (DOF, 2007)

Especificaciones

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible (Cuadro No.4). El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente. Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Cuadro No.4 Parámetros y límites máximos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
Parámetros mg/L excepto cuando se indique	Ríos				Embalses naturales y artificiales				Aguas				Suelos							
	Uso riego agrícola(A)	en	Uso público urbano(B)	Protección de vida acuática(C)	Uso riego agrícola(A)	en	Uso público urbano(C)	Exploración pesquera, navegación y otros usos (A)	Recreación (B)	Estuarios (B)	Uso riego agrícola(A)	en	Humedales naturales (B)							
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	A u s e n t e																			
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno5	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150

Continuación.....

Parámetros mg/L excepto cuando se indique	Ríos				Embalses naturales y Aguas artificiales								Suelos							
	Uso en riego agrícola(A)		Uso público urbano(B)		Protección de vida acuática(C)		Uso en riego agrícola(A)		Uso público urbano(C)		Exploración pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola(A)		Humedales naturales (B)	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

P.D.=Promedio Diario

P.M. = Promedio mensual;

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la

Ley Federal de Derechos

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en

la NMX-AA-006

2.16 NOM-002-SEMARNAT-1996.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a las descargas de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado. Los parámetros que toma en cuenta esta norma son los que se muestran en el Cuadro No.5.

Cuadro No. 5 Parámetros y límites permisibles de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996(DOF)

Límites Máximos Permisibles parámetros en miligramos (mg), Excepto cuando se indique.	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasa y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables ml/L (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.50	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo Hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio Total	0.01	0.015	.002
Níquel Total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de las muestras se realizó del 11 al 16 de Julio del 2009. El lugar donde se efectuó el muestreo está ubicado al Sur de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Torreón Coah., como se muestra en la Figura No.1. Dicho registro se encuentra en la Colonia La Mina con una Latitud $25^{\circ}33'13.38''$ Norte y Longitud $103^{\circ}02'17.24''$ Oeste. Se tomaron las muestras porque es el lugar más cercano al lugar donde se va a construir la planta tratadora de aguas residuales.

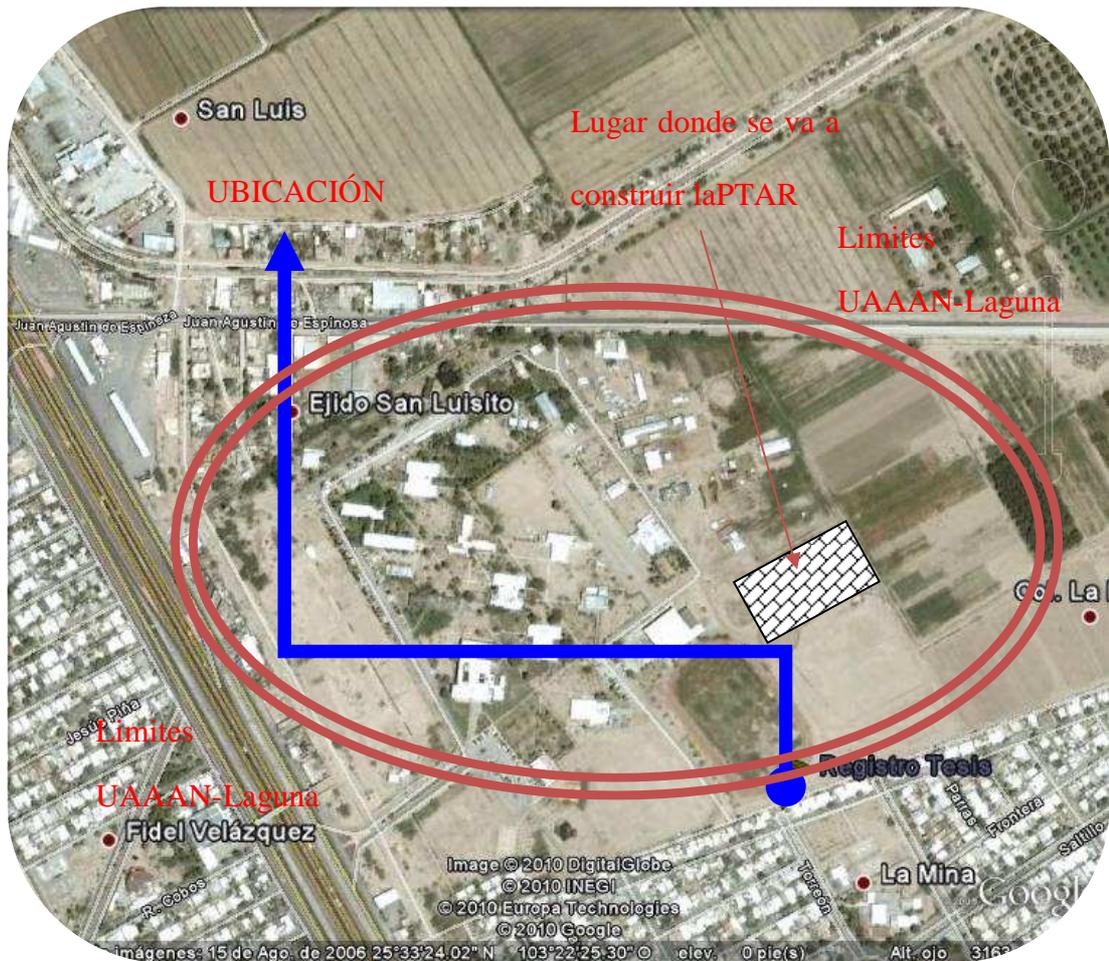


Figura No. 1 Localización del registro de alcantarillado donde fue tomada la muestra

En la Figura No.1 también se muestra donde se va construir la PTAR.

3.1 Procedimiento del Muestreo

Se localizó el lugar de muestreo de acuerdo a su ubicación ya que es importante, porque se va a construir una PTAR con los resultados de los parámetros físico químicos obtenidos se utilizaran para determinar el tipo de PTAR.

Se hizo un plan de muestreo donde se determinó que se realizaría 48 muestras simples, divididas en dos muestreos cada toma de la muestra será en lapsos de una hora por muestra, el número de muestras no fue calculado de acuerdo a la ecuación.

Los recipientes donde se tomaron las muestras son de plástico y fueron previamente etiquetados con marcador a prueba de agua, anotando los siguientes datos en cada botella:

-  Fecha en que se toma la muestra
-  Hora en que se toma la muestra
-  Nombre del muestreador
-  Parámetros que se van analizar
-  Lugar de muestro
-  Preservación

Las muestras tomadas fueron simples y se realizaron manualmente

Para la el aforo del efluente el sistema municipal de aguas y saneamiento (SIMAS) nos proporcionó el dispositivo SIGMA 900 MAX este equipo ha sido probado y encontrado que cumple con los límites para un dispositivo digital Clase A, de acuerdo con la Parte 15 de las Reglas FCC

(Federal Communications Commission). Es un registrador automático, este tomo los parámetros hidráulicos que fueron gasto (m^3/s), velocidad (m/s) y carga (cm) que tiene un sensor y un registrador de datos (Figura 2).

Cuando se colocó el tubo del muestreador (SIGMA 900 MAX) en la corriente de la alcantarilla, observamos que la parte inferior del tubo quedara a la mitad del efluente para que así se tome una muestra más homogénea y representativa del agua residual.

Ya colocado el SIGMA 900 MAX se programó para que tomara mediciones (gasto, velocidad, nivel y temperatura) automáticas cada hora.

Donde se colocó el aparato SIGMA se tomaron las muestras, sin olvidar que también se deben de tomar a la misma altura en donde se colocó la parte inferior del tubo.

Se introduce el muestreador en la alcantarilla sumergiéndolo hasta el nivel donde se colocó la parte inferior del tubo del SIGMA 900 MAX para obtener resultados más comparativos.

Extrae el muestreador del interior de la alcantarilla y con el agua se enjuaga el recipiente muestreador tres veces para evitar cualquier contaminación de la muestra.



Figura No. 2 Muestreador SIGMA 900 MAX con la fuente de energía.

Posteriormente se llenan los recipientes que se llevan previamente marcados para transportar las muestras (Figura No.3) se muestra la extracción del agua residual en el recipiente con el cual se sacó la muestra del sistema de alcantarillado donde se está haciendo el llenado de los recipientes en los cuales se transporta la muestra al laboratorio de calidad de aguas en la UAAAAN-Salttillo para la determinación de los parámetros Físico-Químicos: Potencial de hidrogeno (pH), temperatura, Conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SS), grasas y aceites (G y A), nitrógeno total (N total), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), nitrógeno orgánico (N org.), soluciones activas al azul de metileno (SAAM), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fósforo total (F total).



Figura No. 3 Llenando recipiente muestreador

Colocando un poco de muestra en un recipiente para determinar los parámetros que se deben de tomar en el momento de muestreo de acuerdo a lo indicado en los métodos de muestreo.

En la Figura No. 4 se está midiendo el pH con el potenciómetro, ya que este es uno de los parámetros que se deben medir en el momento de muestreo (en campo) como se indica en el Cuadro No. 2.



Figura No. 4 Medición del pH.

Se colocaron en una hielera para ser transportados a una temperatura de 4 °C aproximadamente para su preservación (Figura No.5) se muestran las botellas llenas de aguas residuales listas para ser transportadas al laboratorio de calidad de aguas en la UAAAN-Saltillo.



Figura No. 5 Recipientes llenos de aguas residuales en hielera

Se realizaron dos muestreos uno fue del 11 y 12 de Julio del 2009 y el otro muestreo fue el 15 y 16 de Julio del 2009.

En los dos muestreos se procedió de la misma manera.

Ya en el laboratorio se procedió a hacerla determinación de los parámetros físico químicos de las aguas residuales que se recolectaron.

3.2 Materiales y Equipo para la Determinación de los Parámetros a Analizar.

En el Cuadro No. 6 se muestra el material o equipo que se utilizaron, así como el parámetro que se midió con cada uno de los materiales y /o equipos.

Cuadro No. 6 Material o Equipo y Parámetros a medir en laboratorio.

Parámetro	Material o Equipo
pH	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Incubación
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Reflujo Dicromato
Fósforo Total (P)	Espectrofotómetro
Grasas y Aceites	Extracción Soxhlet
Nitrógeno Amoniacal (NH₃)	Kjeldahl
Nitrógeno Orgánico	Kjeldahl
Nitrógeno Total (N)	Kjeldahl
Sólidos Sedimentables	Cono imhoff
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico
Sólidos Suspendidos Volátiles	Titulación
Sustancias Activas al Azul de Metileno	Espectrofotómetro

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Cuadro No.7 se muestra los parámetros hidráulicos (gasto, velocidad y nivel) obtenidos solo cada dos horas en campo de los días 11 y 12 de Julio de 2009. De los datos completos se obtuvo la Figuras No.6 y No.7 para su análisis.

Cuadro No. 7 Se muestran los parámetros hidráulicos (gasto, velocidad y nivel del efluente) obtenidos con el SIGMA 900 MAX

AFORO EN DESCARGA DE LA UAAAN UL.							
DEL 11 AL 12 DE JULIO DE 2009							
Día del Muestreo				Día del Muestreo			
11 de Julio del 2009				12 de Julio del 2009			
Hora	Gasto	Vel.	Nivel	Hora	Gasto	Vel.	Nivel
	LPS	(m/s)	(cm)		LPS	(m/s)	(cm)
10:00	0.43	0.45	1.77	0:00	0.19	0.26	1.47
12:00	0.25	0.40	1.29	2:00	0.06	0.21	0.74
14:00	0.15	0.35	1.04	4:00	0.10	0.20	1.14
16:00	0.33	0.49	1.40	6:00	0.08	0.20	0.96
18:00	0.45	0.59	1.54	8:00	0.16	0.31	1.17
20:00	0.13	0.22	1.52	10:00	1.01	0.79	2.18
22:00	0.29	0.45	1.55				

Estos parámetros se tomaron en sábado y domingo para saber el comportamiento en fin de semana, posteriormente se tomo entre semana para obtener una mejor visión de todos los parámetros hidráulicos, así como físico químicos del agua residual del efluente en estudio.

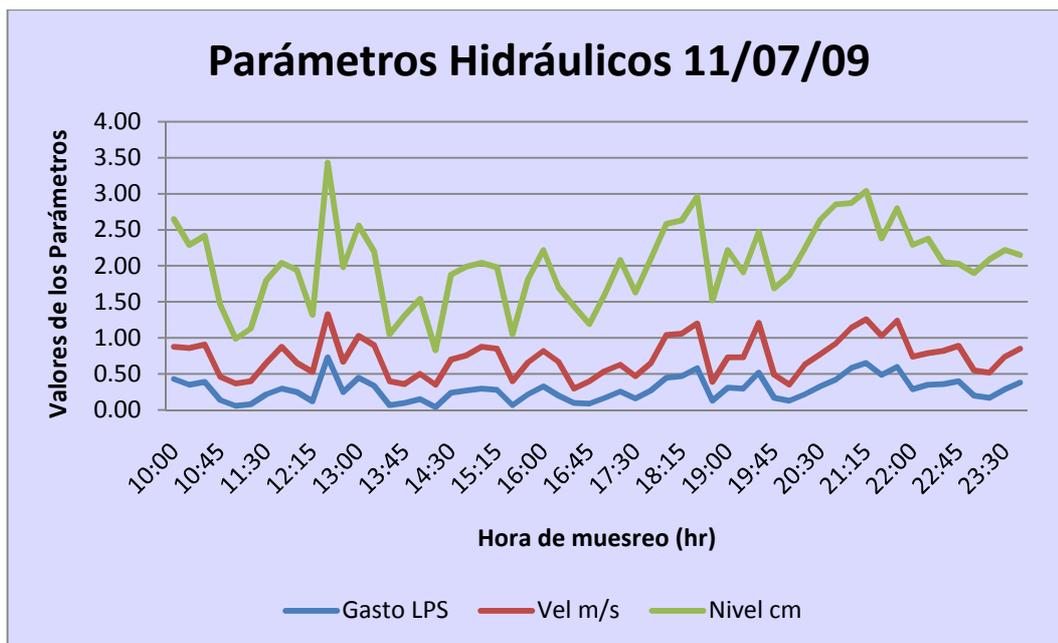


Figura No. 6 Parámetros hidráulicos tomados el sábado 11 de Julio del 2009.

Se observa de la Figura No.6 que su nivel máximo fue a las 12:30 hr con 2.10 cm; velocidad máxima fue a las 19:30 hr con 0.69 m/s, gasto máximo fue a las 12:30 hr de 0.73 LPS y un gasto mínimo fue a las 14:15 hr con 0.04 LPS.

Con éstos dos últimos datos podemos obtener un gasto máximo de $2.628 \text{ m}^3/\text{hr}$, $63.072 \text{ m}^3/\text{día}$ y un gasto mínimo de $3.456 \text{ m}^3/\text{día}$.

De la Figura No.7 podemos decir que su nivel máximo fue a las 9:45 hr con 2.27 cm , velocidad máxima fue las 9:00 hr con 0.87 m/s, gasto máximo fue a las 10:00 hr de 1.01 LPS y un gasto mínimo fue a las 2:00 hr con 0.06 LPS.

Con éstos dos últimos datos podemos obtener un gasto máximo de $3.636 \text{ m}^3/\text{hr}$, $87.264 \text{ m}^3/\text{día}$ y un gasto mínimo de $5.184 \text{ m}^3/\text{día}$.

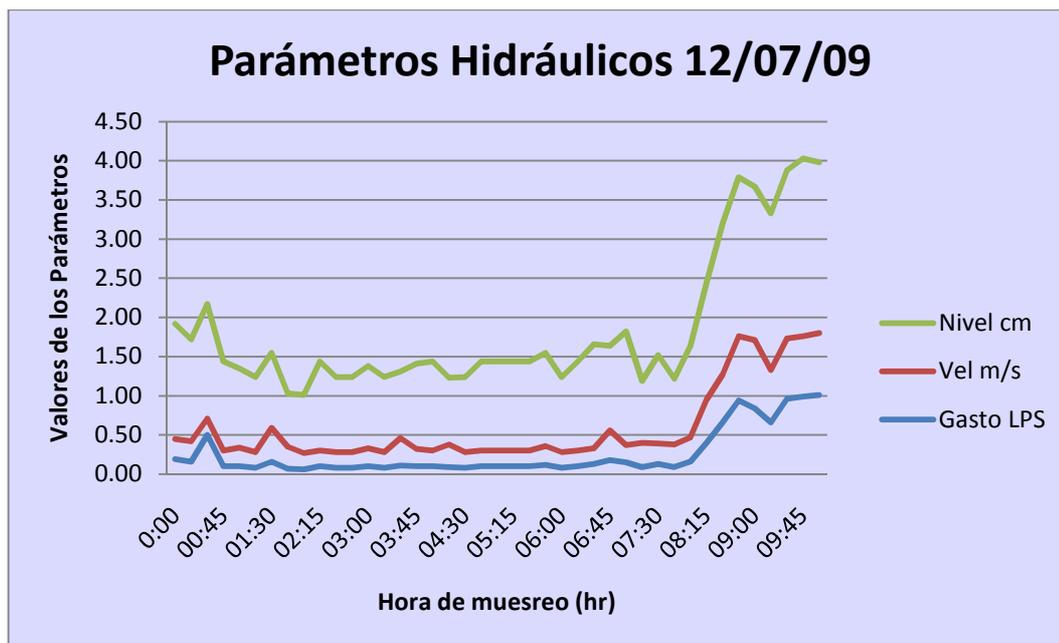


Figura No. 7 Parámetros hidráulicos del domingo 12 de Julio del 2009.

En la Cuadro No.8 se muestra los parámetros hidráulicos (Gasto, Velocidad y Nivel) obtenidos solo cada dos horas en campo de los días 11 y 12 de Julio de 2009 de aquí obtuvimos las figuras No.8 y No.9 para su análisis.

Cuadro No. 8 Se muestran los parámetros hidráulicos (gasto, velocidad y nivel del efluente) obtenidos con el SIGMA 900 MAX

AFORO EN DESCARGA DE LA UAAAN UL.							
DEL 15 AL 16 DE JULIO DE 2009							
Día del Muestreo				Día del Muestreo			
15 de Julio del 2009				16 de Julio del 2009			
Hora	Gasto	Vel.	Nivel	Hora	Gasto	Vel.	Nivel
	LPS	(m/s)	(cm)		LPS	(m/s)	(cm)
10:00	3.533	0.441	10.89	0:00	1.483	0.200	8.81
12:00	4.170	0.619	7.92	2:00	2.296	0.289	9.16
14:00	1.652	0.253	7.67	4:00	3.076	0.411	8.93
16:00	3.564	0.461	9.31	6:00	3.492	0.444	9.61
18:00	2.965	0.370	10.48	8:00	2.894	0.361	10.79
20:00	2.555	0.344	8.84	9:00	9.472	0.340	9.47
22:00	3.230	0.405	9.88				

Éstos parámetros se tomaron en Miércoles y Jueves para saber el comportamiento que se tiene en la semana, anteriormente se había tomado en fin de semana con esto se completa los dos tipos de comportamiento que puede tener el efluente de la Figura No.8.

De esta Figura No.8 se deduce que su nivel máximo fue a las 9:30 hr con 12.82cm, velocidad máxima fue las 12:45 hr con 0.64 m/s, gasto máximo fue a las 12:45 hr de 4.31 LPS y un gasto mínimo fue a las 19:15hr con 1.48 LPS.

Con éstos dos últimos datos se puede obtener un gasto máximo de $15.516 \text{ m}^3/\text{hr}$, $372.384 \text{ m}^3/\text{día}$ y un gasto mínimo de $127.872 \text{ m}^3/\text{día}$.

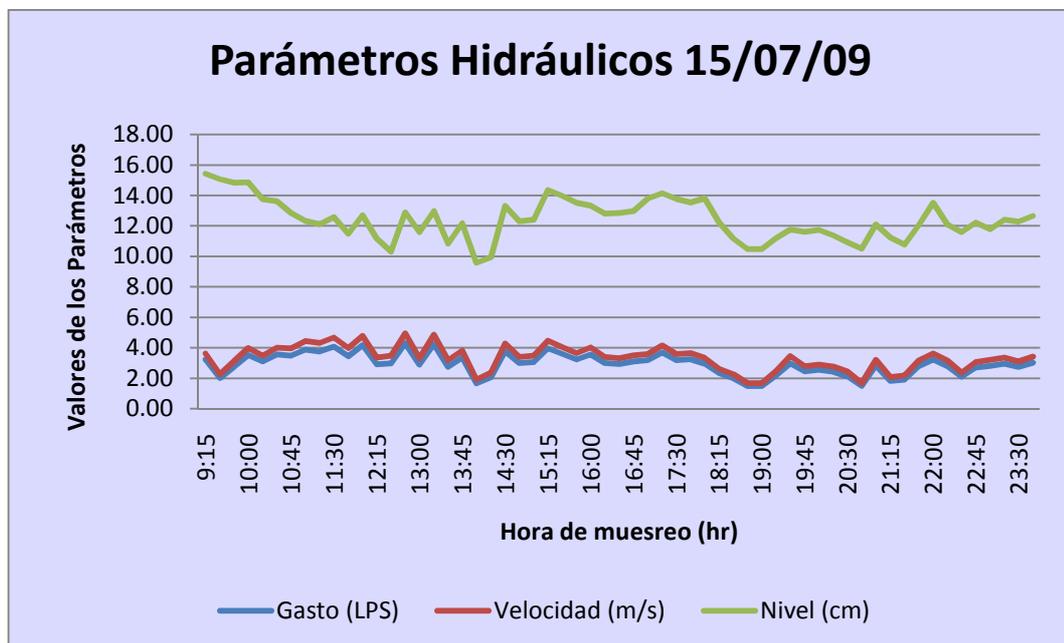


Figura No. 8 Parámetros Hidráulicos del miércoles 15 de Julio deL2009

Figura No.9 se concluye que su nivel máximo fue a las 8:30 hr con 11.17cm, velocidad máxima fue las 8:45 hr con 0.67m/s, gasto máximo fue a las 9:00 hr de 9.47 LPS y un gasto mínimo fue a las 0:00 hr con 1.48 LPS.

Con éstos dos últimos datos se obtiene un gasto máximo de $34.092\text{m}^3/\text{hr}$, $818.208\text{m}^3/\text{día}$ y un gasto mínimo de $127.872\text{ m}^3/\text{día}$.

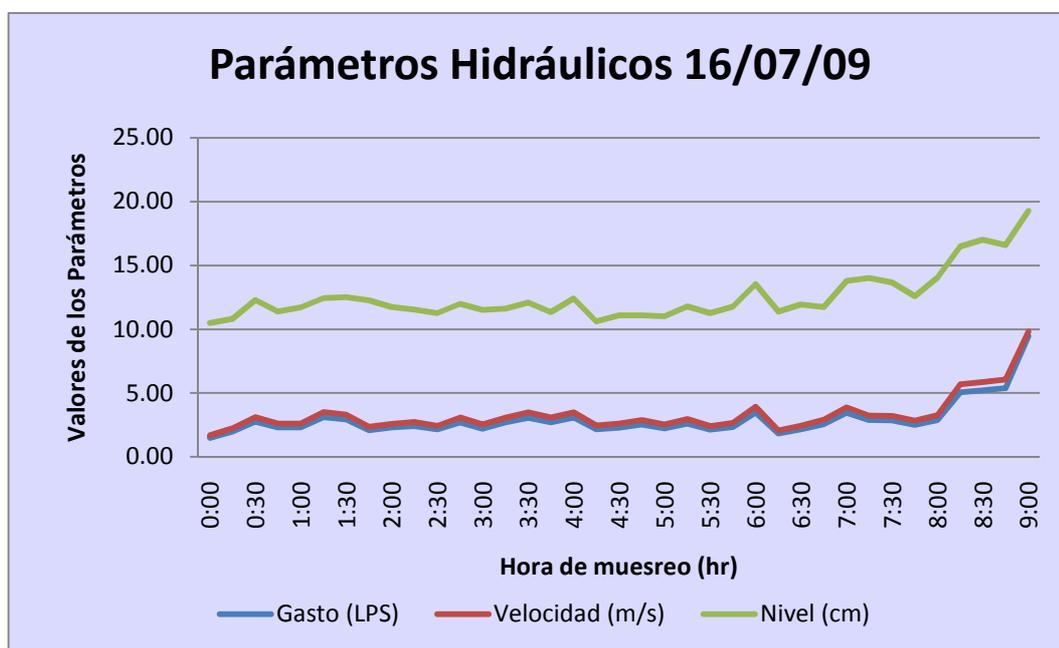


Figura No. 9 Parámetros hidráulicos del jueves 16 de Julio del 2009.

De los Anexos A y B solo se compararon los parámetros determinados, que se encuentran en el Cuadro No. 2 que este se refiere a los límites máximos permisible de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 y del Cuadro No.5 los límites máximos permisibles a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Cuadro No. 9 Promedio por día de los parámetros físicos-químicos a comparar con las normas.

Día de muestro	pH	SST (ppm)	G y A (ppm)	N total (ppm)	DBO (ppm)	F Total (ppm)	Temperatura (°C)
11/07/2009	7.61	143.18	27.76	57.74	308.18	8.69	32.19
12/07/2009	7.89	54.00	11.09	66.09	219.00	8.90	28.48
15/07/2009	8.2	176.00	23.97	60.66	372.67	11.97	31.30
16/07/2009	7.86	93.44	9.20	54.24	258.89	8.92	29.09
Promedio Mensual	7.89	116.66	18.01	59.69	289.68	289.68	30.26

Cuadro No. 10 Promedio diario de Parámetros físico-químicos comparados con los de la NOM-001-ECOL-1996

Parámetros Físico Químicos	Día de Muestreo				NOM-001-ECOL-1996	
	11/07/2009	12/07/2009	15/07/2009	16/07/2009	Ríos uso Riego	Aguas Embalses nat. y art. uso riego
Temp. (°C)	32.19	28.48	31.30	29.09	40	40
pH	7.61	7.89	8.20	7.89	5.5-10	5.5-10
SST (mg/L)	143.18	54.00	176.00	93.44	200	125
SS (ml/L)	1.78	0.78	2.49	1.22	2	N.A
G y A (mg/L)	27.76	11.09	23.97	9.20	25	25
NTotal(mg/L)	57.74	66.09	60.66	54.24	60	60
DBO (mg/L)	308.18	219.00	372.67	258.89	200	150
FTotal (mg/l)	8.69	8.90	11.97	8.92	30	30

En el Cuadro No.10 sólo compara los parámetros físico químico para uso para el riego, ya que éstos parámetros son los necesarios en caso de que se quisiera

regar algún cultivo de la UAAAN y la norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, por razones obvias es la que nos interesa a nosotros.

Los parámetros que no pasaron de acuerdo a la NOM-001 son:

- ✚ Sólidos suspendidos totales para el rango de aguas de embalses naturales y artificiales fueron los días 11 y 15 de Julio del 2009.
- ✚ Grasas y aceites para ambos rangos fue el día del 11 de Julio del 2009.
- ✚ Nitrógeno total para ambos rangos fueron los días 12 y 15 de Julio del 2009.
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para ambos rangos ninguna de las fechas de muestreo paso.
- ✚ Fósforo total éste fue el único parámetro que todas las fechas de muestreo pasaron.

Cuadro No. 11 Promedio diario de los parámetros físico-químicos comparados con los de la NOM-002-SEMARNAT1996.

Parámetros Físico Químicos	Día de Muestreo				NOM-002-SEMARNAT-1996
	11/07/2009	12/07/2009	15/07/2009	16/07/2009	
pH	7.61	7.89	8.20	7.89	5.5-10
Temperatura (°C)	32.19	28.48	31.30	29.09	40
SST (mg/l)	143.18	54.00	176.00	93.44	200
SS (ml/l)	1.78	0.78	2.49	1.22	7.5
G y A (mg/l)	27.76	11.09	23.97	9.20	75
DBO (mg/l)	308.18	219.00	372.67	258.89	200

En la Cuadro No. 11 se agregaron los parámetros físico-químicos de sólidos norma NOM-002-SEMARNAT-1996 en la parte de especificaciones en el punto 4.6 así lo indica.

Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Cuadro No. 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida en el punto 2 de esta Norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga de ríos en uso riego agrícola.

El único parámetro el cual no pasaron los parámetros de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 fue el DBO.

V. CONCLUSIONES.

- De acuerdo a la Norma Mexicana NOM-001-ECOL-1996, se compararon ocho parámetros físico-químicos que fueron: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Potencial de hidrogeno (pH), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SS), grasa y aceites (G y A), nitrógeno total (N Total), demanda biológica de oxígeno (DBO) y fósforo total (F Total) el cual al tipo de agua y el uso (riego) que se comparase puede decir que para el tipo de agua de río para su uso en el riego, el día 16 de Julio de 2009 fue de mejor calidad, ya que de 8 parámetros pasaron 7, siendo DBO el único que no pasó, los días 11 y 12 de Julio de igual calidad, ya que éstos pasaron 6 de 8, y el día 15 de Julio fue el de menor calidad ya que este sólo pasaron 5 de 8, siendo DBO, N Total y sólidos sedimentables los parámetros que no pasaron de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-001-ECOL-1996.
- De la misma norma para el tipo de agua de embalses naturales y artificiales de uso para riego, los días de peor calidad 11 y 15 de Julio los cuales sólo pasaron 5 de 8 parámetros comparados; el día 12 de Julio pasaron 6 de 8, siendo DBO y N Total los que no pasaron y el día de mejor calidad de acuerdo a esta fue el día 16 de Julio porque se cumplieron 7 de 8, siendo DBO el parámetro que no pasó.
- De acuerdo a la Norma Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 se compararon 6 parámetros de los cuales todos los días pasaron 5 de 6. El parámetro que no paso ningún día fue le DBO por lo tanto para esta norma todos los días es la misma calidad del agua residual.
- Observando los parámetros hidráulicos podemos decir que el día con mayor gasto, fue el día jueves 16 de Julio del 2009 a las 9:00 con un gasto de $818.208\text{m}^3/\text{día}$ y el día con menor gasto fue el día 11 de Julio del 2009 a las 12:30 con un gasto $63.072\text{m}^3/\text{día}$.

VI. RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda que de acuerdo a las normas utilizadas para la comparación de los parámetros hidráulicos y físico-químicos del agua hay que reportar los parámetros que excedan los límites máximos permisibles ante las autoridades pertinentes, ya que en las normas hay fechas límites para el cumplimiento de éstos.
- ✚ Se recomienda que todos los parámetros analizados se utilicen para determinar el tamaño de la planta, así como el proceso que se llevara a cabo para el tratamiento de las aguas que circulan por el efluente que se analizó.
- ✚ Se recomienda un tratamiento biológico, ya que es más amable con el medio ambiente para ser utilizado en el diseño de una PTAR.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

Asociación Nacional de Industriales.1997 Manual de Caracterización de Aguas Residuales. ANDI, Medellín,

Carabias Julia. 2005. “Agua, Medio Ambiente y Sociedad, Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México”, UNAM, COLMEX, FGRA

CNA. Estadísticas del Agua en México 2007.

Departamento de sanidad del estado de Nueva York .2007.Manual de tratamiento de aguas. Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores. México D.F, págs. 11-16,165-188.

F.S Bonifacio. 2008. Calidad de Agua Residual de la Colonia Eulalio Gutiérrez Treviño. Saltillo, Coahuila. Tesis de Licenciatura UAAAN.

Garay, J., Panizzo, L., Lesmes, L.,Ramirez, G., Sanchez, J.1993. Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos. Tercera edición. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena, pags.52-68

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2005. Curso de recolección de aguas residuales.

NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua –Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Métodos de prueba (cancela a la NMX-020-1980 y NMX-AA-034-1981). Se publicó en el DOF el día 19 de Marzo del 2002.NMX-AA-004-SCFI-2000. Determinación de sólidos

sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-004-1977). Se publicó en el DOF el 19 de Marzo de 2002.

NOM-001-Semarnat-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el DOF el día 6 de Enero de 1997 y entró en vigor al día siguiente. Esta norma se complementa con la aclaración publicada en el mismo medio de difusión del día 30 de Abril de 1997.

NOM-002-Semarnat-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se publicó en el DOF el día 3 de Junio de 1998 y entró en vigor al día siguiente.

Rodier, J. 1981. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, pags.45-57

Sawyer, C.; Mccarty, P.1996. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill, New York,

Seoánez Mariano. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Colección Ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España, págs. 18-63.

Wolfgana Pürschel. 1993. La calidad de las aguas y su tratamiento. Urmo, S.A. De Ediciones. Pags.14-22

ANEXOS

ANEXO A Datos obtenidos en el laboratorio de calidad de aguas el día 13 de Julio de los datos del 11 y 12 de Julio del 2009

hora	Temp (°C)	C.E (μS/cm)	pH	O.D (ppm)	% de Sat.	SS (ml/L)	SST (ppm)	SSV (ppm)	G y A (ppm)	N total (ppm)	N-NH3 (ppm)	N org (ppm)	SAAM (ppm)	DQO (ppm)	DBO (ppm)	F Total (ppm)
10:00	29.3	1,402	7.50	0.20	2.80	1.00	195	134	35.6	89.6	75.04	14.56	8.56	580	360	10.8
12:00	30.8	1,483	7.04	1.66	35.80	1.50	130	125	18.4	59.36	50.82	8.24	11.56	490	270	8.9
14:00		1,560	7.89			2	235	190	50.2	27.16	17.78	9.38	8.97	700	340	9.00
16:00	36.9	1,450	7.52	1.08	25.60	10.00	200	145	42.2	46.34	42.14	4.2	10.68	600	360	9.2
18:00	35.5	1,876	7.66	0.30	4.70	2.00	160	110	22.2	90.16	77.42	12.74	9.74	480	330	9.5
20:00	34.5			0.12	3.00	0.20										
21:00	30.3			0.12	17.80	1.50										
22:00	29.5			0.40	10.50	0.60	70	70	17.2	63.28	50.82	12.46	7.55	320	250	9.9
23:00	29.2			0.64	15.50	0.40	75	75	23.4	54.88	45.36	9.52	7.06	300	210	7.8
0:00	29.2			0.75	16.70	0.20	75	75	19.2	75.32	57.32	17.5	10.12	410	270	10
1:00	28.5			0.95	23.50	0.50	50	50	11.8	98	76.02	21.98	7.34	370	290	12.5
2:00	28.8			0.91	24.80	0.10	24	24	0.6	60.76	52.08	8.68	4.33	330	230	8.2
3:00	28.5			0.79	23.70	0.10	11	11	0.8	50.26	42.56	7.7	4.97	180	120	6.9
4:00	28.7			0.59	14.90	0.10	15	15	6.6	54.74	48.58	6.16	4.08	230	170	7.2
5:00	28.3			0.34	11.30	0.50	10	10	5.4	50.68	43.26	7.42	3.93	180	130	6.9
6:00	28.1			0.73	15.80	0.50	9	9	5.4	42.7	34.44	8.26	3.9	200	170	7.1
7:00	28.4			0.71	21.00	0.30	23	21	7.4	66.22	59.36	6.86	3.86	270	150	7.7
8:00	28.2			1.02	29.20	0.50	18	16	4.2	57.26	45.5	11.76	3.94	190	170	6.3
9:00	28.1			0.29	5.00	5.00	305	265	49.5	105	91.14	13.86	10.29	600	490	16.2

ANEXO.A Datos obtenidos en el laboratorio de calidad de aguas el día 17 de Julio de los datos del 15 y 16 de Julio del 2009

hora	Temp (°C)	C.E (µS/cm)	pH	O.D (ppm)	% de Sat.	SS (ml/L)	SST (ppm)	SSV (ppm)	G y A (ppm)	N total (ppm)	N-NH3 (ppm)	N org (ppm)	SAAM (ppm)	DQO (ppm)	DBO (ppm)	F Total (ppm)
9:00	29.30	1,079	8.33	0.36	4.90	1.0	125	80	15.20	66.22	56.56	9.66	5.74	450	210	9.50
10:00	28.60	1,089	8.29	1.30	17.00	1.0	110	80	18.00	70.84	63.84	7.00	6.60	500	250	10.90
11:00	30.20	1,086	8.84	2.00	25.00	2.0	175	140	51.00	60.27	48.72	11.90	8.19	650	460	9.30
12:00	32.50	1,397	8.38	2.50	33.00	13.0	140	125	58.40	67.20	51.10	16.10	25.12	1,120	560	21.20
13:00	33.8	1,176	8.24	1.57	20.00	2.0	330	250	35.00	55.58	42.28	13.30	15.78	960	460	13.60
14:00	33.20	1,238	8.37	0.91	13.20	5.0	200	145	19.00	40.60	32.48	8.20	15.56	830	390	12.60
15:00	31.80	1,364	8.10	2.07	24.3	1.0	150	125	30.40	65.80	56.98	8.82	13.58	800	420	12.90
16:00	31.20	1,317	8.13	0.65	10.5	1.0	155	140	20.60	63.28	54.88	8.40	12.81	790	440	10.50
18:00	33.60	1,371	8.25	1.45	19.9	1.3	155	155	19.80	58.10	43.82	14.28	14.48	780	360	10.30
20:00	30.10	1,749	7.92	1.11	16.5	1.5	105	80	10.60	67.76	50.12	17.64	10.59	450	330	9.10
22:00	29.60	1,305	8.18	2.40	33.3	0.7	190	155	15.80	62.44	50.96	11.48	12.69	650	360	9.90
0:00	29.80	1,585	8.06	1.40	20.6	0.4	50	40	16.60	72.10	61.88	10.22	16.98	640	390	13.70
2:00	29.40	1,044	7.74	0.90	17.2	0.3	25	22	3.60	33.74	29.96	3.76	6.25	240	150	5.50
4:00	29.00	905	7.48	1.40	20.2	0.1	22	16	1.20	34.58	30.66	3.92	5.54	260	170	5.05
6:00	28.50	1,024	8.14	2.28	33.2	0.3	70	55	8.40	62.16	52.36	9.80	5.51	430	280	9.20
8:00	28.90	1,472	7.76	0.15	2.5	1.3	90	75	15.40	66.78	54.32	12.46	6.38	570	360	10.80

