



300627
UNIVERSIDAD LA SALLE 43

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

COMPARACION DEL EFECTO FLOCULANTE DE LOS
POLIMEROS DERIVADOS DEL TETRAMETIL ETILEN
AMONIO Y DEL SULFATO DE ALUMINIO EN AGUAS
RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE
HUIXQUILUCAN

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA
P R E S E N T A ,
LILIANA CRISTINA TORRES ROJAS

DIRECTOR DE TESIS:

Q. F. B. MARTHA A. MUSTRE DE LEON

MEXICO, D. F.

1996

FALLA DE ORIGEN 1995



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

A MI PAPA: Por brindarme su apoyo moral y económico durante mi vida de estudiante y a lo largo de la carrera; Por su digno ejemplo como ser humano y profesionalista.

A MI MAMA: Por todo el cariño que me ha dado, por alentarme día a día a luchar por mis proyectos e ideales.

A MIS HERMANOS: Con quienes he vivido momentos de alegría y felicidad y porque han sido fuente de inspiración en mis estudios.

A MARTHA MUSTRE: Por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias como maestra y amiga.

A MIS AMIGOS : En quienes he encontrado una amistad sincera y de quienes guardo recuerdos agradables.

AGRADECIMIENTOS

- Q. Ma. Teresa Estrada de Gómez Muriel y Q.F.B. Ma De Jesús Ramírez Palomares: Por haberme dado la oportunidad de efectuar los análisis experimentales en los Laboratorios de la Escuela de Ciencias Químicas.

- A mis sinodales: Martha Mustre, Guadalupe Morales, Ma. de Jesús Ramírez, Ma. Eugenia Martínez: por sus observaciones y sus recomendaciones.

- A mis profesores: Por haberme brindado sus conocimientos, su ejemplo y su constante esfuerzo en la preparación de los futuros profesionistas, quienes tenemos un compromiso ante la sociedad.

- A la Dirección de Servicios Públicos del municipio de Huixquilucan, Por haberme proporcionado la información necesaria para llevar a cabo la elaboración de esta tesis.

ABREVIATURAS

ppm	partes por millón
s	desviación estándar
u.f.c	unidad formadora de colonia
DBO5	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
DADMAC	cloruro de dialil-dimetil amonio
Epi	Epiclorhidrina
DMA	Dimetilamina
DMAEM	dimetil-aminoetil-metacrilato
CONALEP	Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica
ISSEMYM	Instituto de Seguridad Social del Estado de México y Municipios
D.I.F	Desarrollo Integral para la Familia

INDICE

OBJETIVOS	i
INTRODUCCION .	ii
CAPITULO I. ANTECEDENTES DEL MUNICIPIO DE HUIXQUILUCAN	
1.1 Significado de Huixquilucan	1
1.2 Localización geográfica	1
1.3 Hidrografía	3
1.4 Abastecimiento de agua potable	5
1.5 Sistema de drenaje y alcantarillado	5
1.6 Aspectos socioeconómicos	7
1.7 Equipamiento urbano	8
CAPITULO II. CARACTERISTICAS Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
2.1 Características y composición de las aguas residuales	11
2.2 Tratamiento preliminar	17
2.3 Tratamiento primario	18
2.4 Tratamiento fisicoquímico	19
2.4.1. Mecanismos de desestabilización coloidal	21
2.5 Tratamiento secundario	28
2.6 Tratamiento terciario	33
2.7 Tratamiento de lodos	36
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Muestreo de las aguas residuales	39
3.2 Manejo de la muestra	40
3.3 Análisis para determinar la calidad de las aguas residuales en municipios	41
3.3.1 Sólidos sedimentables	41

3.3.2	Sólidos suspendidos totales	41
3.3.3	pH	42
3.3.4	Grasas y aceites	43
3.3.5	Demanda bioquímica de oxígeno	45
3.3.6	Demanda química de oxígeno	49
3.4	Pruebas de floculación con los polímeros derivados del tetrametil etilen amonio y sulfato de aluminio	51
3.5	Análisis microbiológico para determinar el porcentaje de reducción de microorganismos mesofílicos aerobios mediante el uso de los polímeros derivados del tetrametil etilen amonio y del sulfato de aluminio.	53
CAPITULO IV. RESULTADOS		55
CAPITULO V. ANALISIS DE RESULTADOS		65
CAPITULO VI. CONCLUSIONES		68
ANEXOS		69
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		70

INDICE DE TABLAS

1.6.1	Número de habitantes en el municipio y en la Cabecera municipal de Huixquilucan	6
1.6.2	Población económicamente activa, ocupada en el sector primario, secundario y terciario	7
1.6.3	Datos de viviendas particulares	7
2.1.1	Características de las aguas residuales de acuerdo a su origen	11
2.4.1	Coagulantes y floculantes inorgánicos	19
2.4.2	Coagulantes y floculantes orgánicos	20
3.1.1	Condiciones de preservación de muestras	40
3.4.1	Concentraciones del polímero en pruebas de jarras	52
3.4.2	Concentraciones de sulfato de aluminio en pruebas de jarras	52
4.1	Resultados de parámetros para determinar la calidad de las aguas residuales de La Cabecera Municipal de Huixquilucan	55
4.2	Pruebas de floculación con el polímero a pH 7.0	56
4.3	Pruebas de floculación con el polímero a pH 9.0	57
4.4	Pruebas de floculación con el polímero a pH 10.0	58
4.5	Pruebas de floculación con sulfato de aluminio a pH 6.0	60
4.6	Pruebas de floculación con sulfato de aluminio a pH 7.0	61
4.7	Pruebas de floculación con sulfato de aluminio a pH 9.0	62
4.1	Gráfica de grados de floculación con el polímero	59
4.2	Gráfica de grados de floculación con sulfato de aluminio	63
4.8	Resultados de pruebas de agua residual del municipio de Huixquilucan y empleando sulfato de aluminio y el polímero.	64
1	Límites máximos permisibles de contaminantes para poblaciones menores a 80,000 habitantes	69
2	Límites máximos permisibles de contaminantes para poblaciones mayores a 80,000 habitantes	69

INDICE DE FIGURAS

1.1	Escudo del municipio de Huixquilucan	1
1.2	Localización geográfica del municipio de Huixquilucan	2
1.3	Ubicación de ríos en Huixquilucan	4
1.5	Copia del plano del sistema de drenaje y alcantarillado municipal.	6
1.7	Copia del plano del equipamiento urbano del municipio de Huixquilucan.	10
2.4.1	Gráfica de fuerzas atractivas y repulsivas	22
2.4.2	Esquema de reacciones entre partículas coloidales y polielectrólitos	25
2.4.3	Estructura química del monómero del polímero derivado del tetrametil etilen amonio	26
2.5.1	Ciclo en el que intervienen las bacterias aerobias	29
2.5.2	Relación ciclica simbiótica algas - bacterias	31
2.5.3	Ciclo en el que intervienen bacterias anaerobias	32

OBJETIVOS

1) Conocer la calidad de las aguas residuales de la cabecera municipal de Huixquilucan mediante análisis físicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos.

2) Establecer las condiciones de floculación de los polímeros derivados del tetrametil etilén amonio y del sulfato de aluminio en las aguas residuales en estudio mediante pruebas de jarras (jar test).

3) Comparar la mayor eficiencia de floculación entre las dos sustancias mencionadas anteriormente.

4) Determinar el porcentaje de reducción de microorganismos mesofílicos aerobios con el uso de los polímeros derivados del tetrametil etilén amonio y del sulfato de aluminio como floculantes en aguas residuales de la cabecera municipal de Huixquilucan.

INTRODUCCION

Siendo el agua un recurso natural importante para la vida e integrante principal de los ríos, es por ello importante la conservación de los mismos.

Uno de los problemas que aquejan a los habitantes de la cabecera municipal de Huixquilucan es la contaminación de su río San Martín, ya que las aguas residuales desembocan en este sin tratamiento alguno.

Para ubicar y definir la fuente de contaminación se consultaron antecedentes del municipio de Huixquilucan, tales como: localización del municipio, disposición del sistema de drenaje y alcantarillado, así como sus principales ríos. Esta información se encuentra descrita en el Capítulo I de la presente tesis.

Con objeto de conocer las características de las aguas residuales se revisaron los aspectos socioeconómicos de la población y su equipamiento urbano.

Para determinar la calidad del agua vertida al río San Martín, se analizaron parámetros tales como: pH, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Dichos análisis se encuentran referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado municipales. Los datos especificados en esta norma se encuentran en la sección de Anexos.

La metodología desarrollada, así como el fundamento de cada uno de los análisis se explica en el Capítulo III. (Material y métodos).

Existen diversos tratamientos (preliminares, primarios, secundarios y terciarios) que se aplican en la depuración de aguas residuales.

El tratamiento fisicoquímico implica la utilización de agentes floculantes; para conocer las condiciones de concentración y pH bajo las cuales operan es preciso efectuar pruebas de jarras.

En el capítulo II se explica cada uno de los tratamientos mencionados, así como el mecanismo de acción de agentes floculantes.

Al efectuar esta tesis se practicaron pruebas de jarras utilizando dos agentes floculantes diferentes, siendo estos: polímero derivado de tetrametil etilén amonio "Dicloruro de Poli (oxietilén (dimetil imino) etilén (dimetil imino) etileno" y sulfato de aluminio.

La eficiencia de floculación de estas sustancias se determinó mediante pruebas de jarras; utilizando el polímero a concentraciones de 0, 25, 50, 100, 200 y 400 ppm aplicadas a pH de 7, 9 y 10. Con el sulfato de aluminio se efectuaron pruebas a 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 y 1600 ppm y pH de 6, 7 y 9.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos con base a grados de floculación se determinó que las condiciones de mayor eficiencia para el sulfato de aluminio fueron a una concentración de 800 ppm y pH = 9.0 ; en tanto que para el polímero esta resultó ser a una concentración de 200 ppm y pH = 10.0.

Después de haber conocido las condiciones eficientes de floculación (concentración y pH) para ambas sustancias se analizaron los parámetros anteriormente citados en aguas residuales, aguas residuales tratadas con el polímero y con el sulfato de aluminio para efectuar la comparación de los floculantes.

El grado de floculación resultó ser de 7.11 para el sulfato de aluminio y de 3.22 en el caso del polímero. Siendo el grado de floculación la relación que existe entre el volumen de sólidos sedimentables utilizando floculante / el volumen de sólidos sedimentables sin uso de floculante.

La metodología que se siguió para efectuar este análisis se describe en el capítulo III.

La reducción microbiana se verificó mediante análisis de cuenta de microorganismos mesofílicos aerobios en aguas residuales y aguas tratadas al emplear como floculantes el polímero y el sulfato de aluminio en condiciones de mayor eficiencia de floculación para cada uno de ellos.

Microbiológicamente existió una reducción del 96.04% cuando se llevó acabo el tratamiento con el sulfato de aluminio y de un 99.99% utilizando el polímero.

CAPITULO I. ANTECEDENTES DEL MUNICIPIO DE HUIXQUILUCAN

Los documentos y códigos que contienen información del origen del municipio de Huixquilucan, así como su fundación y trascendencia se encuentran en el archivo de la nación, existiendo copia certificada en el archivo histórico de este municipio.

En el año de 1534 este municipio fué fundado por los indígenas José Alonso Huetzin Apocatzin y José Miguel Tototihuatzin enviados por Hernán Cortés (1).

1.1 SIGNIFICADO DE HUIXQUILUCAN

figura N° 1.1

Proviene del náhuatl "Huitzilquillocan Atl Yxamayacan" que significa lugar de cardos comestibles y varas espinosas, donde se precipitan y encajonan las aguas. La figura N° 1.1, muestra el escudo de la cabecera municipal (13,17).



1.2 LOCALIZACION GEOGRAFICA

El municipio de Huixquilucan se localiza en el Estado de México, en la vertiente oriental del Monte de las Cruces entre los paralelos 19° 21' 47" de latitud norte y 99° 21' 38" de longitud oeste del meridiano de Greenwich (1,9).

- limita al norte con los municipios de Xonacatlán, Jilotzingo y Naucalpan.
- al sur con el municipio de Ocoyoacac
- al oeste con el municipio de Lerma
- al este con el Distrito Federal (delegación Cuajimalpa)

En La figura N° 1.2 se puede observar la localización geográfica del municipio de Huixquilucan (9).

Huixquilucan cuenta con una extensión territorial de 141.530 km² (1) en el que se asientan:

La Cabecera municipal integrada por cinco cuarteles o barrios : San Martín, San Antonio, Santiago, San Juan y San Miguel.

FALLA DE ORIGEN

2

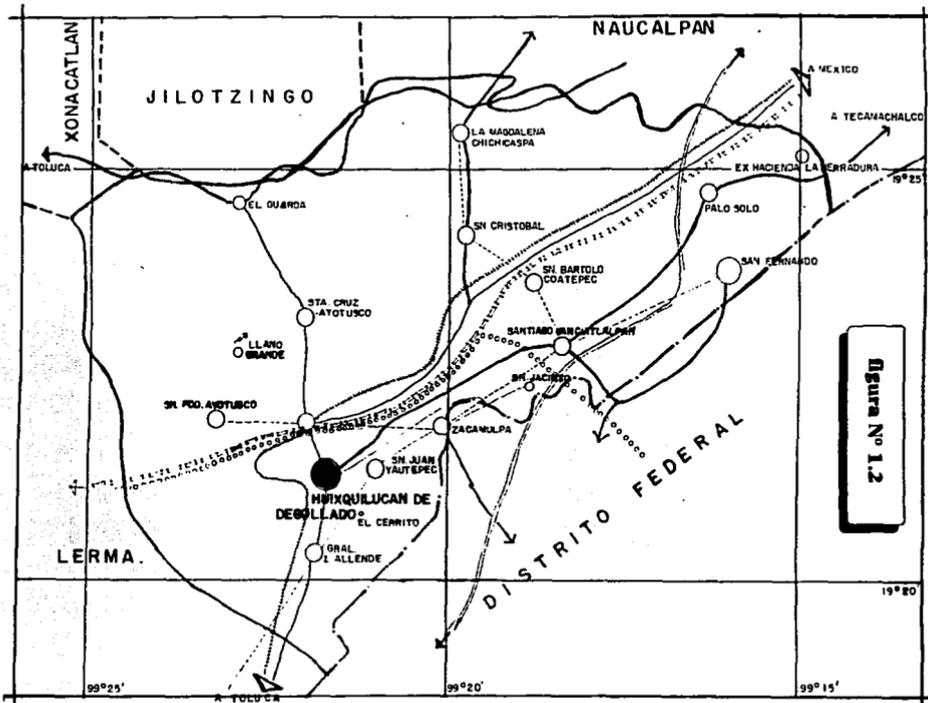


Figura No 1.2

MUNICIPIO DE HUIXQUILUCAN

- 9 rancherías: El Laurel, Agua Blanca, Agua Bendita, Llano Grande, San José Huiloteapan, San Jacinto, El Cerrito, Piedra Grande y la Cañada.
- 10 pueblos: San Francisco, Dos Ríos, Santa Cruz Ayotuxco, San Cristóbal Texcalucan, La Magdalena Chichicapa, San Bartolomé Coatepec, Santiago Yancuitlalpan, Zacamulpa, San Juan Yautepéc e Ignacio Allende.
- 10 colonias: San Fernando, El Olivo, Palo Solo, La Retama, Jesús del Monte, Loma del Carmen, Federal Burocrática, Constituyentes de 1917, Pirules y Montón Cuarteles.
- 13 fraccionamientos: Lomas de Tecamachalco, Sección Bosques I y II y Sección Cumbres, La Herradura secciones I y II, Lomas de la Herradura, Lomas de las Palmas, Lomas Anáhuac, Paseo de las Palmas, Lomas del Sol, Lomas del Olivo, Balcones de la Herradura, Rinconada de la Herradura, Parques de la Herradura y Bosques de las Lomas sección XI (1.13).

1.3 HIDROGRAFIA

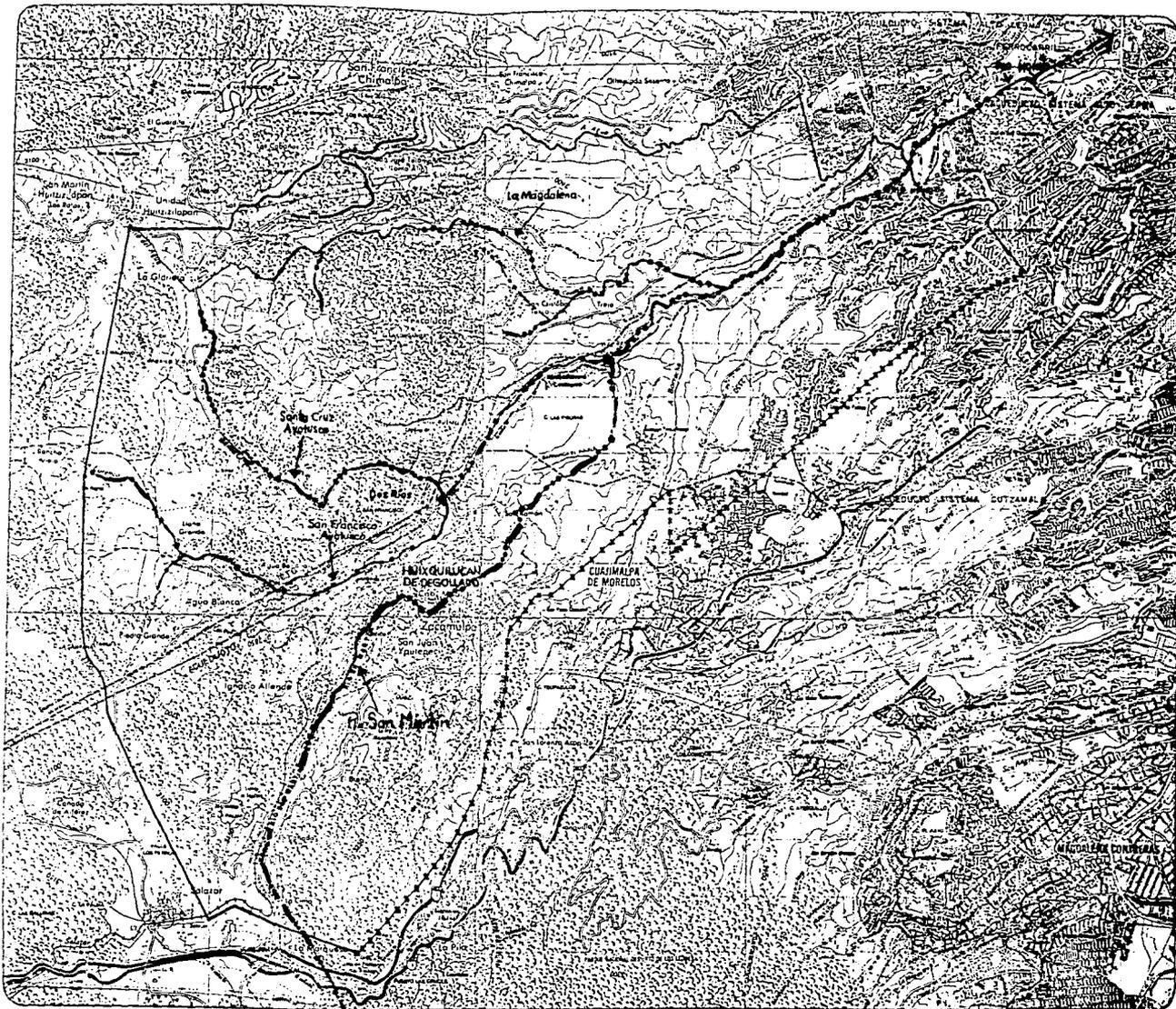
El municipio de Huixquilucan cuenta con los ríos conocidos con el nombre de:

- San Martín : se origina en el monte de Atlapulco y entra por el llano de Salazar.
- San Francisco: nace en los poblados de Llano Grande y Piedra Grande.
- Santa Cruz: se origina en el paraje el Pozote y se une al río San Francisco en la localidad de Dos Ríos.

Los afluentes de los ríos anteriormente citados se unen en el poblado de San Bartolomé Coatepec para llegar al río Hondo.

- Magdalena: está formado por 2 afluentes: río Dasha el cuál nace en el paraje La Canaleja y por el río Hondo que se origina en las partes altas del Guarda (1,9).

La figura N° 1.3 muestra una copia del plano en el que se indica la ubicación de estos ríos en el municipio (39).



GOBIERNO
DEL
ESTADO
DE
MEXICO

SECRETARIA DE PLANEACION
DIRECCION DEL SISTEMA ESTATAL
DE INFORMACION
SUB-DIRECCION DE ESTUDIO Y CONSULTA
DEL TERRITORIO ESTATAL
SECTOR RECURSOS HIDRAULICOS 04

SIMBOLOGIA

- RIO O ARROYO PERMANENTE
- - - RIO O ARROYO INTERMITENTE
- ACUEDUCTO
- +++ FERROCARRIL
- LARRO O LABRANZA
- ◁ PRESA
- BORDO

figura N° 1.3

MUNICIPIO DE HUIXQUILUCAN	
ESTADO DE MEXICO	
HIDRAULICO	
PLANO DE CONJUNTO	

1.4 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Actualmente el agua potable que abastece a la población de la cabecera municipal de Huixquilucan se obtiene de dos fuentes que son las siguientes:

- por captación
- manantiales

1.4.1. La CAPTACION "El Venado" almacena agua que proviene del sistema alto Lerma. Esta agua se dirige a los tanques conocidos con el nombre de San Francisco, mediante un sistema de rebombeo; de allí se envía a redes de distribución y posteriormente a tomas domiciliarias.

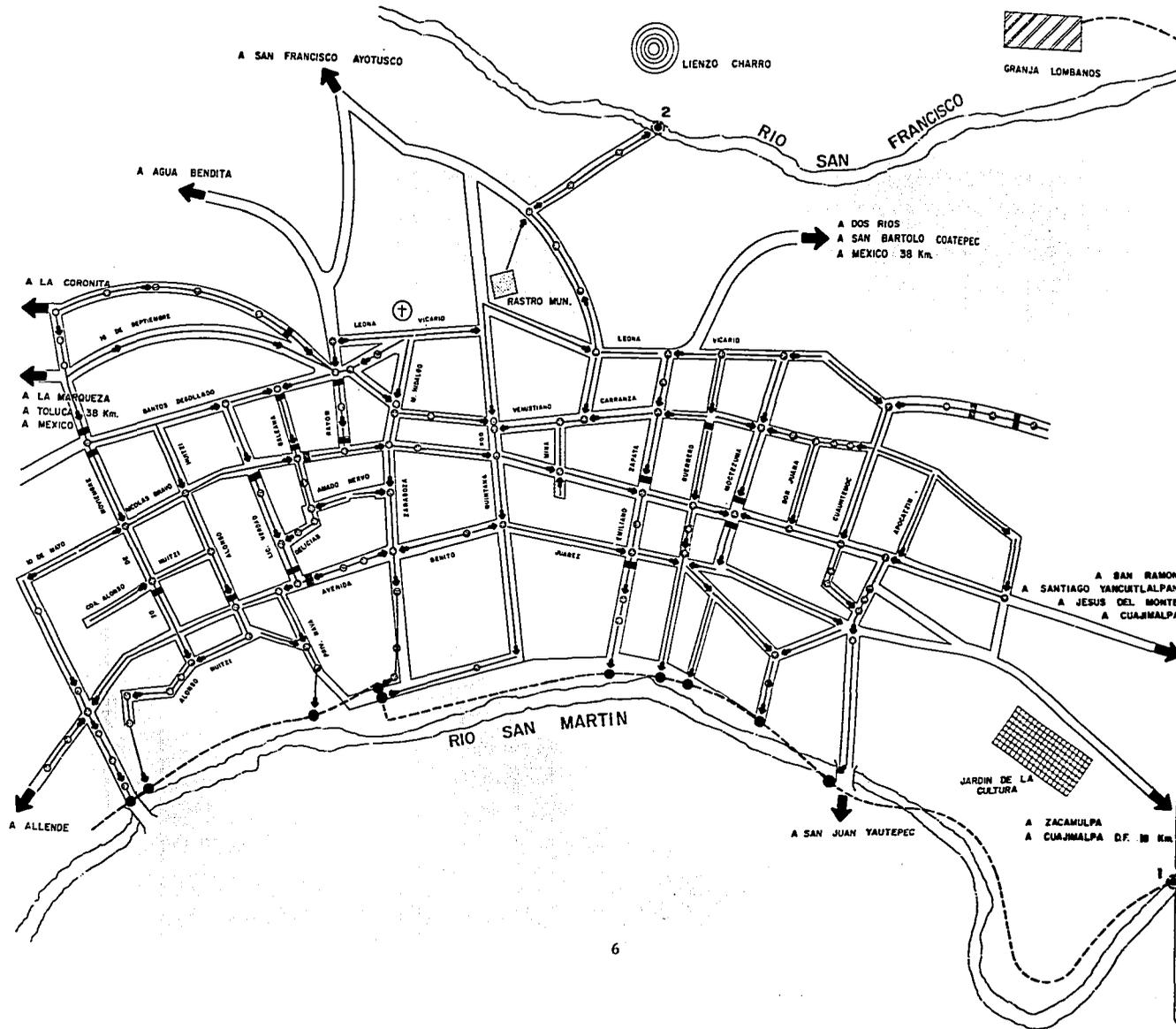
1.4.2. Los MANANTIALES que abastecen de agua potable a la cabecera son: Valle de las monjas y Monte grande". El agua que se obtiene de esta fuente se dirige a tanques de almacenamiento; de allí es conducida a redes de distribución y posteriormente a tomas domiciliarias (40).

Cabe mencionar que en los diferentes tanques se efectúa un proceso de cloración del agua.

1.5 SISTEMA DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO

El sistema de drenaje y alcantarillado está constituido por:

- red de drenaje: formada con tubería de concreto cuyos diámetros varían de 45-60 cm. Esta red capta las aguas provenientes de uso doméstico, comercial y de las diversas instituciones existentes. La dirección que sigue es de acuerdo a las pendientes de cada una de las calles, esta dirección se indica en la figura N° 1.5 mediante flechas y propiamente la red se muestra con líneas continuas. Las aguas residuales que son conducidas a través de la red de drenaje son dirigidas a pozos de visita situados en el colector.
- colector: sistema a donde se dirige la red de drenaje y conduce las aguas residuales a el punto de descarga, está indicado con una línea punteada y situado en forma paralela al río San Martín.
- pozos de visita del colector: se encuentran situados a cada 100 - 200 m de distancia uno del otro en el colector y pueden observarse como un círculo obscuro.
- pozos de visita de la red de drenaje: de igual forma que los pozos del colector se hallan situados a cada 100 - 200 m y están representados con círculos punteados.
- alcantarillas: captan las aguas pluviales y superficiales, están integradas a la red de drenaje y se han representado con rectángulos.



SIMBOLOGIA

- PUNTO DE DESCARGA AL RIO
- POZO DE VISITA DEL COLECTOR
- POZO DE VISITA DEL DRENAGE
- RED DE DRENAGE
- COLECTOR
- ALCANTARILLAS
- RIOS

figura N° 1.5

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS

MUNICIPIO DE HUIXTLALCÁN		Escala	
ESTADO DE MEXICO		1:500	
SISTEMA DE DRENAGE Y ALCANTARILLADO			
PLANTA GENERAL			
Escala 1:500		1950	

- punto de descarga: punto en el que se vierten las aguas residuales al cuerpo receptor, siendo este el río San Martín; se encuentra localizado en el jardín de la Cultura y se indica en la figura N° 1.5 con el número 1. Cabe mencionar que fue el sitio donde se efectuó el muestreo de las aguas residuales en estudio.

La disposición del sistema de drenaje y alcantarillado se muestran en la figura N° 1.5 (41).

1.6 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Estos aspectos nos permiten conocer las características demográficas y económicas de la población.

La tabla N° 1.6.1. Indica el número de habitantes tanto en el municipio como en la cabecera municipal.

TABLA N° 1.6.1

localidad	población total (número de habitantes)
municipio	131,926
cabecera	6,150

Mediante el análisis del volumen de población económicamente activa y el de la población ocupada en los sectores primario, secundario y terciario podemos conocer las características económicas de la localidad en estudio.

- El sector primario comprende a las personas de 12 años o más que realizan cualquier actividad económica relacionada con la agricultura, la ganadería, silvicultura y pesca. En la cabecera municipal este sector lo integra un 3.57 % de la población económicamente activa.
- El sector secundario corresponde al total de personas mayores de 12 años que realizan una actividad económica relacionada con la minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción. Este sector representa un 29.74 %.
- El sector terciario está integrado por el total de personas de 12 años y más que realizan cualquier actividad económica relacionada con el comercio, transporte, comunicación. Comprende un 58.25 % (50).

La tabla N° 1.6.2 , muestra la población económicamente activa, ocupada en el sector primario, secundario y terciario.

TABLA N° 1.6.2

localidad	población económicamente activa (N° de habitantes)	población ocupada en el sector primario (N° de habitantes)	población ocupada en el sector secundario (N° de habitantes)	población ocupada en el sector terciario (N° de habitantes)
municipio	44,268	1,369	13,363	26,339
cabecera	1,708	61	508	995

La tabla N° 1.6.3, indica las características de las viviendas tanto en el municipio como en la cabecera municipal.

TABLA N° 1.6.3

localidad	total de viviendas habitadas	viviendas particulares habitadas	viviendas particulares con agua entubada	viviendas particulares con drenaje
municipio	25 392	25,379	21,920	19,940
cabecera	1,172	1,169	1,038	964

Estos datos nos indican que un 88.79% de las viviendas particulares de la cabecera cuentan con agua entubada y un 82.46% con sistema de drenaje (50).

1.7 EQUIPAMIENTO URBANO

El equipamiento urbano está integrado por diferentes sectores: salud, educativo, religioso y comercial entre otros (42).

Cada una de las instituciones está representada en la **figura N° 1.7** (siendo esta figura una copia del plano urbano de la cabecera municipal de Huixquilucan) con un símbolo y un número.

A cada sector se le asignó un símbolo y la numeración se muestra por sector de derecha a izquierda en la copia mencionada anteriormente de la siguiente manera:

SECTOR SALUD le corresponde un círculo y los números del 1 al 5 con las siguientes instituciones:

1. ISSEMYM
2. Hospital San Martín
3. Centro de salud
4. Hospital San José
5. Hospital Dr. Rojas

SECTOR EDUCATIVO representado con un triángulo y la numeración que se les asignó a las escuelas comprende desde el número 6 al 16, siendo estas:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 6. Primaria Sor Juana Inés de la Cruz | 12. Primaria La Paz. I sección |
| 7. Secundaria #32 . I sección | 13. Kinder San Juan |
| 8. Kinder D.I.F | 14. Primaria La Paz. II sección |
| 9. Secundaria #32 . II sección | 15. CONALEP |
| 10. Primaria Fray Ignacio | 16. Preparatoria |
| 11. Centro de computo | |

CENTROS COMERCIALES Y MERCADOS, el símbolo que se puede observar para estas instituciones es un rectángulo, con la siguiente numeración:

- 17. Mercado municipal
- 18. Lechería Liconsa
- 19. Plaza Huixquilucan

SECTOR RELIGIOSO. Las Iglesias se muestran con un círculo y una cruz en el centro. en la cabecera de Huixquilucan existen estas instituciones con nombres tales como:

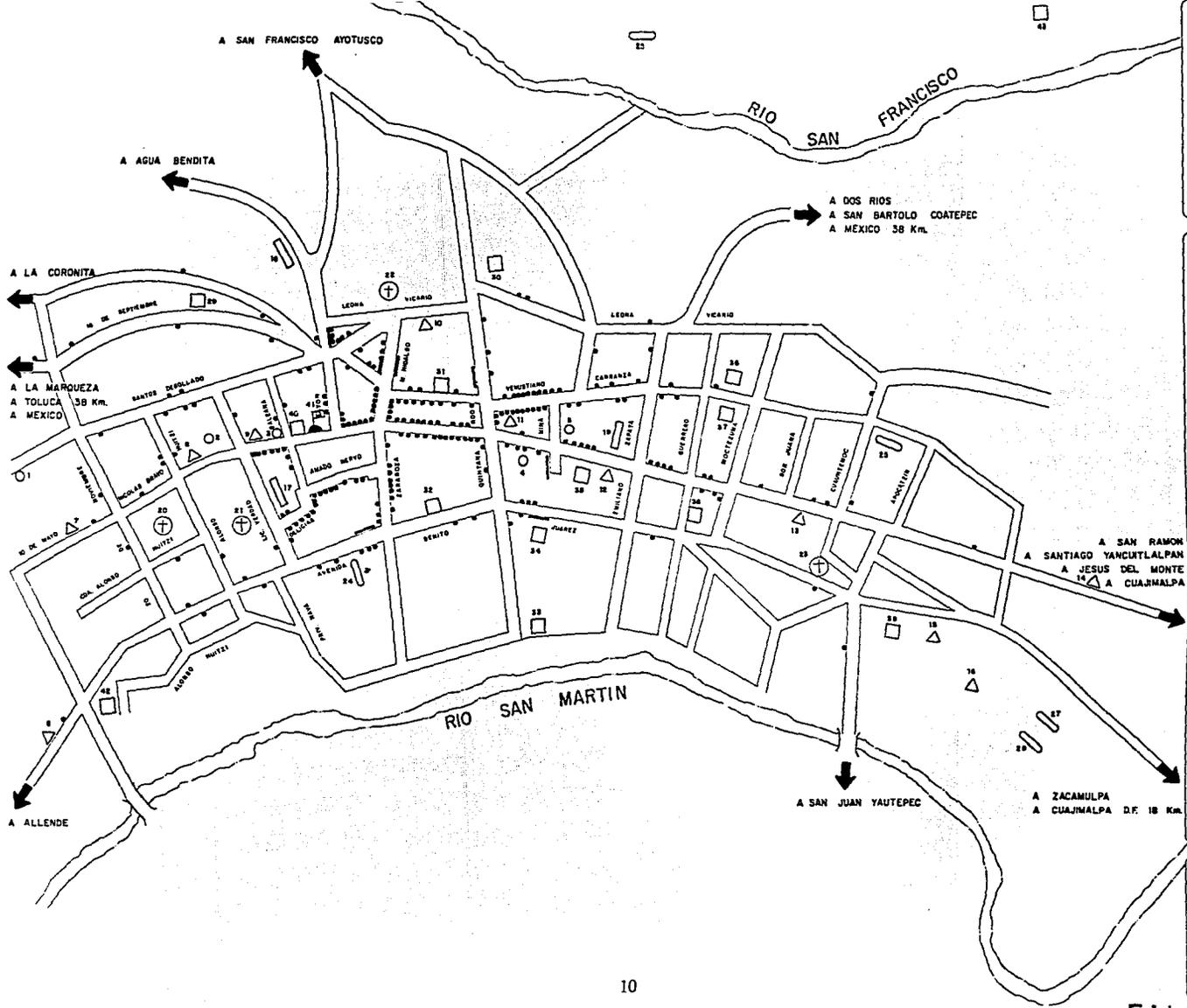
- 20. San Martín
- 21. San Judas Tadeo
- 22. Parroquia de San Antonio
- 23. San Juan

CENTROS RECREATIVOS Y DE EVENTOS SOCIALES, pueden identificarse con una elipse y los números que a continuación se muestran:

- 24. Salón de fiestas Campestre
- 25. Lienzo charro
- 26. Salón de fiestas Huixquilucan
- 27. Jardín de la cultura
- 28. Auditorio municipal

DIVERSOS, a ellos se les asignó como símbolo un cuadrado y los números subsecuentes

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 29. Taller de autos | 36. Autoservicio |
| 30. Rastro municipal | 37. Taller de autos |
| 31. Estación de telégrafos | 38. Taller de autos |
| 32. Autoservicio | 39. Centro de justicia |
| 33. Marmolería | 40. Bancomer |
| 34. Carpintería | 41. Presidencia municipal |
| 35. Good Year | 42. Taller de tabicón |



MEXIQUILPAN
 H. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL
 DE MEXIQUILPAN
 ESTADO DE MEXICO

SIMBOLOGIA

- PRESIDENCIA MUNICIPAL
- IGLESIAS
- HOSPITAL Y CENTRO DE SALUD
- CENTROS RECREATIVOS Y PARA EVENTOS SOCIALES
- CENTRO COMERCIAL Y MERCADO
- ESCUELAS
- PARADERO DE AUTOMOVILES
- TALLERES Y OTROS
- COMERCIOS

(TERRAZAS, PELUQUERIAS, PELUQUERAS, VESTI-
 RIOS, SERRANERIAS, MARINEROS, MAQUINARI-
 AS, JOYERIAS, SERRANERIAS, SERRANERIAS, SERRANERIAS,
 TALLERES, TALLERES, TALLERES, ETC.)

figura N° 1.7

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS

MUNICIPIO DE MEXIQUILPAN	ESTADO DE MEXICO
PLANO URBANO	
PLANTA GENERAL	

CAPITULO II. CARACTERISTICAS Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características físicas, químicas y biológicas del agua residual varían dependiendo de su origen.

Las aguas residuales provienen de sectores tales como: el sector social, el agropecuario y el industrial (14). Las aguas correspondientes al sector social incluyen aquellas de origen doméstico, pluviales, generadas por centros comerciales y las de instituciones como: hospitales, escuelas y talleres.

Los tipos de aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen en:

- **aguas residuales de origen doméstico:** son aquellas que se producen en labores tales como: limpieza, duchas, lavado de calles, lavado de utensilios domésticos y ropa. Ellas pueden incluir desperdicios de alimentos, jabones y detergentes sintéticos, desechos humanos y animales.
- **aguas residuales agropecuarias:** son aguas provenientes de los campos agrícolas y las generadas por granjas de ganado mayor y menor.
- **aguas residuales industriales:** sus características dependen del tipo de industria que genere la descarga.
- **aguas residuales de comercios:** provienen de los diferentes centros de abastecimiento y servicios públicos de una comunidad.
- **aguas residuales captadas por alcantarillas:** se originan por el lavado de calles, banquetas y de precipitaciones pluviales, estas arrastran polvo, arena, hojas y basura.

En tabla Nº 2.1.1 se enlistan diferentes características de las aguas residuales de acuerdo con su origen (24).

TABLA Nº 2.1.1

Parámetro	Origen
Características	Físicas
Sólidos	Suministro de agua potable, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales

Parámetro	Origen
Características	Químicas
Origen orgánico:	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Grasas y aceites	Residuos industriales, comerciales y domésticos
Agentes tensoactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Origen inorgánico:	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua potable, residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Alcalinidad	Suministro de agua potable, residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Residuos industriales y domésticos
Azufre	Suministro de agua potable y residuos industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Residuos industriales
Gases:	
Oxígeno	Suministro de agua potable, infiltración de agua de superficie
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas domésticas
Metano	Descomposición de aguas domésticas
Características	Biológicas
Bacterias y Protozoarios	Residuos domésticos, plantas de tratamiento
Virus	Residuos domésticos
Plantas	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Animales	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento

(24)

Las características de las aguas residuales de la Cabecera municipal de Huixquilucan se hallan influenciadas por los factores que a continuación se mencionan:

a) Los sectores secundario y terciario abarcan un porcentaje de 29.74% y 58.25% de la población económicamente activa respectivamente, de acuerdo a los datos presentados en la Tabla N° 1.6.2; las personas involucradas en estos sectores desempeñan actividades relacionadas con la construcción, electricidad, comercio, transporte, comunicación.

b) Un 82.25% del total de viviendas habitadas cuenta con drenaje conectado a la red.

c) El equipamiento urbano de la cabecera municipal está integrado por hospitales, centros de salud, escuelas, mercado municipal, comercios, rastro municipal y casas habitación, como se observa en la figura N° 1.7.

Con base a estos factores podemos decir que el origen de las aguas residuales es de tipo doméstico y comercial. Tomando en consideración los datos de la Tabla N° 2.1 se puede suponer que las características y composición del agua residual en estudio son las siguientes:

- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: temperatura, color y sólidos.
- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, agentes tensoactivos, cloruros, nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno.
- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS: bacterias, protozoarios y virus

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

SÓLIDOS TOTALES : Proviene del agua de abastecimiento, agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas, basura del suelo, aguas pluviales. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros (heces, orina, papel), fregaderos, baños y lavaderos.

Los sólidos totales son el residuo que se obtiene por evaporación a 103 - 105°C. Estos se encuentran integrados por:

a) Sólidos suspendidos totales: Comprende a sólidos sedimentables y no sedimentables y tienen un tamaño de partícula mayor a 1 micra.

b) Sólidos filtrables: sólidos coloidales cuyo tamaño de partícula está comprendido de 10^2 a 1 micra y sólidos disueltos con tamaños desde 10^5 a 10^1 micras.

TEMPERATURA: Este parámetro es de importancia por su efecto en la vida acuática y su influencia en la velocidad de las reacciones químicas. Por otro lado el oxígeno disuelto es menos soluble en agua caliente que en agua fría; El aumento de temperatura puede generar la disminución de oxígeno disuelto pudiendo llegar a agotar este componente (24).

COLOR: Las aguas residuales recientes tienen un color café grisáceo, conforme pasa el tiempo adquieren un color negro debido a la formación de sulfuro ferroso, lo cual indica que el agua se encuentra en condiciones asepticas (24).

2.1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

MATERIA ORGANICA. Procede de los reinos animal y vegetal. Los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual son: Las proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) y grasas y aceites (10%). La urea es otro compuesto orgánico importante presente en la orina. También existen diferentes moléculas orgánicas sintéticas (24).

a) proteínas: representan el grupo de sustancias químicas de mayor importancia en la estructura y fisiología celulares; participan en actividades tales como:

- 1) El transporte de sustancias (hemoglobina, seroalbúmina)
- 2) almacenamiento (ovoalbúmina, caseína)
- 3) contractibilidad de músculos (actina, miosina)

Se encuentran formando parte de tejidos como es el caso de la colágena, la elastina, y la queratina. Se encuentran presentes en las paredes celulares en forma de glucoproteínas. (16, 57).

Las proteínas y la urea son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual.

b) carbohidratos: conocidos como hidratos de carbono o bien azúcares. Son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno.

Los carbohidratos desempeñan diversas funciones en los seres vivos tales como: de reserva, estructurales y energéticas. Estos se clasifican según el número de unidades en:

- monosacáridos: glucosa, galactosa, manosa, fructosa
- disacáridos: Lactosa, sacarosa, celobiosa, maltosa
- polisacáridos: almidones, celulosa, glucógeno (54).

c) grasas y aceites: Sustancias de origen biológico, las cuales son solubles en solventes orgánicos tales como cloroformo, hexano y son parcialmente solubles en agua.

Las grasas son compuestos sólidos a temperatura ambiente en tanto que los aceites son líquidos: se encuentran en las carnes, semillas y ciertas frutas.

- ácidos grasos

- 1) saturados: láurico, mirístico, palmítico, esteárico
- 2) insaturados: oleico, linoleico y linoléico

- triglicéridos: triestearoilglicerol, trioleilglicerol
- fosfolipídicos: compuestos lipídicos presentes en mayor proporción en las membranas celulares. Dentro de este grupo se encuentra la lecitina y la cardiolipina.
- hidrocarburos: alcanos, alquenos y alquinos (16, 54, 57).

d) jabones y detergentes sintéticos.

- Los jabones son moléculas anfipáticas; tienen una cadena larga no polar soluble en solventes orgánicos y un extremo polar soluble en agua. Estos se obtienen a partir de alcoholes de 12 a 18 átomos de carbono que reaccionan con ácido sulfúrico y posteriormente con un álcali para obtener así sales de los ácidos alquilsulfúricos.
- detergentes: son sales sódicas de ácidos alquilbencenosulfónicos donde el grupo alquilo de cadena larga se une a un anillo bencénico; el detergente resulta de una sulfonación seguida de una neutralización y se les conoce también como "detergentes duros" porque no son biodegradables.

A partir de 1965 se emplean sales de sulfatos de alquilo, etoxilatos de alquilo y alquilbenceno sulfonatos, donde el grupo fenilo se une en posiciones secundarias de una cadena recta larga (24, 54).

MATERIA INORGANICA.

a) cloruros. Se encuentran en el agua natural y estos proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales (24).

b) nitrógeno: es un elemento esencial para el crecimiento de protistas y plantas. El nitrógeno presente en el agua residual reciente se encuentra en forma de urea y materia protéica. La descomposición de estos compuestos da como resultado amoniacal.

En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. Los nitratos pueden ser utilizados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas vegetales que a su vez pueden ser utilizadas por animales para formar proteínas animales (24, 27).

c) fósforo: es un elemento esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Las formas más frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. Los ortofosfatos por ejemplo: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, H_3PO_4 se hallan disponibles para el metabolismo biológico. Los polifosfatos sufren hidrólisis en soluciones acuosas para presentarse en forma de ortofosfatos (24).

d) azufre: El ion sulfato se presenta en la mayoría de las aguas potables y aguas residuales. El azufre es requerido en la síntesis de las proteínas y es liberado en su degradación.

Los sulfatos son reducidos químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno por bacterias en condiciones anaerobias. El sulfuro de hidrógeno puede ser oxidado para dar origen al ácido sulfúrico (24,27).

GASES: Los gases que se encuentran con mayor frecuencia en aguas residuales sin tratar son: nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual sin tratar (24).

2.1.3 CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS

En las aguas de albañal comúnmente se encuentran:

- Bacterias tales como coliformes (Escherichia coli, Enterobacter aerogenes, Klebsiella pneumoniae); Estreptococos (Streptococcus faecalis); bacilos anaerobios (Clostridium perfringens, Bacteroides fragilis) y otros que se originan en el tubo digestivo humano.

Es probable que las bacterias patógenas más importantes que pueden encontrarse en este medio son: Salmonella typhi causante de la fiebre tifoidea; Vibrio cholerae organismo que ocasiona el cólera; Shigella dysenteriae organismo que causa la disentería bacilar (15,38).

- Las aguas residuales también son fuente de protozoos patógenos, como por ejemplo la Entamoeba histolytica, Giardia lamblia (38).
- Otro tipo de microorganismos presentes son los virus como: Virus de la hepatitis infecciosa el cual es eliminado con las materias fecales de los huéspedes infectados (38).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los métodos usados para el tratamiento de las aguas residuales, pueden incluirse dentro de los cinco procesos siguientes:

- 1) tratamiento preliminar
- 2) tratamiento primario
- 3) tratamiento secundario
- 4) tratamiento terciario
- 5) tratamiento de los lodos

2.2. TRATAMIENTO PRELIMINAR

El objeto de este tratamiento consiste en:

- 1) separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos más grandes que flotan o están en suspensión.
- 2) apartar sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de grasas y aceites.

Para llevar a cabo este tratamiento se emplean mecanismos tales como:

- desbaste
- tamizado
- dilaceración o trituración
- desarenado
- preaireación

2.2.1. DESBASTE.- Para efectuar esta operación se emplean rejillas; estas se fabrican con barras de acero soldadas a un marco, espaciadas desde 2 hasta 15 centímetros y se colocan verticalmente al canal con una pendiente de 30 a 80° con respecto a la horizontal (21, 24).

2.2.2. TAMIZADO.- Consiste en una filtración sobre placas de cobre o bronce con ranuras fresadas de 0.8 a 3 mm de ancho por 5 cm de largo (24).

2.2.3. DILACERACION.- Se emplean dispositivos tales como: molinos, cortadoras y trituradoras para reducir de tamaño a aquellos sólidos que pudieran obstruir bombas, tuberías o bien afectar los sistemas de tratamiento posteriores (5, 24, 27).

2.2.4. DESARENADO.- tiene por objeto remover sustancias inertes (sólidos inorgánicos como la arena, cenizas y grava). Los desarenadores se diseñan en forma de grandes canales en los que la velocidad del afluente disminuye para que se depositen los sólidos que tengan un peso específico mayor al de los sólidos orgánicos que se encuentran en suspensión (21, 22).

2.2.5. PREAIREACION.- Esta operación requiere de la introducción de aire en las aguas residuales durante periodos de 20 a 45 minutos; tiene por objeto:

- ayudar a la reducción de grasas y aceites, obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos en los tanques de sedimentación, controlar olores, disminuir la demanda bioquímica de oxígeno, conseguir una distribución uniforme de los sólidos suspendidos y flotantes para su entrada a unidades de tratamiento (21,24).

2.3. TRATAMIENTO PRIMARIO

La finalidad de este tratamiento es reducir el contenido de sólidos suspendidos de carácter orgánico e inorgánico mediante diferentes procesos físicos, los cuales se mencionan a continuación:

2.3.1. SEDIMENTACION.

Consiste en la separación de sólidos sedimentables debido a la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el medio de dispersión, para que los sólidos se asienten por gravedad es necesario reducir la velocidad de flujo.

Los principales dispositivos para este efecto son los tanques de sedimentación (21,24, 27, 44).

- sépticos
- de doble acción o de Imhoff
- de sedimentación simple

Se ha estimado que estos tanques eliminan de un 40 a un 60% de sólidos suspendidos totales y la demanda bioquímica de oxígeno disminuye de un 25 a 35% (22,24).

2.3.2 FLOTACION

Es un proceso para separar a aquellos sólidos o partículas líquidas que tengan una densidad menor a la del medio dispersante.

La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (aire) en la fase líquida, dando como resultado la formación de burbujas.

Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (aceites o petróleo) flotan debido a que estos se asocian con las burbujas, desplazándose en forma ascendente hacia la superficie del líquido, formando una capa que puede removerse en forma mecánica (5, 44).

2.3.3 NEUTRALIZACION

Se utiliza en los siguientes casos:

- a) Antes de la descarga de aguas residuales, en un medio receptor o en el alcantarillado municipal.
- b) Antes del tratamiento químico o biológico (44).

2.3.4 HOMOGENEIZACION: Es una mezcla de las corrientes ácidas y alcalinas en un tanque; los objetivos son:

a) Aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante, que sea el que llegue a la planta de tratamiento.

b) Disminuir las variaciones de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del efluente a los sistemas de tratamiento (44).

2.4 TRATAMIENTO FISICOQUIMICO

El tratamiento de carácter fisicoquímico, puede clasificarse como un tratamiento primario. En este se presentan efectos tales como: sedimentación, coagulación y floculación.

Este tratamiento consiste en agregar uno o más reactivos a las aguas residuales para producir la coagulación y floculación de sustancias coloidales (27).

Los agentes floculantes y coagulantes pueden ser de carácter inorgánico o bien orgánico. La tabla N° 2.4.1 enumera diferentes coagulantes y floculantes de tipo inorgánico así como características de los mismos.

TABLA N° 2.4.1

Nombre común	fórmula	peso molecular (g/mol)	disponibilidad
Alumbre (sulfato de aluminio)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	594.36	polvo: 17% Al_2O_3 líquido: 8.3% Al_2O_3
Cal (hidróxido de calcio)	$Ca(OH)_2$	74.09	terrón : CaO polvo: 93 - 95% de $Ca(OH)_2$
Cloruro férrico	$FeCl_3$	162.2	anhidro: polvo verde - negro con 96 - 97% de $FeCl_3$, heptahidratado: terrones amarillos-café 60% de $FeCl_3$, líquido: solución café obscuro con 37 - 47% de $FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	399.9	dihidratado: gránulos rojos - cafés con 20.5 % de Fe trihidratado: gránulos rojos - grisáceos con 18.5% de Fe
Aluminato de sodio	$Na_2Al_2O_4$	163.94	hojuelas - 46% de Al_2O_3
sulfato ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	278.02	gránulos con 20% de Fe

(2.12)

Dentro de los coagulantes y floculantes orgánicos pueden distinguirse los polielectrólitos naturales y los sintéticos:

- polielectrólitos naturales: son polímeros de origen biológico tales como alginatos, almidón, mica y celulosa (11, 12).
- polielectrólitos sintéticos: se trata de macromoléculas de cadena larga (obtenidas por la asociación de monómeros o una combinación de estos), que tienen cargas eléctricas o grupos ionizables (11,12).

Según el carácter iónico de estos grupos activos, los polielectrólitos pueden ser:

- a) CATIONICOS: Con grupos que al ionizarse le confieren una carga positiva
 b) ANIONICOS: Contienen grupos ionizables con carga negativa

Existen polímeros NO IONICOS los cuales no cuentan con grupos ionizables, razón por la cual no se consideran como polielectrólitos, sin embargo también actúan como agentes floculantes.

en la TABLA N° 2.4.2 se citan ejemplos de los polímeros mencionados anteriormente, así como sus propiedades.

TABLA N° 2.4.2

Tipo de polímero	Ejemplos	rangos de peso molecular	forma y disponibilidad
polielectrólitos catiónicos	COAGULANTES poliaminas poliucaternarios: Poli - DADMAC Epi/DMA	10.000 - 100.000	soluciones acuosas
	FLOCULANTES Copolímeros de: Acrilamida y DMAEM Acrilamida y CDADMA Aminas de Manich	mayores a 1.000.000	polvos o emulsiones
polielectrólitos aniónicos	sulfonato sódico de poliestireno poliacrilatos copolímeros de poliacril amida	mayores a 1.000.000	polvos o emulsiones
polímeros no iónicos	alcohol polivinílico poliacrilamida óxido de polietileno	mayores a 1.000.000	polvos o emulsiones

(11, 12, 27, 53).

Una planta de tratamiento químico cuenta usualmente con el siguiente equipo:

- 1) dispositivos preliminares
- 2) alimentadores de reactivos
- 3) unidades mezcladoras
- 4) tanques de floculación
- 5) tanques de sedimentación
- 6) recursos para el tratamiento y disposición de los lodos

Para comprender los efectos de coagulación y floculación es preciso conocer la composición de las aguas residuales.

Las aguas residuales generalmente contienen una amplia variedad de coloides inorgánicos tales como arcillas, óxidos e hidróxidos metálicos, carbonatos; materia coloidal orgánica y microorganismos (bacterias y algas) los cuales hacen que el agua se vea turbia o adquieran un color determinado (53).

Las partículas coloidales tienen diámetros menores a 1 micrómetro; estas se encuentran generalmente en suspensión debido a que su velocidad de sedimentación es menor a 10^2 cm/seg y dado a su tamaño pueden pasar a través de un medio de filtración. La agregación de estas partículas es difícil no solo por su tamaño sino debido a que entre ellas existen fuerzas eléctricas repulsivas que las mantienen separadas y las previenen de las colisiones que son necesarias para que la agregación se lleve a cabo (2, 53).

COAGULACION. Mecanismo por el cual se desestabilizan los coloides al neutralizar las cargas repulsivas que los mantienen separados (2,27,49).

FLOCULACION. La Mer y Healy la describen como la agregación de partículas para formar unidades más grandes; a estas unidades se les denomina flocúlos y pueden sedimentarse por efecto de la gravedad. Para que se lleve a cabo la agregación de las partículas es necesario que existan colisiones entre ellas ya sea por medio de un movimiento browniano (floculación pericinetica) o bien transportando las partículas mediante agitación (floculación ortocinetica) (2, 8, 48).

2.4.1 MECANISMOS DE DESESTABILIZACION COLOIDAL

La desestabilización de las partículas puede efectuarse por cuatro mecanismos diferentes:

- 1) compresión de la doble capa
- 2) adsorción y neutralización de cargas
- 3) englobamiento en un precipitado
- 4) adsorción y unión interparticular

Los mecanismos de compresión de la doble capa y la neutralización de cargas pueden clasificarse como coagulación, en tanto que el englobamiento de partículas y adsorción y unión interparticular son considerados como un fenómeno de floculación (2).

2.4.1.1. DESESTABILIZACION POR COMPRESION DE LA DOBLE CAPA

La coagulación se puede explicar tomando en cuenta las fuerzas electrostáticas existentes en las partículas, considerando que estas se encuentran rodeadas por una doble capa eléctrica que interactúa con la fase acuosa. Las siguientes teorías exponen su criterio al respecto.

1) Teoría de Helmholtz - Nerst: supone que acudirán a la superficie del coloide tanto iones positivos del medio como sean necesarios para neutralizar su carga. Se formará una capa adherida (capa de Stern) alrededor de él.

2) Gouy y Chapman demostraron que la agitación térmica del líquido tiende a separar a los contraiones de la superficie del coloide y a formar una capa difusa alrededor de ella.

3) Stern establece que es necesario aceptar la posibilidad de la coexistencia de la teoría de Helmholtz y la de Gouy, considerando la formación de una capa adherida y una capa difusa (capa de Gouy- Chapman) alrededor del coloide (55,59).

Hamaker, desarrolló su teoría sobre la estabilidad o inestabilidad de los coloides liofóbicos, según la cual estas dependen de la acción combinada (55).

- a) de las fuerzas coulombicas de repulsión
- b) de las fuerzas atractivas de Van der Waals

La figura N° 2.4.1. muestra la relación que existe entre estas fuerzas. Las fuerzas atractivas y repulsivas nos dan una resultante (línea punteada), esta línea tiene una cresta que es llamada barrera de energía. Para que un coloide se aglutine con otros y pueda formar flocúlos es necesario que la distancia que existe entre el centro del coloide y el contralón sea menor a la distancia en la que se presenta la barrera de energía (48,59).

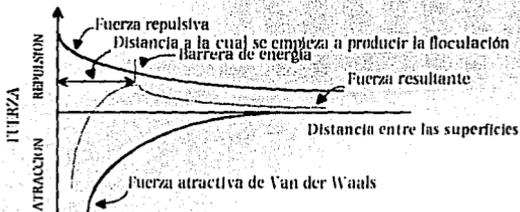


Figura 2.4.1

La desestabilización de coloides se debe a que cuando existe un incremento del electrolito se incorporan contrariones en la capa difusa o de Gouy - Chapman, con lo cual esta se represa y se disminuyen las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía (59).

2.4.1.2 DESESTABILIZACION DE COLOIDES POR ENGLOBAMIENTO EN UN PRECIPITADO.

Cuando ciertas sales metálicas son adicionadas al agua o aguas residuales en cantidades suficientes, se lleva acabo una formación de un precipitado. Los coloides pueden servir como núcleos para estos precipitados o bien pueden ser envueltos en el precipitado cuando este tiende a sedimentar.

Coagulantes tales como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, puede inducir la floculación a través de la formación del $Al(OH)_3$, el cual es insoluble. La remoción de coloides que se lleva acabo de esta forma se le conoce como coagulación por barrido de floculos (2.4).

La coagulación por barrido de floculos no depende de la neutralización de la carga superficial, las condiciones para una coagulación óptima no corresponde a un potencial zeta mínimo; sin embargo si depende de la relación entre la solubilidad y el pH (2).

2.4.1.3 DESESTABILIZACION POR NEUTRALIZACION DE CARGA

Algunas especies químicas son capaces de ser adsorbidas en la superficie de las partículas coloidales. Si las especies adsorbidas tienen una carga opuesta a los coloides, tal adsorción causa la reducción del potencial superficial y se lleva acabo la desestabilización de la partícula coloidal (2).

La desestabilización por adsorción difiere de la compresión de la doble capa en tres aspectos:

- 1) mediante la neutralización de cargas se requiere de dosis mucho menores para efectuar la desestabilización de coloides.
- 2) la desestabilización por adsorción es estequiométrica, de tal forma que la dosis requerida de coagulante aumenta con la concentración de coloides. La cantidad de electrolito requerida para ejecutar la coagulación por compresión de la doble capa no es estequiométrica y es prácticamente independiente de la concentración coloidal.
- 3) Es posible sobredosificar un sistema con especies adsorbibles y ocasionar una reestabilización como resultado de la inversión de carga en la partícula coloidal. (2,11).

2.4.1.4 DESESTABILIZACION POR ADSORCION Y UNION INTERPARTICULAR

Los polímeros sintéticos se caracterizan por tener un amplio tamaño molecular y múltiples cargas eléctricas a lo largo de una cadena molecular de átomos de carbono (27).

Existen investigaciones donde se establece que tanto polímeros catiónicos como aniónicos son capaces de desestabilizar a partículas coloidales cargadas negativamente; estos resultados no pueden ser explicados mediante el modelo de la compresión de la doble capa, ni tampoco con el modelo de la neutralización de carga.

Ruerhrwein y Ward en el año de 1952 así como La Mer y Healy en 1963, desarrollaron la teoría química de la unión; la cual explica el comportamiento de estos compuestos poliméricos (2).

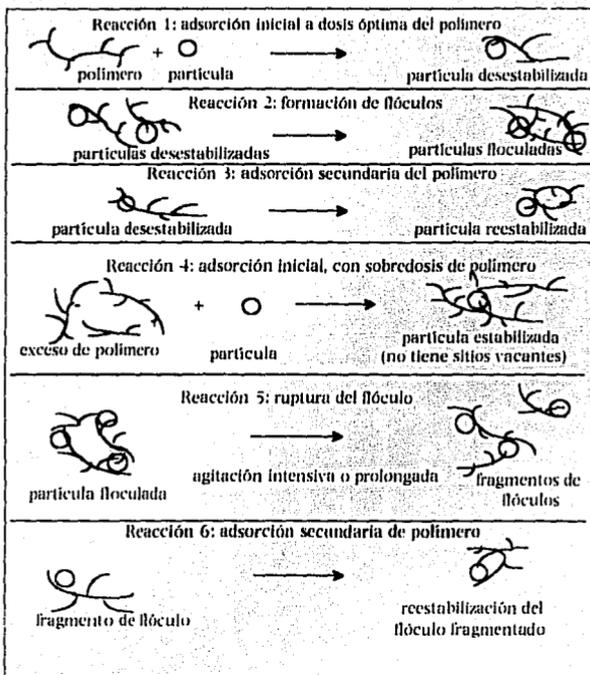
La teoría química de la unión propone que la molécula polimérica ataca a la partícula coloidal en uno o más sitios como se muestra en la figura N° 2.4.2 (reacción 1); la unión resulta de la atracción electrostática si el polímero y la partícula son de cargas opuestas o bien por la formación de puentes de hidrógeno si las cargas son similares (2.11,12).

La parte restante del polímero que no se une a otra partícula se extiende en el volumen de la solución y puede atacar mediante sus sitios vacantes a la superficie de otra partícula para formar puentes químicos como se observa en la reacción 2. Este tipo de unión conlleva a la formación de floculos teniendo características favorables de sedimentación (2.11).

Si el segmento extendido del polímero ataca nuevamente a la partícula original; se lleva acabo la reestabilización de la partícula como se muestra en la reacción 3 (2.11).

Puede presentarse una coagulación ineficiente cuando se adiciona una sobredosis de polímero ocasionando que los segmentos de éste saturan las superficies de las partículas coloidales, de tal forma que no existan sitios disponibles para la formación de puentes con segmentos de otra molécula de polímero; este efecto se presenta en la reacción 4 (2.11).

Una mezcla prolongada puede ocasionar la destrucción de puentes previamente formados y conducir a reestabilización de partículas como se observa en las reacciones 5 y 6 (2.11).



(2)

Figura 2.4.2

2.4.1.5 MECANISMO DE ACCION DE LOS POLIMEROS DERIVADOS DEL TETRAMETIL ETILEN AMONIO EN EL PROCESO DE DESESTABILIZACION DE COLOIDES.

El polimero en estudio es un polielectrólito de tipo catiónico como se muestra en la **figura 2.4.3**; este presenta grupos amonio cuaterio lo cual nos indica que la densidad de carga es prácticamente independiente del rango de pH (8.11,47).

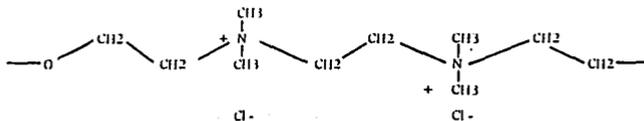


figura 2.4.3

Si las partículas y el polimero tienen cargas opuestas [partículas coloidales cargadas negativamente y polielectrólitos catiónicos] la atracción electrostática tiende a generar una fuerte adsorción (11).

Tomando en cuenta que las partículas son estabilizadas por repulsión eléctrica, la adsorción de polímeros cargados opuestamente reducen o eliminan la repulsión y ocasionan la floculación por esta razón. La reestabilización de partículas por exceso de polimero es el resultado de la inversión de carga (6,11).

La floculación mediante el uso de polímeros también puede explicarse debido a la formación de puentes químicos (mecanismo de adsorción y unión interparticular).

2.4.1.6 MECANISMO DE ACCION DEL SULFATO DE ALUMINIO EN EL FENOMENO DE DESESTABILIZACION DE LOS COLOIDES

Para comprender la capacidad que tiene el sulfato de aluminio en la desestabilización de las partículas coloidales, es necesario conocer las reacciones que se generan en diferentes medios.

Cuando las sales de aluminio se encuentran en un medio acuoso los iones de aluminio están asociados a las moléculas de agua de la siguiente forma:

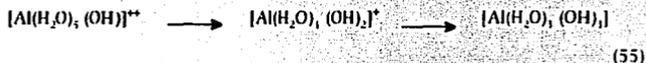


(55)

Los iones acuometálicos tales como el $Al(H_2O)_6^{3+}$ actúan como un ácido, es decir son donadores de protones, por lo que reaccionan con bases como se muestra a continuación:



El $[Al(H_2O)_5(OH)]^{2+}$ es un compuesto inestable y transitorio que se hidroliza reemplazando una molécula de H_2O por una de $(OH)^-$.



El producto final es un hidróxido de aluminio insoluble que precipita a cierto rango de pH y que puede no tener carga o tener una carga negativa $[Al(OH)_4]^-$. Stumm y Morgan (59) establecieron que las especies monoméricas (aquellas que contienen un solo ion de aluminio), se polimerizan reaccionando entre sí como se muestra a continuación:



Estas reacciones de polimerización continúan hasta formar compuestos tales como: $[Al_6(OH)_4]^{14+}$, $[Al_8(OH)_6]^{18+}$ y finalmente $Al(OH)_3 \cdot nH_2O$ ó $[Al(OH)_4]^-$ según el pH (2, 59).

Los flocúlos de aluminio se forman por la reacción con álcalis para formar hidróxido de aluminio el cual es prácticamente insoluble a valores de pH menores de 9.0 (4).



Se ha mencionado que de acuerdo al pH se forman diferentes productos de hidrólisis. A este respecto podrían establecerse tres zonas:

a) pH = 5 o menor la especie predominante la constituyen iones hidratados de aluminio $[Al(H_2O)_6]^{3+}$, $[Al(H_2O)_5(OH)]^{2+}$, $[Al(H_2O)_4(OH)_2]^+$. A pH = 4.0 más del 90% del $Al(III)$ presente en la solución está como: $[Al(H_2O)_6]^{3+}$.

b) a pH entre 5 y 6.5 predominan compuestos poliméricos como $[Al_3(OH)_4]^{5+}$, $[Al_6(OH)_6]^{14+}$, etc. El mecanismo de coagulación en este caso se debe a la adsorción de estas especies en la superficie de los coloides, con la consiguiente reducción del potencial ζ .

c) a pH mayor que 6.5 predomina el hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ (4, 59).

De acuerdo con Stumm y O'Melia, el aluminio trivalente ejecuta la desestabilización por dos mecanismos: 1) adsorción y neutralización de carga y 2) englobamiento por barrido de floculos (2).

2.5. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Los objetivos que persigue el tratamiento secundario son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables así como la estabilización de la materia orgánica.

En este tipo de tratamiento se emplean cultivos biológicos (algas, bacterias, hongos protozoos y rotíferos) quienes llevan a cabo la descomposición del material orgánico para transformarlo en compuestos más estables (24).

Los tratamientos secundarios pueden clasificarse según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos responsables del tratamiento de los residuos en:

2.5.1. Tratamientos aerobios

2.5.2. Tratamientos anaerobios

2.5.3. Tratamientos aerobios - anaerobios

2.5.1 TRATAMIENTOS AEROBIOS

2.5.1.1 Lodos Activados. Este proceso fue desarrollado por Andern y Lockett llamado así porque suponía la producción de una masa activada de microorganismos capaces de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o medios mecánicos.

Las bacterias son los microorganismos más importantes en este tratamiento, ya que estos descomponen la materia orgánica del afluente con el fin de obtener energía para llevar a cabo su metabolismo; utilizan los componentes orgánicos degradados para la formación de nuevas células. La **figura N° 2.5.1** muestra el ciclo en el que intervienen las bacterias aerobias, para llevar a cabo su metabolismo (24).

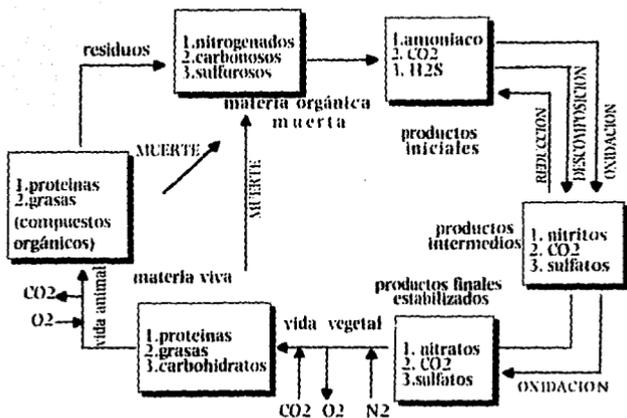


figura N° 2.5.1

Solo una parte del residuo original es oxidado a compuestos tales como: nitratos, sulfatos y dióxido de carbono el resto es sintetizado en materia celular.

El papel que desempeñan otros microorganismos como los protozoos es la de consumir bacterias y el de los rotíferos es el de consumir cualquier partícula biológica que no haya sedimentado.

Jenkins y Garrison establecen que en caso de aguas residuales domésticas tratadas mediante el proceso de lodos activados a temperaturas de 21 a 22 °C, se necesita un tiempo medio de retención celular de por lo menos 10 días para asegurar la nitrificación (22).

2.5.1.2. FILTROS PERCOLADORES O LECHOS DE OXIDACION BIOLÓGICA

Un filtro goteador es un dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales con cultivos biológicos. Ayuda a sedimentar a aquellos sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos.

Estos filtros están constituidos por 3 partes:

1) lecho o medio filtrante: para su construcción se utiliza: grava, piedra triturada, antracita y material inerte e insoluble en los constituyentes de las aguas residuales cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm de diámetro. La profundidad de este medio varía de 0.9 a 2.4 m. Este medio tiene como propósito el proporcionar una superficie en la cual se puedan formar lodos y películas gelatinosas donde las bacterias puedan crecer y reproducirse; cuenta con huecos por donde el aire puede circular.

2) sistema recolector: se emplea para retirar las aguas residuales que han pasado a través del filtro y proporciona ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones aerobias

3) distribuidores: se emplean para distribuir las aguas a tratar en el lecho mediante aspersores fijos o distribuidores giratorios (21,24).

La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. Suelen encontrarse otros animales como: gusanos y larvas de insectos .

Las bacterias facultativas son los microorganismos predominantes en el filtro percolador y junto con bacterias aerobias y anaerobias su misión es descomponer la materia orgánica del agua residual.

Las algas sólo pueden crecer en las capas superiores del filtro donde puede llegar la luz solar; la función de las algas es la del aporte de oxígeno a las aguas residuales en las horas diurnas.

Los protozoos que se pueden encontrar en el filtro son predominantemente del grupo ciliata y su función es la de controlar la población bacteriana (24).

2.5.1.3. LAGUNAS AIREADAS Y ESTANQUES DE ESTABILIZACION

Uno de los objetivos que ambos dispositivos persiguen es el de mantener el contenido de sólidos completamente mezclado a fin de evitar la sedimentación de estos.

Las lagunas aireadas utilizan aireación por medios mecánicos para proporcionar oxígeno a las bacterias.

En un estanque aerobio de estabilización el oxígeno es suministrado mediante la aireación superficial natural y el obtenido por la fotosíntesis de las algas. El oxígeno liberado por las algas a través del proceso de la fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono liberados en la degradación son a su vez utilizados por las algas. Esta relación cíclica simbiótica se muestra en la **figura 2.5.2** (21).

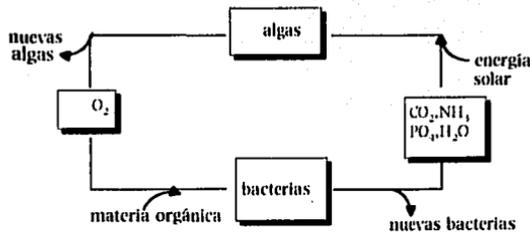


figura N° 2.5.2

A fin de lograr los mejores resultados posibles en los estanques aerobios, su contenido debe mezclarse periódicamente mediante bombas o alreadores de superficie con objeto de evitar la sedimentación de los sólidos en suspensión.

2.5.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO

El tratamiento anaerobio de aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular (21).

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia orgánica se dividen en dos grupos:

- 1) bacterias formadoras de ácidos (facultativas y anaerobias); se encargan de hidrolizar y fermentar compuestos orgánicos complejos a ácidos simples.
- 2) bacterias formadoras de metano (anaerobias); convierten los ácidos orgánicos y el anhídrido carbónico formados por el primer grupo de bacterias en gas metano.

El ciclo en el que participan las bacterias anaerobias se muestra en la **figura N° 2.5.3** (24).

2.5.2.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO DEL FANGO RESIDUAL

Se emplea un sistema reactor de mezcla completa y mínima recirculación celular, se aplica calor al reactor y esta mezcla se mantiene durante 10 - 30 días para que se lleve a cabo el proceso de digestión (21,24).

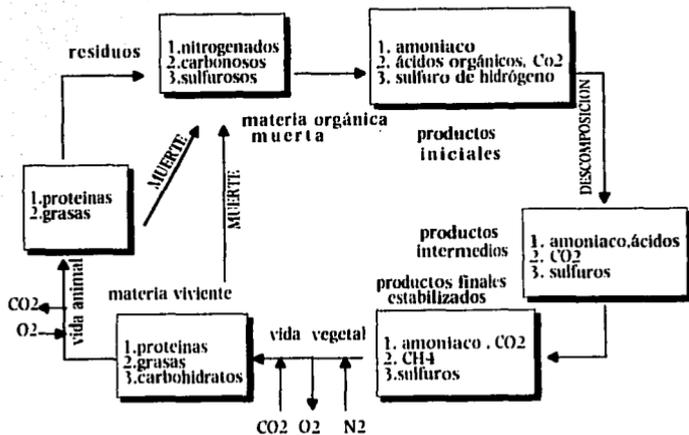


figura N° 2.5.3

2.5.2.2 ESTANQUES ANAEROBIOS

Estos estanques son anaerobios en toda su profundidad excepto en una capa extremadamente delgada en la superficie, se construyen con profundidades de hasta 6m. La estabilización se consigue mediante una conversión anaerobia de los residuos orgánicos a CO_2 , CH_4 , ácidos orgánicos y tejidos celulares (24).

2.5.3. TRATAMIENTO AEROBIO - ANAEROBIO

2.5.3.1 . ESTANQUES DE ESTABILIZACION AEROBIOS - ANAEROBIOS

Son estanques en los que se efectua la estabilización mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. Tales estanques tienen una capa aerobia superior y otra anaerobia inferior. El oxígeno se mantiene en la capa superior debido a la presencia de algas . La comunidad de bacterias en la capa superior es semejante a la de un estanque aerobio, mientras que los microorganismos en la parte inferior del estanque son bacterias anaerobias y facultativas.

2.6 TRATAMIENTOS TERCARIOS

A este tratamiento también se le conoce como de pulimiento, para ello se emplean mecanismos tales como:

2.6.1 MICROTAMIZADO

Se utilizan microtamices, los cuales se construyen sobre tambores rotativos; mediante este proceso se logra la eliminación de 70 - 90% de sólidos en suspensión.

2.6.2 FILTRACION

Se logra la eliminación de un 99 % de sólidos en suspensión; estos filtros pueden ser de arena, antracita y tierra de diatomeas (7.44).

2.6.3 ADSORCION

Es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido (adsorbente) como puede ser el carbón activo, arcillas y zeolitas.

Los agentes adsorbentes emplean la propiedad de adsorción que poseen para eliminar materia orgánica así como olores y sabores que producen los contaminantes de las aguas residuales (7.44).

2.6.4 INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es un proceso en el que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas pueden ser intercambiados por iones de una especie diferente. Para tal efecto se utilizan resinas de intercambio iónico como el estireno y el divinil benceno (44).

Existen dos tipos de intercambiadores iónicos:

1) Intercambiadores catiónicos. Separan los cationes presentes en una solución, intercambiándolos por iones sodio o hidrógeno. El mecanismo que se presenta se muestra en la siguientes ecuaciones:





R indica la resina y M^{2+} el catión que puede ser Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}

2) Intercambiadores aniónicos. Separan aniones de una solución por iones hidroxilo este fenómeno se muestra en la siguiente ecuación en donde A^- representa un anión.



De esta forma, aniones tales como SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} pueden eliminarse de una solución.

Las resinas utilizadas en este proceso pueden ser regeneradas con el uso de cloruro de sodio y ácido sulfúrico en el caso de intercambiadores catiónicos y con hidróxidos de sodio y amonio para intercambiadores aniónicos.

2.6.5 OSMOSIS INVERSA

Este efecto consiste en que si una solución concentrada se pone en contacto con una diluida a través de una membrana semipermeable y se aplica una presión mayor a la presión osmótica de la solución concentrada, las moléculas de agua presentes en la solución concentrada tienden a atravesar los poros de la membrana para dirigirse a la solución diluida (7.44).

De igual forma podemos suponer que el afluente de aguas residuales o aguas tratadas se asemeja a la solución concentrada.

Los materiales que se utilizan en la construcción de las membranas pueden ser: colodión, celofán, vidrio poroso, triacetato de celulosa y poliamida. El tamaño de poro de las membranas empleadas en el proceso de ósmosis inversa varía de 1 a 10 angstroms (7.44).

Es preciso hacer notar que los sólidos en suspensión taponan las membranas, por lo que este proceso podrá utilizarse en el tratamiento de las aguas residuales una vez que se hallan eliminado los sólidos suspendidos.

2.6.6 ELECTRODIALISIS

Para llevar acabo la electrodialisis se emplean membranas de resinas de intercambio iónico, las cuales son permeables sólo a especies iónicas y son a su vez selectivas de un tipo específico de iones. Existen dos tipos de membranas:

- 1) membranas catiónicas, las cuales poseen una carga fija negativa, por lo que permiten el paso de los cationes.
- 2) membranas aniónicas, tienen una carga fija positiva y permiten el paso de los aniones a través de sus poros.

Este proceso se efectúa bajo la acción de una corriente eléctrica. De tal forma que el ánodo y el cátodo se colocan en los extremos de la celda y la membrana que permite el paso de los cationes está colocada próxima al cátodo y la membrana que permite el paso de los aniones al ánodo (44).

Mediante este proceso se permite eliminar las especies ionizadas de un efluente.

2.6.7 DESINFECCION

Este proceso es utilizado para conseguir la destrucción de microorganismos patógenos. A continuación se citan los medios con los cuales se logra este efecto.

- a) Iones metálicos (Sales de cobre y plata)
- b) Alcalis y ácidos
- c) Agentes oxidantes
 1. Cloro
 2. Yodo
 3. Ozono
- d) Agentes químicos de superficie activa.

2.6.8 PROCESOS DE REDUCCION DE NUTRIENTES

Las razones por las cuales debe eliminarse el fósforo y el nitrógeno de las aguas residuales son las siguientes:

- 1) debido a que estos son elementos indispensables para el desarrollo tanto de microorganismos como de algas.
- 2) dado a su participación en procesos de eutroficación.

a) ELIMINACION DE FOSFORO

La eliminación del fósforo puede llevarse a cabo por medio de mecanismos tales como la precipitación química, procesos de lodos activos, ósmosis inversa y electrodialísis.

Los agentes más empleados en la eliminación del fósforo son Fe^{3+} (como cloruro férrico), Ca^{2+} (en forma de carbonato de calcio), Al^{3+} (en sulfato de aluminio). El mecanismo de eliminación del fósforo es mediante la precipitación en la forma de fosfatos de calcio, hierro o aluminio (27,44).



b) ELIMINACION DEL NITROGENO

El proceso encaminado a la eliminación del nitrógeno es el de nitrificación-desnitrificación.

1) nitrificación, consiste en convertir el amoníaco en nítritos y estos a su vez a nitratos; este proceso tiene lugar en un reactor biológico que deberá contener microorganismos del género Nitrosomonas y Nitrobacter los cuales llevan acabo la transformación del amoníaco (15.38).

2) desnitrificación, es un proceso anaerobio en el que microorganismos facultativos utilizan el oxígeno de los nítritos y nitratos produciendo gas nitrógeno (N_2) y óxido de nitrógeno (N_2O) (27.44).

2.7 TRATAMIENTO DE LOS LODOS

Los lodos de las aguas residuales son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados. El tratamiento de estos lodos tiene por objeto el disminuir el volumen del material que va a ser manejado eliminando una parte o toda la porción líquida contenida en los lodos y el descomponer la materia orgánica muy putrescible a compuestos orgánicos e inorgánicos relativamente estables o inertes.

Los métodos de tratamiento de los lodos se explican a continuación.

2.7.1. ESPESAMIENTO . Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos; para ello se emplea un tanque espesador a donde se bombean los lodos, el cual tiene una velocidad de derrame muy baja de manera que el exceso de agua fluye y los sólidos de los lodos se concentran en el fondo.

2.7.2. DIGESTION. La digestión de los lodos se lleva acabo en ausencia de oxígeno libre, por microorganismos anaerobios, este proceso se realiza en tres etapas:

1) Etapa de fermentación ácida. Los microorganismos metabolizan a los sólidos solubles o disueltos como los azúcares formando ácidos orgánicos y gases como anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico. El valor del pH disminuye de 6.8 - 5.1

2) período de digestión ácida, en el cual los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados son atacados y licuados con mucho menor rapidez. El pH aumenta de 5.1-6.8.

3) período de digestión intensa, estabilización y gasificación. El valor de pH aumenta desde 6.8 - 7.4 debido a la presencia del amoníaco y existe producción de gas metano (CH_4) (24).

2.7.3. LECHOS SECADORES DE ARENA. Estos están formados por una capa de grava de 30 cm de profundidad bajo una capa de arena de 15 a 22.5 cm de profundidad. El secado de los lodos se logra mediante la evaporación. El desprendimiento de gases hace que los sólidos floten, quedando abajo una capa de licor la cual se drena a través de la arena. El tiempo de secado varía de acuerdo a la cantidad de lodo y la temperatura desde 10 días hasta 4 semanas (21,24).

2.7.4. LAGUNAS DE LODOS. Son áreas excavadas en las que se dejan secar los lodos digeridos, la profundidad de estas puede variar desde 60 cm hasta 1.80 m. Los lodos digeridos se arrojan ahí con frecuencia echándolos sucesivamente hasta llenar la laguna (21).

2.7.5. ELUTRIACION. La operación consiste en mezclar íntimamente un sólido o una mezcla sólido-líquido con otro líquido con el fin de transferir ciertos componentes de aquél al líquido último.

Elutriación significa purificar por lavado. En el tratamiento de los lodos se extrae de estos, compuestos amínicos o amoniacales que se encuentran en cantidades excesivas mediante el uso de agua.

El proceso se lleva a cabo en tanques en los que los lodos y el líquido de lavado entran por extremos opuestos (21,24).

2.7.6. FILTRACION POR VACIO. Esta función consiste en reducir el contenido del fango, digerido o elutriado. Esta operación se efectúa en filtros cilíndricos, los cuales tienen un medio filtrante que puede ser una tela de algodón, lana, nylon, fibra de vidrio o de plástico o malla de acero inoxidable. Conforme el tambor vá girando, parte de su circunferencia está sometida a un vacío interno que atrae al fango hacia el medio filtrante. La disposición de las tuberías dentro del filtro permiten mantener la succión hasta el punto de separación de la torta, en cuyo momento se inyecta aire comprimido a través del medio filtrante para despegar la torta y separarla para su descarga (21, 27).

2.7.7. SECADO POR CALENTAMIENTO Se utiliza cuando se requiere que el contenido de humedad en los lodos sea de un 10 % aproximadamente. En este proceso se pueden emplear dispositivos tales como: hornos de secado. La temperatura media de secado no debe pasar de 370°C.

Los lodos obtenidos de esta forma pueden emplearse como fertilizantes (21).

2.7.8. INCINERACION. En toda incineración la combustión deberá mantenerse a una temperatura de 675 - 760 °C. Los lodos que van a ser incinerados deben secarse hasta un punto en el que estos puedan encenderse y quemarse. Para tal fin primero deberá emplearse el secado por calentamiento (21).

2.7.9. OXIDACION HUMEDA (PROCESO ZIMMERMAN). En este proceso los lodos se calientan a una temperatura de 82°C y se introduce aire en el reactor. Posteriormente esta mezcla se calienta a temperaturas cercanas a 260°C; ya que el grado de oxidación depende de la temperatura en el reactor (21).

CAPITULO. III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MUESTREO DE LAS AGUAS RESIDUALES

3.1.1. GENERALIDADES

AGUA RESIDUAL. Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (19,28,45).

DESCARGA. Es el conjunto de aguas residuales que se vierten, infiltran o depositan en un cuerpo receptor (28, 45).

MUESTRA. Es una porción, idealmente representativa, tomada de un cuerpo de agua específico, con objeto de examinar diversas características definidas (10).

3.1.2. TIPO DE MUESTRAS

MUESTRA SIMPLE INSTANTÁNEA. Es aquella muestra individual tomada en un corto periodo de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario, este tipo de muestra representará la concentración de los constituyentes en el agua en el momento en que se tomó la muestra (19,20,28).

MUESTRA COMPUESTA. Es la que resulta del mezclado de varias muestras simples instantáneas a intervalos de tiempo previamente seleccionados para un mismo sitio de muestreo, en volúmenes iguales o proporcionales al gasto (20,28).

3.1.3. TIPOS Y OBJETIVO DE LA RECOLECCION DE MUESTRA

TIPO	OBJETIVO
• muestra simple tomada antes y después de cada tratamiento	conocer la eficiencia de los tratamientos y las características generales del agua.
• muestras simples, muestras promedio o muestras compuestas	definir la calidad del agua en corrientes, determinar la calidad de aguas residuales municipales y/o industriales
• muestras compuestas	diseño de sistemas de tratamiento de aguas

(19, 20)

3.1.4. PRESERVACION DE LAS MUESTRAS

Preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras a una temperatura de 4°C.

3.1.5. INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LA EXTRACCION DE LA MUESTRA Y SU ANALISIS.

Se recomienda que sea el menor posible y que no exceda por más de tres días (25).

A continuación se muestra la tabla N° 3.1.4, la cual propone: el tipo de recipiente a utilizar, el método de preservación así como el tiempo máximo de espera entre muestreo y análisis para los parámetros que se analizaron en esta tesis.

TABLA N° 3.1.4

Parámetro	Tipo de recipiente	método de preservación	tiempo máximo de espera entre muestreo y análisis
demanda bioquímica de oxígeno	plástico o vidrio	mantener a 4°C	4 - 8 horas
demanda química de oxígeno	vidrio	mantener a 4°C H ₂ SO ₄ 1ml/L pH=2	3 días
microbiológico	plástico o vidrio estéril	1ml Na ₂ S ₂ O ₅ 5H ₂ O al 10 % mantener a 4°C	6 - 24 horas
grasas y aceites	vidrio	mantener a 4°C HCl 5ml/L	24 horas
sólidos sedimentables	plástico o vidrio	mantener a 4°C	24 horas
sólidos suspendidos totales	plástico o vidrio	mantener a 4°C	24 horas
pH	plástico o vidrio	mantener a 4°C	6 horas

3.2 MANEJO DE LA MUESTRA

Con objeto de conocer la calidad de las aguas residuales de la Cabecera municipal de Huixquilucan, el muestreo se llevó a cabo en el punto de descarga del colector general (la localización de este punto se indica en la figura N° 1.5 con un número 1 y dos círculos concéntricos) mediante el siguiente procedimiento.

3.2.1. PROCEDIMIENTO

- 2) El recipiente muestreador se enjuagó 3 veces con el agua residual antes de efectuar el muestreo.
- 3) El recipiente muestreador se introdujo en el centro de la descarga tomando un volumen de 8-10 Litros.

4) La muestra se transfirió del recipiente muestreador al contenedor de la muestra (bolsas de polietileno con cierre hermético) cuidando que la muestra siguiera siendo representativa.

5) La preservación de la muestra se llevó a cabo con baño de hielos una vez terminado el muestreo hasta el momento en que se efectuó el análisis (3 horas después)(28).

De esta forma se tomaron 10 muestras simples instantáneas con un horario de: 7:15 - 7:30 y se analizaron por triplicado parámetros tales como: sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y pH.

La metodología de cada uno de los análisis se describe a continuación:

3.3. ANALISIS PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE HUIXQUILICAN.

3.3.1 DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES

3.3.1.1 FUNDAMENTO

Los sólidos sedimentables son materiales que se depositan en el fondo de un recipiente en forma de cono (llamado Imhoff) durante 60 minutos, debido a la fuerza de la gravedad y al peso específico de los mismos sólidos (6,29,55).

3.3.1.2 PROCEDIMIENTO

1. Homogeneizar 1 litro de la muestra
2. llevar hasta el aforo en un cono de Imhoff
3. dejar reposar durante 45 minutos
4. agitar los lados de las paredes
5. dejar reposar durante 15 minutos más
6. tomar la lectura directamente en el cono

* nota: la lectura de sólidos sedimentables se realiza en mL. (25,29)

3.3.2 DETERMINACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

3.3.2.1. FUNDAMENTO.

Sólidos suspendidos totales, comprenden a los sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño no pase un filtro de fibra de vidrio (6, 35, 55).

3.3.2.2. MATERIAL.

- discos de microfibras de vidrio marca Whatman grado GF/B (grado de retención: 1 micra)
- crisoles Gooch

3.3.2.3. PROCEDIMIENTO

a) PREPARACION DEL MEDIO FILTRANTE

- 1) colocar un disco de fibra de vidrio en el crisol Gooch con la superficie rugosa hacia arriba
- 2) adaptar el crisol a un matraz Kitasato y lavar el disco con agua destilada
- 3) llevar el crisol a peso constante (550° C durante 1 hora)
- 4) sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador
- 5) determinar su masa (G)

b) PREPARACION DE LA MUESTRA

- 1) colocar el crisol con el disco en el aparato de filtración y aplicar vacío
- 2) humedecer el disco con agua destilada
- 3) filtrar 25 mL de la muestra a través del disco (previamente homogeneizada)
- 4) suspender el vacío
- 5) secar el crisol a 105° C durante 1 hora
- 6) sacar el crisol
- 7) dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su masa (G1)

3.3.2.4 CALCULOS

$$SST = \frac{G1 - G}{V} * 1000$$

SST = sólidos suspendidos totales

G = masa del crisol con el disco (mg)

G1 = masa del crisol con el residuo en (mg)

V = volumen de la muestra en (mL.) (25,35).

3.3.3 DETERMINACION DE pH

3.3.3.1 FUNDAMENTO

El potencial de Hidrógeno indica la intensidad ácida o alcalina de una solución; el pH de las aguas negras normalmente es de 7.0.

3.3.3.2 APARATOS Y REACTIVOS

- potenciómetro
- termómetro con un rango de -10 a 110°C
- solución amortiguadora con un pH = 7.00 ± 0.1
- solución amortiguadora con un pH = 10.00 ± 0.1

3.3.3.3 PROCEDIMIENTO

- 1) el electrodo se deben de humedecer.
- 2) el potenciómetro debe ser calibrado antes de cada serie de lecturas con las soluciones amortiguadoras.
- 3) una vez calibrado el potenciómetro se procede a enjuagar el electrodo con agua destilada
- 4) posteriormente se sumergen en la muestra y se registra la lectura en la escala correspondiente, previo ajuste de la temperatura.
- 5) después de cada lectura los electrodos se enjuagan con agua destilada.

3.3.4. DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES POR EL METODO DE EXTRACCION DE SOXHLET.

3.3.4.1 FUNDAMENTO

La muestra deberá ser acidificada para desaponificar las grasas y aceites en solución; las grasas y aceites son separadas por medio de un filtro con discos de tela muselina (o en su defecto manta de cielo) y suspensión de tierra de diatomeas; se extraen utilizando hexano como solvente y reflujo en el aparato de soxhlet. Posteriormente se evapora el solvente y el material extraído se cuantifica gravimetricamente (30).

3.3.4.2 MATERIAL Y EQUIPO

- aparato de extracción soxhlet, modelo 5000, serial N° 0381-165
- fuente de vacío
- mufla capaz de mantener una temperatura de 250°C
- balanza analítica tipo Mettler H78AR.
- estufa de vacío modelo 10, cat. N° 31545

3.3.4.3 MATERIALES

- embudo buchner de 11 cm de diámetro
- cartuchos de extracción (thimbles)
- papel filtro de 11 cm de diámetro
- discos de tela muselina de 11 cm de diámetro
- parrilla

3.3.4.5 REACTIVOS

- ácido clorhídrico (HCl)
- suspensión de tierras diatomeas
- hexano con punto de ebullición de 69°C

3.3.4.6 PREPARACION DE SOLUCIONES

- suspensión de tierra de diatomeas; pesar 10 gramos de tierra de diatomeas y aforar a 1000 ml.

3.3.4.7 PROCEDIMIENTO

1. Acidificar 1000 ml. de muestra con 5 ml. de HCl concentrado

2. Preparación del filtro:

- colocar el disco de tela muselina o manta de cielo en el embudo buchner
- encima de la manta de cielo colocar el papel filtro
- adaptar el embudo buchner al matraz Kitasato y este a la fuente de vacío
- humedecer la tela y el papel con agua destilada
- hacer pasar 100 ml. de suspensión de tierra de diatomeas a través de este filtro.

3. hacer pasar la muestra acidificada a través del filtro con ayuda del vacío
4. transferir el papel filtro y el disco de tela muselina al cartucho de extracción
5. colocar los cartuchos en un vaso de precipitados y llevarlos a sequedad en una estufa a 103°C durante 30 minutos
6. colocar el cartucho en el aparato de extracción soxhlet.
7. dejar en reflujo durante 4 horas a partir del primer ciclo.
8. una vez que ha terminado el tiempo de reflujo vaciar y escurrir el solvente que queda en el extractor al matraz
9. evaporar el solvente en baño maria
10. pasar el matraz a la estufa de vacío a 60°C y a una presión de 23 in Hg durante 30 minutos.
11. transcurrido este tiempo transferir el matraz a un desecador, dejar enfriar durante 1 hora y pesar el matraz con las grasas y aceites retenidas en él.

* nota: el matraz soxhlet donde se depositan las grasas y aceites deberá estar a peso constante (a una temperatura de 250°C durante 1 hora)

3.3.4.7 CALCULOS

$$(\text{mg/l.}) \text{ grasas y aceites} = \frac{(M_2 - M_1) \cdot 1000}{V}$$

M₁ = peso del matraz vacío a peso constante en (mg)

M₂ = peso del matraz con muestra en (mg)

V = volumen de la muestra en (ml.) (30. 52).

3.3.5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua (33).

3.2.5.1. FUNDAMENTO

El método Winkler se utiliza para la determinación de oxígeno disuelto en agua y aguas residuales. Las reacciones involucradas en las diferentes etapas de este método se representan a continuación (56).

1) el sulfato manganoso reacciona con el hidróxido de sodio en una mezcla de alcali - yoduro nítruro para producir un precipitado blanco de Hidróxido de manganeso.



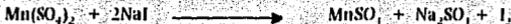
2) Si se obtiene este precipitado de color blanco, ello nos indica que no existe oxígeno disuelto. La formación de un precipitado de color café nos indica que el oxígeno está presente y reacciona con el hidróxido manganoso para producir el óxido básico mangánico (precipitado de color café).



3) después de la adición del ácido, este precipitado se disuelve dando lugar a la formación de sulfato mangánico.



4) Existe una reacción inmediata entre este compuesto y el yoduro de sodio adicionado previamente; el resultado típico es la coloración (amarilla) del agua debido a la formación de yodo.



5) La liberación cuantitativa de yodo por estas reacciones, es equivalente a la cantidad de oxígeno presente en la muestra. La cantidad de yodo es determinada por titulación con una solución estándar de tiosulfato de sodio.



3.3.5.1. MATERIALES

- botellas de vidrio de boca angosta de 300 mL de capacidad con tapa esmerilada preferentemente tipo DBO.
- pipetas de 5 y 10 mL.
- agitador magnético
- bureta de 50 mL.
- soporte universal
- probeta graduada
- pipetas volumétricas de 25 mL.

3.3.5.2 REACTIVOS

- tiosulfato de sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- hidróxido de sodio (NaOH)
- cloroformo (CHCl_3)
- yoduro de sodio (NaI)
- ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- sulfato de manganeso (MnSO_4)
- nitrato de sodio (NaN_3)
- almidón soluble

3.3.5.3 PREPARACION DE SOLUCIONES

1) solución de sulfato manganoso

disolver 480 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y aforar a 1 litro

* nota. esta solución debe de utilizarse siempre y cuando no de color azul con almidón al adicionarle solución ácida de KI

2) solución alcali yoduro nitrato

disolver 500 g de NaOH y 136 g de NaI aforar a 1000 mL. A esta solución agregar 10 gramos de NaN_3 disueltos en 40 mL de agua destilada.

3) solución indicadora de almidón

pesar 1 gramo de almidón y 10 mg de yoduro rojo mercuríco, hacer una pasta con los dos reactivos anteriormente citados y adicionar 100 mL de agua destilada y hervida durante 4 minutos.

* nota. dejar reposar durante un mínimo de 12 horas y usar únicamente el líquido sobrenadante

4) solución patrón de tiosulfato de sodio 1 N

pesar 248.20 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y aforar a 1000 mL con agua destilada

- 5) solución valorada de 0.025 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.025N
 diluir 25 ml. de la solución patrón y aforar a 1 litro
 *nota . 1 ml. de solución valorada de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.025N es equivalente a 2 mg de oxígeno disuelto.
- 6) solución de cloruro férrico
 disolver 0.23 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua y aforar a 1000 ml.
- 7) solución de sulfato de magnesio
 disolver 22.5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua y aforar a 1000 ml.
- 8) solución de cloruro de calcio
 disolver 27.5 g de CaCl_2 en agua y aforar a 1000 ml.

3.3.5-4 PROCEDIMIENTO

a) PREPARACION DEL AGUA DE DILUCION

- Por cada 1000 ml. de agua destilada adicionar 1 ml. de las siguientes soluciones: (cloruro de calcio, cloruro férrico, sulfato de magnesio, buffer de fosfatos pH = 7.0)
- aerear hasta completa saturación durante 30 minutos

b) PREPARACION DE LA MUESTRA

- tomar una alícuota de 2 ml. de muestra y aforar a 1000 ml. con agua de dilución. llenar las botellas tipo DBO cuidando que no se formen burbujas.

se deberán efectuar las siguientes determinaciones:

- determinación de oxígeno disuelto inicial en una de las botellas de DBO.
- determinación del oxígeno disuelto a los 5 días (33).

3.3.5.5 DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO

- agregar 2 ml. de sulfato manganoso, 2 ml. de alcali - yoduro nitrato (ambas adiciones se hacen por debajo de la superficie del líquido).

- colocar el tapón con cuidado para evitar burbujas dentro del frasco. agitar varias veces por inversión, dejar que sedimente el precipitado hasta aproximadamente 2/3 partes de la botella y destapar cuidadosamente el frasco, en seguida adicionar 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado dejando que este se escurra a través del cuello de la botella, tapar nuevamente y agitar hasta que la disolución sea completa.

- dejar reposar durante 5 minutos y tomar un volumen de 100 ml.; este se titula con solución de tiosulfato de sodio 0.025 N hasta un color amarillo paja.

- se adiciona 1 ml. de solución indicadora de almidón (da un color azul) , continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul; anotar los ml. de tiosulfato de sodio gastados (32).

3.3.5.6 CALCULOS

$$DBO, \text{ mg/L} = \frac{ODI - ODF}{f. \text{ dilución}}$$

ODI = oxígeno disuelto al inicio

ODF = oxígeno disuelto al final

* f. dilución = mL muestra/ mL de dilución = 2/1000

La concentración de oxígeno disuelto se expresa en: mg/L.

$$O_2 = \frac{a \cdot N \cdot 8000}{b}$$

a = mL de tiosulfato de sodio gastados

b = volumen de la muestra (98.7 mL / 100 mL)

N = Normalidad de tiosulfato de sodio

(32,33).

3.3.6. DETERMINACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO: Es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica oxidable contenida en el agua, bajo condiciones específicas.

3.3.6.1 FUNDAMENTO DE LA METODOLOGIA.

El método se basa en una oxidación energética de la materia orgánica y la inorgánica susceptible a oxidación en un medio ácido con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso de agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina (como indicador) (34).



La ecuación anterior representa la reacción que se lleva a cabo entre el dicromato de potasio y el sulfato ferroso amoniacal en presencia de ácido.

3.3.6.2 MATERIAL.

Tubos para cultivo
pipetas de 1.2 y 5 ml.

Horno capaz de mantener una temperatura de 150°C

3.3.6.3 PREPARACION DE SOLUCIONES

a) Solución de digestión de dicromato de potasio 0.0167 M

Añádase a 500 ml. de agua destilada 4.913 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ previamente secado a 103°C durante 2 horas, 167 mL de H_2SO_4 concentrado y 33.3 g de HgSO_4 . Disolver y enfriar a una temperatura ambiente posteriormente aforar a 1000 ml..

b) reactivo de ácido sulfúrico:

añádase 5.5 g de Ag_2SO_4 por cada kg de H_2SO_4 .

c) solución indicadora de ferroína:

disolver 1.485 g de 1.10 - fenantrolina monohidratado y 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y diluyase hasta 100 ml.

d) sulfato de amonio ferroso patrón para titulación 0.10M. Disuélvase 39.2 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (S.A.F) en agua destilada. Añádase 20 ml. de H_2SO_4 concentrado y diluir hasta 1000 ml..

* nota: La estandarización de esta solución se efectúa con una muestra de agua destilada, siguiendo el mismo procedimiento que en el caso de una muestra de agua residual.

Molaridad de la solución de S.A.F = $\frac{\text{volumen de solución titulada de } K_2Cr_2O_7 \text{ (ml.)} \times 0.10}{\text{volumen de S.A.F utilizada en la titulación. (ml.)}}$

3.3.6.4 PROCEDIMIENTO:

- 1.- Lavar los tubos de cultivo y los tapones con H_2SO_4 al 20% antes de usarlos por primera vez.
- 2.- Colocar la muestra diluida (2.5 ml.) en el tubo de cultivo y adicionar 1.5 ml. de solución de digestión. Vertir con cuidado 3.5 ml. de ácido sulfúrico-sulfato de plata, de tal forma que se forme una capa de ácido debajo de la solución de digestión de la muestra.
- 3.- Cubrir la boca de los tubos de cultivo con cinta de teflón y apretar el tapón a cada tubo de cultivo.
- 4.- Invertir los tubos varias veces para lograr una mezcla completa.
- 5.- Colocar los tubos en un horno precalentado a $150^\circ C$ y someter a reflujó (cerrado) durante 2 horas.
- 6.- Enfriar a temperatura ambiente, adicionar 2 gotas de indicador de ferroína y agitar rápidamente mientras se titula con S.A.F 0.10M. El punto final se observa cuando hay un cambio de color azul verdoso a café rojizo.

*nota: De igual forma se deberá someter a reflujó un blanco que debe contener los mismos reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra.

3.3.6.5 CALCULOS :

$$DQO = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{ml. de muestra}}$$

donde:

A = ml. de S.A.F utilizados para el blanco

B = ml. de S.A.F utilizados en la valoración de la muestra

M = molaridad de S.A.F

$$8000 = \frac{32 \times 3}{6 \times 2} \times 1000 \quad (25).$$

32 = peso molecular del oxígeno

6 = relación estequiométrica entre el dicromato y el sulfato ferroso amoniacal

3/2 = relación de oxidación entre el dicromato y el oxígeno

1000 = equivalente de l. en ml.

nota* La demanda química de oxígeno se expresa en (mg/l.)

3.4. PRUEBAS DE FLOCULACION DE LOS POLIMEROS DERIVADOS DEL TETRAMETIL ETILEN AMONIO Y DEL SULFATO DE ALUMINIO

3.4.1. CONDICIONES DE MUESTREO

Para establecer las condiciones de eficiencia de floculación del polímero, se tomó una muestra simple instantánea de 20 Litros en el punto de descarga del colector general (la localización de este punto se indica en la figura N° 1.5 con un número 1 y dos círculos concéntricos) con un horario de 7:15 - 7:30 hrs.

Para establecer las condiciones de eficiencia de floculación con el uso de sulfato de aluminio, se tomó una muestra instantánea de 30 litros de agua residual en el mismo punto de descarga el cual desemboca en el río San Martín con un horario de 7:15 - 7:30 hrs.

El procedimiento para tomar y preservar las muestras fué el mismo que se siguió para conocer la calidad de las aguas residuales.

3.4.2. PRUEBAS DE JARRAS

Las condiciones de floculación de los polímeros derivados del tetrametil etilen amonio se determinaron mediante pruebas de Jarras utilizando las concentraciones indicadas en la tabla 3.4.1; estas mismas concentraciones se analizaron a pH de 7,9 y 10.

De igual forma para determinar las condiciones de floculación con el uso del sulfato de aluminio se aplicaron pruebas de Jarras y las aguas residuales en estudio se sometieron a las concentraciones que se muestran en la tabla 3.4.2; los pHs analizados fueron: 6,7,9.

3.4.2.1 PROCEDIMIENTO

- 1) Homogeneizar la muestra y tomar una alícuota de 1000 ml. de ésta
- 2) agitar durante 1 minuto antes de adicionar el floculante
- 3) adicionar la cantidad correspondiente de floculante
- 4) agitar rápidamente para dispersar el floculante durante 15 minutos si se utiliza el polímero y 10 minutos para el sulfato de aluminio.
- 5) agitar lentamente para llevar a cabo la formación de flocúlos hasta completar 30 minutos.
- 6) vertir el contenido en conos tipo Imhoff
- 7) tomar la lectura de sólidos sedimentados después de 1 hora
- 8) determinar el grado de floculación en cada uno de los casos analizados (49)

3.4.2.2 REACTIVOS Y PREPARACION DE SOLUCIONES

a) el polímero derivado del tetrametil etilen amonio fué liofilizado y se preparó una solución de este con una concentración de: 8.0559 gramos / 100 ml. con agua destilada. De esta solución se tomó una alícuota de 10 ml. y se aforó a 100 ml. con objeto de tener una solución la cual tuviera una concentración de 8.0559 mg/ml.

TABLA 3.4.1

ppm	mg/l.	ml. a adicionar
0	0	0.0
25	25	3.1
50	50	6.2
100	100	12.4
200	200	24.8
400	400	49.6

b) sulfato de aluminio (pulverizado)

TABLA 3.4.2

ppm	mg/l.	g/l.
0	0	0.000
25	25	0.025
50	50	0.050
100	100	0.100
200	200	0.200
400	400	0.400
800	800	0.800
1600	1600	1.600

Grado de floculación (B) : es la relación de sólidos sedimentados sin utilizar floculante y con uso de floculantes.

$$B = \frac{\text{ml. de sólidos sedimentables obtenidos después del tratamiento con floculantes}}{\text{ml. de sólidos sedimentables sin uso de floculante}}$$

Para llevar acabo la comparación del efecto floculante de las sustancias en estudio se tomó una muestra simple instantánea de 20 litros, se aplicaron pruebas de Jarras bajo condiciones de mayor grado de floculación y se analizaron los parámetros referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL/1994.

3.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS MESOFÍLICOS AEROBIOS MEDIANTE EL USO DE LOS POLÍMEROS DERIVADOS DEL TETRAMETIL ETILEN AMONIO Y DEL SULFATO DE ALUMINIO.

Con objeto de determinar el porcentaje de reducción de microorganismos mesofílicos aerobios generado por el uso de los agentes floculantes en estudio, se tomó una muestra simple instantánea de 7 litros en el punto de descarga del colector general siguiendo las condiciones de muestreo y preservación indicadas para conocer la calidad de las aguas residuales.

Esta muestra a su vez se dividió en 5 partes:

- muestra sin utilizar floculante refrigerada a -4°C después de haberla tomado
- muestra a pH = 9.00 después de 1 hora de sedimentación
- muestra a pH = 10.00 después de 1 hora de sedimentación
- muestra tratada con 200 ppm de polímero y pH = 10.00
- muestra tratada con 800 ppm de sulfato de aluminio a pH = 9.00

En cada uno de los casos se determinó la cantidad de microorganismos mesofílicos aerobios como se indica a continuación.

CUENTA DE MICROORGANISMOS MESOFÍLICOS AEROBIOS

3.5.1 MATERIAL

- tubos con 9 ml. de buffer de fosfatos pH = 7.01
- pipetas estériles de 1 ml.

3.5.2 REACTIVOS

- agar para métodos estándar

fórmula para 1000 ml de agua destilada:

peptona de caseína	5.0 g
extracto de levadura	2.5 g
glucosa	1.0 g
agar	15.0 g

pH final 7.01 ± 0.1

Pesar 23.5 g de este agar y disolver en 1000 ml. de agua destilada y posteriormente esterilizar.

3.5.3 PROCEDIMIENTO

Efectuar las diluciones correspondientes de acuerdo al tipo de muestra

tipo de muestra	diluciones que se realizan	diluciones que se siembran
sin tratamiento	$10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ 10^{-6}	$10^{-5}, 10^{-6}$
después de 1 hora de sedimentación a pH = 9	$10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	$10^{-4}, 10^{-5}$
después de 1 hora de sedimentación a pH = 10	$10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	$10^{-4}, 10^{-5}$
muestra tratada con sulfato de aluminio	$10^{-1}, 10^{-2} \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}, 10^{-1}$
muestra tratada con polímero	$10^{-1}, 10^{-2}$	$10^{-1}, 10^{-2}$

* cada dilución a sembrar se efectuó por triplicado

- 1) 1 mL de la muestra diluida se coloca en una caja petri estéril
- 2) adicionar 20 mL de Agar cuenta estándar
- 3) homogenizar
- 4) incubar a 37° C durante 48 horas
- 5) observar si existe crecimiento y reportar N° de colonias/mL de muestra

3.5.4 CALCULOS

$$\text{N}^{\circ} \text{ de ufc/mL} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de colonias}}{\text{dilución}}$$

(36).

CAPITULO IV. RESULTADOS

RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALISIS DE LOS SIGUIENTES PARAMETROS, EN MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES.

TABLA N° 4.1

Tipo de análisis /n° de muestra	pH	sólidos sedimentables (mL/L)	sólidos suspendidos totales(mg/L)	grasas y aceites (mg/L)	demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	demanda química de oxígeno (mg/L)
1	8.07	17	341.33	127.36	1.080.65	4.096.64
2	8.52	16	317.33	185.23	979.35	7.810.69
3	7.98	8	293.33	97.15	675.4	4.365.35
4	7.02	11	377.33	73.06	1.080.75	6.283.77
5	7.4	16	414.67	112.47	810.55	4.461.82
6	7.82	10	396	81.15	641.75	8.925.31
7	8.79	17	445.33	150.7	1.046.9	3.510.4
8	7.51	19	468	77.5	911.8	5.683.2
9	7.76	10	250.67	160.1	540.4	7.799.4
10	7.49	8	306.67	112.87	878.1	5.711.13

Los datos anteriormente reportados son un promedio de los resultados obtenidos al efectuar el análisis por triplicado en cada uno de los casos, excepto en el caso de sólidos sedimentables, en donde debido a la forma de expresar los resultados estos datos se determinaron en base a la moda.

TABLA N° 4.2**PRUEBAS DE FLOCULACION CON EL
POLIMERO A pH 7.0**

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH final
0	9.0	1.0000	7.68
25	10.0	1.1111	7.78
50	11.0	1.2222	7.44
100	13.0	1.4444	7.37
200	15.0	1.6667	7.26
400	15.0	1.6667	7.33

TABLA N° 4.3

**PRUEBAS DE FLOCULACION CON EL
POLIMERO A pH 9.0**

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH final
0	9	1.0000	8.89
25	10.5	1.1579	8.88
50	12	1.3333	8.92
100	14	1.5555	8.88
200	13	1.4444	8.91
400	15	1.6666	8.92

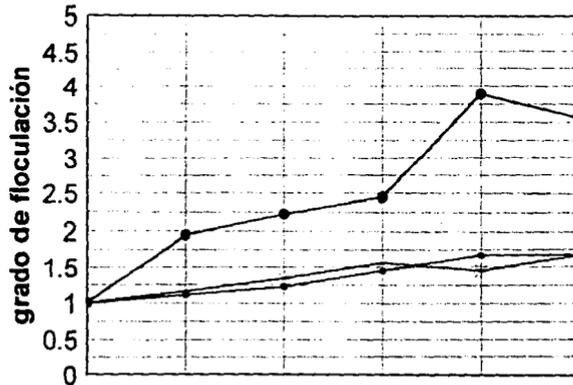
TABLA N° 4.4

**PRUEBAS DE FLOCULACION CON EL
POLIMERO A pH 10.0**

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH final
0	9.0	1.0000	9.89
25	17.0	1.9444	9.87
50	20.0	2.2222	9.87
100	22.0	2.4444	9.88
200	35.0	3.8888	9.82
400	32.0	3.5555	9.79

GRAFICA N° 4.1

GRAFICA DE GRADOS DE FLOCULACION CON EL POLIMERO



concentración (ppm):	0	25	50	100	200	400
pH = 7.0	1.0000	1.1111	1.2222	1.4444	1.6667	1.6667
pH = 9.0	1.0000	1.1579	1.3333	1.5555	1.4444	1.6666
pH = 10.0	1.0000	1.9444	2.2222	2.4444	3.8888	3.5555

TABLA N° 4.5

**PRUEBAS DE FLOCULACION CON SULFATO
DE ALUMINIO A pH 6**

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH final
0	17	1.0000	6.02
25	16	0.9412	5.98
50	19	1.1176	5.94
100	19	1.1176	5.88
200	22	1.2941	5.62
400	28	1.6471	5.11
800	32	1.8823	4.45
1600	26	1.5294	4.23

TABLA N° 4.6**PRUEBAS DE FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO
A pH 7.0**

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH
0	18	1.0000	7.01
25	22	1.2222	6.98
50	22	1.2222	6.88
100	24	1.3333	6.84
200	32	1.7777	6.72
400	36	2.0000	6.39
800	42	2.3333	5.60
1600	52	2.8888	4.65

TABLA N° 4.7

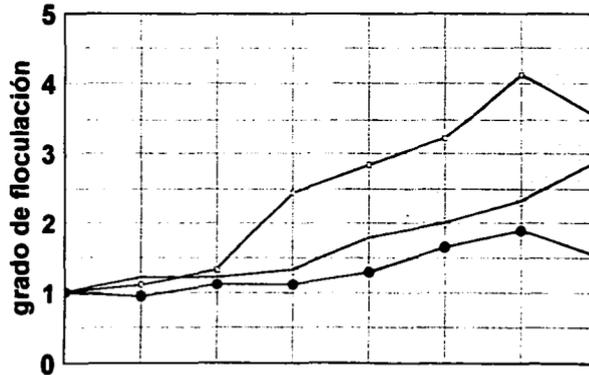
**PRUEBA DE FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO
A pH 9.0**

02

concentración (ppm)	sólidos sedimentables (mL/L)	grado de floculación	pH final
0	18	1.0000	8.81
25	20	1.1111	8.79
50	24	1.3333	8.69
100	44	2.4444	8.57
200	51	2.8333	7.48
400	58	3.2222	6.68
800	74	4.1111	6.34
1600	64	3.5555	5.06

GRAFICA N° 4.2

GRAFICA DE GRADOS DE FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO



concentración (ppm)	0	25	50	100	200	400	800	1600
pH = 6.0	1.0000	0.9412	1.1176	1.1176	1.2941	1.6471	1.8823	1.5294
pH = 7.0	1.0000	1.2222	1.2222	1.3333	1.7777	2.0000	2.3333	2.8888
pH = 9.0	1.0000	1.1111	1.3333	2.4444	2.8333	3.2222	4.1111	3.5555

FALLA DE ORIGEN

TABLA N° 4.8

RESULTADOS FISICOQUIMICOS , BIOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS CON TRATAMIENTO Y SIN TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

tipo de muestra	pH	sólidos sedimentables (ml.L)	sólidos suspendidos totales (mg L)	grasas y aceites (mg L)	microorganismos mesofílicos aerobios (ufc ml.)	DBO ₅ (mg L)	DQO (mg L)
agua residual	7.51	9	424	87.3	14.5x10 ⁶	709.2	5,020.8
agua residual a pH = 9.00	8.95	12	109.28	55.2	595x10 ⁶	540.31	3,347.2
agua residual a pH = 10.00	9.95	10	314.31	49.37	468.5x10 ⁶	540.35	3,904.5
agua residual tratada con el polímero	9.9	29	87.46	38.95	425	270.2	1,487.27
agua residual tratada con sulfato de aluminio	6.79	64	185.17	42.6	235.5x10 ⁶	371.55	2,604.01

- La cantidad de sólidos sedimentables expresados en la tabla anterior, son los generados debido al tratamiento con cada uno de los agentes floculantes.
- El grado de floculación por el uso del polímero es de 3.22.
- El grado de floculación al emplear el sulfato de aluminio resultó ser de 7.11.
- Las aguas decantadas después del tratamiento tanto con el sulfato de aluminio como con el polímero, cuentan con 0 ml/L de sólidos sedimentables.

CAPITULO V. ANALISIS DE RESULTADOS

De los resultados recopilados en la TABLA N° 4.1, se llevó a cabo un análisis estadístico para estimar la variación de datos en cada uno de los parámetros analizados en las aguas residuales de la Cabecera municipal de Huixquilucan.

A continuación se expresan los valores de desviación estándar de muestra, media aritmética, valores máximo y mínimo en cada uno de los parámetros de las muestras analizadas.

Sólidos sedimentables: $s = 4.18$ ml/L., media aritmética: 13.20 ml/L., valor máximo: 19 ml/L., valor mínimo: 8 ml/L.

Sólidos suspendidos totales: $s = 70.65$ mg/L., media aritmética: 361.06 mg/L., se presentó un máximo de: 468 mg/L. y un mínimo de: 250.67 mg/L.

Grasas y aceites: $s = 37.94$ mg/L., media aritmética: 117.76 mg/L., se encontró un valor máximo de: 185.23 y un mínimo de: 73.06 mg/L.

Demanda bioquímica de oxígeno: $s = 193.13$ mg/L., media aritmética: 864.56 mg/L., el valor máximo obtenido fué de: 1080.75 mg/L. y un mínimo de: 540.40 mg/L.

Demanda química de oxígeno: $s = 1826.17$ mg/L., media aritmética: 5864.80 mg/L., valor máximo: 8925.31 mg/L. y un mínimo de: 3510.40 mg/L.

pH: $s = 0.5314$, media aritmética: 7.84, valor máximo: 8.79, mínimo de: 7.02.

Las tablas N° 4.2, 4.3 y 4.4 muestran los resultados obtenidos al aplicar pruebas de jarras a diferentes concentraciones y pHs en una muestra de las aguas residuales en estudio, utilizando el polímero derivado de tetrametil etilen amonio como agente floculante. En la gráfica N° 4.1 puede observarse que el mayor grado de floculación se presentó a una concentración de 200 ppm de polímero y pH = 10, siendo este de 3.88.

En las tablas N° 4.5, 4.6 y 4.7 se expresan los resultados obtenidos al emplear sulfato de aluminio como agente floculante en pruebas de jarras a diferentes concentraciones y pHs. En la gráfica N° 4.2 se observa que el mayor grado de floculación (4.11) se presentó a una concentración de 800 ppm y pH = 9.0 con el uso del sulfato.

Una vez conocidas las condiciones de pH y concentración de floculante en las cuales se presentaba el mayor grado de floculación, se aplicaron estas condiciones a una muestra de agua residual y se analizaron los parámetros de la norma NOM-067-ECOL. -1994. Los resultados así obtenidos se muestran en la tabla N° 4.8.

Para determinar el porcentaje de reducción ejercido únicamente por el uso de cada agente floculante, se tomó en consideración los resultados obtenidos al someter la muestra de agua residual a pH de 9 y 10 y sedimentación durante 1 hora; tales datos también se encuentran reportados en la tabla N° 4.8.

A continuación se expresan los porcentajes de reducción en parámetros tales como: sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, demanda bioquímica y química de oxígeno en cada uno de los casos.

POLIMERO DERIVADO DEL TETRAMETHIL ETILEN AMONIO: sólidos suspendidos totales:72.17%, grasas y aceites:21.10%, demanda bioquímica de oxígeno:50%, demanda química de oxígeno: 61.90%.

SULFATO DE ALUMINIO: sólidos suspendidos totales: 40.07%, grasas y aceites:22.83%, demanda bioquímica de oxígeno:31.24%, demanda química de oxígeno: 22.23%.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos se puede decir que a mayor concentración de sólidos suspendidos totales hay una mayor demanda bioquímica y química de oxígeno.

No se puede considerar que exista una relación proporcional puesto que los sólidos suspendidos totales se encuentran integrados por sólidos sedimentables y partículas con un tamaño de diámetro mayor a 1 micra ya sea orgánicos o inorgánicos.

El pH de las muestras de aguas residuales analizadas se encuentran dentro de un rango de 7 - 9.

Al tratar las aguas residuales con el polímero, el pH del medio no se ve afectado en más de 0.5%, debido a que la densidad de carga del polímero no sufre alteraciones con el pH.

Sin embargo dado a las condiciones del tratamiento, el pH de las aguas así obtenidas (9.95) no cumplen con el rango de pH especificado en la norma (6-9).

Al tratar las aguas residuales con el sulfato de aluminio bajo condiciones de mayor eficiencia, el pH después del tratamiento resultó ser de 6.79; por lo que se encuentra dentro del rango especificado en la norma.

Mediante el análisis de microorganismos mesofílicos aerobios se determinó que la muestra contaba con 14.5×10^6 ufc/mL. En la tabla N° 4.8 se encuentra reportado el dato anteriormente citado así como los resultados que se mencionan a continuación:

Para conocer la reducción microbiológica lograda por el efecto exclusivamente del polímero bajo condiciones de mayor eficiencia de floculación se consideraron las 468.5×10^1 ufc/ml como el 100 %, resultado del efecto de sedimentación; las 425 ufc/ml, obtenidas después del tratamiento con el polímero representan el 9.07×10^{-1} %, por lo que el porcentaje de reducción es de 99.99 %.

El sulfato de aluminio logró una reducción microbiológica del 96.04 % en condiciones de mayor eficiencia de floculación.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

Con base a los análisis fisicoquímicos y bioquímicos aplicados en muestras de aguas residuales de la Cabecera municipal de Huixquilucan se concluye que la calidad de dicha agua no cumple con los límites máximos permisibles referidos en la norma NOM-067-ECOL-1994, excepto el parámetro del pH el cual si se encuentra dentro del rango establecido como permisible. Lo cual trae como consecuencia el desequilibrio ecológico del río San Martín y riesgos a la salud pública.

Las condiciones de eficiencia de floculación para utilizar el polímero derivado de tetrametil etilen amonio como agente floculante en las aguas residuales analizadas, resultaron ser de 200 ppm y pH igual a 10.

De igual forma, estas condiciones se presentaron a 800 ppm y pH igual a 9 con el uso de sulfato de aluminio.

Al efectuar el tratamiento con el polímero se encontró que este ejerció una mayor reducción de parámetros tales como: sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y grasas y aceites; en comparación con el porcentaje de reducción ejercido por el sulfato de aluminio.

La cantidad de lodos producidos al tratar las aguas residuales con el sulfato de aluminio es mayor a la cantidad de lodos generados con el uso del polímero. Lo cual implicaría un costo adicional en el caso del sulfato de aluminio para tratar éstos lodos.

Sin embargo el polímero derivado del tetrametil etilen amonio proporcionó una reducción microbiológica del 99.99 % en las aguas residuales en estudio y el sulfato de aluminio ejerció una reducción del 96.04 %.

Con el estudio realizado mediante este trabajo se observó que bajo condiciones de eficiencia de floculación, tanto el polímero como el sulfato de aluminio no fueron suficientes para que las aguas obtenidas después del tratamiento cumplieran con los límites permisibles de descarga.

El tratamiento de las aguas residuales en estudio generaría beneficios ecológicos, estéticos así como a la salud pública.

Para descargar las aguas residuales se requiere de una serie de tratamientos. La aplicación de éstos depende de: Las características del agua residual, costo del tratamiento, recursos económicos, espacios en los que se pueda llevar a cabo los tratamientos, calidad del efluente de salida.

ANEXOS

La norma oficial NOM- 067- ECOL-1994, publicada el 6 de enero de 1994 en el diario oficial, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

Las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal deben de cumplir con las especificaciones que se indican en las tablas 1 y 2.

TABLA 1
Para centros poblacionales hasta de 80.000 habitantes

PARAMETRO	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
sólidos suspendidos totales (mg/L)	100	150
grasas y aceites (mg/L)	20	30
sólidos sedimentables(mL/L)	1.0	2.0
demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100	150
demanda química de oxígeno (mg/L)	200	250

TABLA 2
Para centros de poblaciones mayores de 80.000 habitantes

PARAMETRO	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	80
grasas y aceites(mg/L)	10	20
sólidos sedimentables(mg/L)	1.0	1.2
demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	50	80
demanda química de oxígeno (mg/L)	100	160

El municipio de Huixquilucan cuenta con 131,926 habitantes y en la cabecera municipal hay 6,150 habitantes. De acuerdo a la información presentada en la tabla N° 1.6.1 (60).

Tomando en consideración los datos anteriormente citados, las descargas de aguas residuales provenientes del sistema de drenaje y alcantarillado de la cabecera municipal de Huixquilucan deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 de esta norma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Baca Gutiérrez, Amada Esperanza. Año para el estudio de la historia de México. Monografía del municipio de Huixquilucan. 1a ed. México. 1993. 198 pp.
- 2) Benefield D. Larry; Judkins F. Joseph; Wead L. Barron. Process chemistry for water and wastewater treatment. Ed. Prentice Hall . INC. U.S.A. 1982. pp. 211- 235.
- 3) Cáceres López, Oscar. Desinfección del agua. 1ª ed. Organización Mundial de la Salud. México. 1990.
- 4) Cox R. Charles. Laboratory control of water purification. 2ª ed. Ed. American Book-Knickerbocker press. INC. New York. U.S.A. 1951.
- 5) Cruz Fernández, Francisco. Control de sólidos totales en tratamiento de aguas residuales. TESIS. Universidad La Salle. México. 1991.
- 6) Culp I. Russell; Mark Wesner, George. et.al. Hand Book of advanced wastewater treatment. 2ª ed. Ed Van Nostrand Reinhold company. U.S.A. 1978.
- 7) Eckenfelder J. Wesley; Musterman, John. Alternative technologies for the biological treatment of food processing wastewaters. Curso/seminario. Tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria. México. 1992.
- 8) Edzwald K. James. Cationic Polyelectrolytes in water treatment. U.S.A. 1985. pp. 171-180 .
- 9) Estado de México. Panorámica socio-económica en 1975. Gobernador constitucional del Estado. Dr. Jorge Jiménez Cantú. Secretario general de gobierno. C.P. Juan Mouroy Pérez. Oficial Mayor de gobierno. Lic. José Antonio Muñoz Samoya. México. 1976.
- 10) García Lascuráin, Miryam. Elaboración de un manual de técnicas fisicoquímicas y biológicas para el análisis de aguas residuales en la industria alimenticia. TESIS. Universidad La Salle. México. 1995.
- 11) Gregory, Jhon. The action of polymeric flocculants. Department of civil engineering. University college London. U.S.A. 1985. pp. 125 - 137.
- 12) Hernández Muñoz, Aurelio. Depuración de aguas residuales . Ed. Colección Señor. Nº 9. Madrid. España. 1992. 394 pp.
- 13) Huitrón Rosete, Abel . Bando Municipal. H. Ayuntamiento constitucional de Huixquilucan. Estado de México. 1994 - 1996. 1ª ed. México. 1994. 34 pp.

- 14) Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente 1989-1990. Comisión Nacional de ecología de México. México. 1991.
- 15) Jawetz, Ernest, et.al. Manual de microbiología médica. Ed. El manual moderno. México. 1975.
- 16) Laguna José; Piña Carza Enrique. Bioquímica. 3º ed. Ed. La Prensa Médica Mexicana, S.A de C.V. México. 1988.
- 17) Los municipios del estado de México. Secretaría de gobernación y gobierno del Estado de México. Centro Estatal de estudios municipales del Estado de México. Colección: enciclopedia de los municipios de México. México. 1990.
- 18) Mangravitte J, Francis; Galick Chemlick, Paul, et. al. Organic polymeric flocculants: effect on charge density, molecular weight and particle concentration. U.S.A. 1985. pp. 139 - 158.
- 19) Manual del curso de análisis de agua y aguas de desecho. Secretaría de recursos hidráulicos. Centro de investigación y entrenamiento. México. 1974.
- 20) Manual de técnicas de muestreo para aguas y aguas residuales. Secretaria de desarrollo urbano y ecología . Subsecretaría de ecología. Dirección general de prevención y control de la contaminación ambiental. México.
- 21) Manual de tratamiento de aguas negras. Ed Limusa, S.A. de C.V. Departamento de sanidad del estado de Nueva York. México. 1988. 303 pp.
- 22) Maskew Fair, Gordon; Geyer, Jhon Charles; Okun, Daniel Alexander. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. 4º reimpresión. Ed. Limusa. México. 1981.
- 23) Means Vong, Yunny. Tratamientos químicos y electroquímicos. Curso/seminario. Tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria. México.1992.
- 24) Metcalf, Eddy. Tratamiento y depuración de las aguas residuales . 2º ed. Ed Labor, S.A. Madrid . España. 1981.
- 25) Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Ed. Diaz de Santos. Madrid. España. 1989.
- 26) Moudgil M, Brij; Scheiner J, Bernard. Flocculation and dewatering. Ed. Engineering foundation. U.S.A.1989.
- 27) Nalco chemical company. Manual del agua. su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Ed. Mc Graw-Hill. México. 1989 . To I.

- 28) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-3-1980. Aguas residuales. Muestreo.
- 29) Norma Oficial Mexicana .NOM-AA-4-1977. Determinación de sólidos sedimentables en agua.
- 30) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-5-1980. Determinación de grasas y aceites.
- 31) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-8-1980. Determinación de pH.
- 32) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-12-1980. Determinación de oxígeno disuelto.
- 33) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-28-1981. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.
- 34) Norma oficial mexicana. NOM-AA-30-1981. Determinación de la demanda química de oxígeno.
- 35) Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-34-1981. Análisis de agua. Determinación de sólidos.
- 36) Norma Oficial Mexicana NOM-I-253-1977. Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias.
- 37) Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.
- 38) Pelczar, J.M. et.al. Microbiología. Ed. Mc. Graw Hill. 4º ed. México. 1983.
- 39) Plano de conjunto. Secretaria de planeación. Dirección del sistema Estatal de Información. Sector Recursos Hidráulicos. Municipio de Huixquilucan. Estado de Mexico. México. 1987.
- 40) Plano de Infraestructura existente. pozos, tanques, rebombos y líneas de interconexión. Gobierno del Estado de México. Secretaria de Desarrollo urbano y obras públicas. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Municipio de Huixquilucan . Ing. Manuel Ortiz, Ing. Lazaro Alaniz Cabrera. México.
- 41) Plano de planta general. Sistema de drenaje y alcantarillado. Dirección general de servicios públicos. Arq. Genaro Torres Q. Arq. Pablo García Velazquez. México. 1993.
- 42) Plano urbano del municipio de Huixquilucan . Arq. Genaro Torres Quintana .Arq. Pablo García Velazquez. Huixquilucan Estado de México. 1993.
- 43) Powell, S.T. Manual de aguas para usos industriales. ediciones ciencia y tecnología S.A. México.1988.
- 44) Ramalho R.S. Tratamiento de aguas residuales. 2º ed. Ed. Reverté, S.A. España. 1991.

- 45) Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Diario oficial. Miércoles 12 de enero de 1994.
- 46) Rodier, J; Kovacsik, G. et.al. Análisis de las aguas. Ed. Omega, S.A. Barcelona , España. 1981.
- 47) Rodríguez Aguilar, Hector Manuel. Obtención de polímeros derivados de sales cuaternarias de amonio. TESIS. Universidad La Salle. México. 1992.
- 48) Schroeder D. Edward. Water and wastewater treatment. Ed. Mc. Graw Hill. INC. U.S.A. 1977. pp. 135 - 151.
- 49) Scott Hopkins, Edward; Bean L. Elwood. Water purification control . 4ª ed. Ed. Robert E. Krieger Publishing Company. U.S.A. 1979 . pp. 25 - 42 .
- 50) Síntesis Geográfica del Estado de México. Secretaria de programación y presupuesto. SPP. Anexo Cartográfico. México. 1981.
- 51) Somasundaran, P. Ramachandran.R . Mineral solution equilibria and the role of it on polymer flocculation. U.S.A. 1985.
- 52) Standar methods for the examination of water and wastewater . 12ª ed. American public Health. Association, INC. New York. U.S.A. 1965.
- 53) Stumm,Werner; Morgan, James. Aquatic chemistry an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 2ª ed. U.S.A. 1987.
- 54) Thornton Morrison; Neilson Boyd, Robert. Química Orgánica. 5ª ed. Ed. Addison - Wesley. Iberoamericana. U.S.A. 1990.
- 55) Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. División de protección de la salud ambiental. Centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Organización Panamericana de la salud. 2ª reimpresión. Perú. 1981.
- 56) Theroux R, Frank. Eldridge F, Edward. et.al. Laboratory manual for chemical and bacterial analysis of water and sewage. 3ª ed. New York. London. 1943.
- 57) Voet, D; Voet,J.: Lipids and Membrans in Biochemistry. Wiley and Sons. New York, U.S.A. 1990. pp: 272 - 279.
- 58) Watty Margarita. Química Analítica. 3ª ed. Ed. Alhambra Mexicana. México. 1989.
- 59) Weber J, Walter. Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos. Ed. Reverté, S.A. España. 1979.
- 60) XI Censo General de la población y vivienda. Estado de México. INEGI. México. 1990.