

*Universidad de Guadalajara*

---

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS DE  
RIEGO EN EL MUNICIPIO DE ZAMORA, MICH.**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO AGRONOMO**  
P R E S E N T A N  
**JOSE GUADALUPE VILLA PIÑA**  
**GUSTAVO ANDRES LOZANO LEON**  
**HECTOR RAMON SOTO TRILLO**

**GUADALAJARA, JAL. AGOSTO DE 1993**



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION ESCOLARID  
EXPEDIENTE  
NUMERO 0447/93

25 de marzo de 1993

C. PROFESORES:

ING. HUMBERTO MARTINEZ HERREJON, DIRECTOR  
ING. JOSE MA. AYALA RAMIREZ, ASESOR  
ING. GREGORIO NIEVES HERNANDEZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE RIEGO EN EL  
MUNICIPIO DE ZAMORA, MICH.

presentado por el (los) PASANTE (ES) JOSE GUADALUPE VILLA PIÑA, GUSTAVO ANDRES  
LOZANO LEON Y HECTOR RAMON SOTO TRILLO

han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su ---  
Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto, me es grato  
reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
" PIENSA Y TRABAJA "  
EL SECRETARIO

M.C. SALVADOR HENA MUNGUIA.

ryr\*

mam



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección ESCOLARIDAD

Expediente .....

Número 0447/93

25 de marzo de 1993

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (ios) Pasante (es)  
JOSE GUADALUPE VILLA PIÑA, GUSTAVO ANDRES LOZANO LEON Y  
HECTOR RAMON SOTO TRILLO

titulada:

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS DE RIEGO EN EL  
MUNICIPIO DE ZAMORA, MICH.

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. HUMBERTO MARTINEZ HERREJON

ASESOR

ING. JOSE MA. AYALA RAMIREZ

ASESOR

ING. GILBERTO NIEVES HERNANDEZ

## A G R A D E C I M I E N T O

A LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA:

Por darnos la oportunidad de ser profesionistas.

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA:

Por habernos proporcionado los conocimientos, para poder desempeñarnos eficientemente en nuestra carrera profesional.

A NUESTRO DIRECTOR Y ASESORES DE TESIS:

Porque sin su ayuda, no podríamos cristalizar nuestro deseo de efectuar nuestro trabajo de tesis.

# I N D I C E

RESUMEN .....		I
I	<b>INTRODUCCION</b> .....	1
	1.1 Objetivos .....	3
2	<b>ANTECEDENTES</b> .....	5
	2.1 Del Agua en General y su Degradación .....	5
	2.1.1 Fuentes de contaminación .....	6
	2.1.2 Impurezas corrientes en el agua .....	9
	2.1.2.1 Impurezas en suspensión .....	9
	2.1.2.2 Impurezas disueltas .....	9
	2.1.3 Origen de las aguas negras y desechos .....	11
	2.1.3.1 Desechos humanos y animales .....	11
	2.1.3.2 Desperdicios caseros .....	12
	2.1.3.3 Corrientes pluviales .....	12
	2.1.3.4 Infiltración de aguas subterráneas .....	13
	2.1.3.5 Desechos industriales .....	13
	2.1.4 Aspecto y composición de las aguas negras .....	14
	2.1.4.1 Aguas negras frescas .....	14
	2.1.4.2 Aguas negras sépticas .....	14
	2.1.4.3 Aguas negras estabilizadas .....	15
	2.2 Enfermedades que puede transmitir el agua y problemática, en general, de las aguas residuales .....	15
	2.2.1 Envenenamiento por el plomo .....	16
	2.2.2 Fluor .....	17
	2.2.3 Radioactividad en el agua .....	17
	2.2.4 Bacterias en el agua .....	18
	2.2.4.1 <u>Aerobacter aerogenes</u> .....	19
	2.2.4.2 <u>Aerobacter clocae</u> .....	19
	2.2.4.3 <u>Escherichia coli</u> .....	19
	2.2.5 Turbidez .....	19
	2.2.6 Color .....	20
	2.2.7 Alcalinidad y acidez .....	21
	2.2.8 Potencial Hidrógeno .....	21
	2.2.9 Impurezas minerales solubles .....	22
	2.3 Marco legal sobre descargas .....	23
	2.3.1 Artículos que fundamentan las actividades encaminadas al otorgamiento, modificación y revocación de los permisos de descarga de aguas residuales .....	23
	2.3.1.1 Ley de Aguas Nacionales .....	23
	2.3.1.2 Ley Federal de Derechos .....	27
	2.3.1.3 Reglamento Interior de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos .....	28
	2.4 Alternativas de tratamientos tradicionales .....	31
	2.4.1 Control básico del proceso .....	33
	2.4.2 Filtros biológicos .....	36
	2.4.3 Sedimentos activados, aireación con burbujas .....	41

	2.4.4 Sedimentos activados, aireación mecánica.....	45
	2.4.5 Instrumentación de un digestor anaeróbico.....	46
	2.4.6 Medición del flujo de gas de un digestor.....	50
	2.4.7 Cloración.....	52
2.5	Sistemas naturales.....	55
	2.5.1 Tipos de sistemas naturales.....	56
	2.5.1.1 Sistemas basados en suelo.....	56
	2.5.1.1.1 Sistema de tasa lenta de apli-	
	cación.....	57
	2.5.1.1.2 Sistema de rápida infiltra-	
	ción.....	58
	2.5.1.1.3 Sistema de flujo superficial.	59
	2.5.1.2 Sistemas acuáticos.....	59
	2.5.1.2.1 Lagunas de estabilización...	60
	2.5.1.2.2 Sistemas acuáticos con plan-	
	tas flotantes.....	61
	2.5.1.2.3 Sistemas de áreas inundadas -	
	con plantas.....	62
3	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	81
	3.1 Características agroclimáticas de la región.....	81
	3.1.1 Localización y ubicación.....	81
	3.1.2 Orografía.....	81
	3.1.3 Suelos.....	82
	3.1.4 Vegetación.....	82
	3.1.5 Fauna.....	83
	3.2 Métodos.....	84
	3.2.1 Toma de muestra.....	84
	3.2.1.1 Determinación de dureza de Calcio.....	85
	3.2.1.2 Determinación de dureza total.....	85
	3.2.1.3 Determinación de dureza al Magnesio...	86
	3.2.1.4 Determinación de cloruros.....	86
	3.2.1.5 Determinación de sulfatos.....	86
	3.2.1.6 Demanda química de Oxígeno (DQO).....	87
	3.2.1.7 Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)....	90
	3.2.1.8 Determinación de Oxígeno consumido....	93
	3.2.1.9 Determinación de sólidos sedimentales..	95
	3.2.1.10 Determinación de alcalinidad.....	96
	3.2.1.11 Determinación de acidez.....	96
4	<b>RESULTADOS.....</b>	97
5	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	102
6	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	104
7	<b>APENDICE.....</b>	106

## RESUMEN

Cuando uno observa los datos, respecto a la contaminación en México, referida de manera específica a la ocasionada por las aguas residuales ( $80 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) en nuestro país, se plantea una infinidad de preguntas, respecto a su veracidad así como sobre el manejo y reuso que se da a éstas. Aunque es evidente suponer los deterioros al medio ambiente ocasionados por esta causa a la par de los grandes problemas de salud que se tienen como consecuencia de esta contaminación. Ante esto, las acciones dadas para el saneamiento de las mismas ha quedado en buenas intenciones y a tres años del anuncio en la ciudad de San Luis Potosí, del Ejecutivo Federal, del Programa del Agua Limpia, la evaluación que a nivel general se puede hacer se refiere exclusivamente al tratamiento con cloro de los sistemas de agua potable municipales, con la finalidad de evitar la propagación del cólera; acción que ha sido insuficiente y que no ha podido evitar la presencia de este mal en diversos estados del país. Tan sólo en Michoacán existen más de doscientos casos oficiales registrados, de tal forma los excrementos de éstos, junto con los de más de trescientos enfermos del Estado de México, entre otros, vierten y/o vertieron

en la cuenca del Lerma que es la más poblada del país, y por ende, la más contaminada (tan solo la ciudad de Zamora vierte un gasto de 1 m<sup>3</sup>/seg de cauce del Río Duero, afluente del Lerma). Si paralelo a lo anterior, analiza uno el dato dado por SEDESOL a la revista "Epoca", del 24 de mayo del presente año, en donde se dan valores para las aguas marinas en el área de Puerto Vallarta entre 37 y 62 millones de coliformes fecales por 100 ml de agua, en contraste con los dos mil permisibles en esta área.

Por lo anterior, podemos suponer que el problema no se ha cuantificado en su verdadera dimensión, ya que en principio sí imaginamos que en México existen 100 ciudades medianas como Zamora. Tan sólo éstas están generando 100 m<sup>3</sup>/seg, dato que no coincide con las cifras oficiales. Así también los altos índices presentados en aguas marinas, nos dan pauta a suponer que no se deben, en el caso de Vallarta a la contaminación exclusiva del Puerto, sino que estos niveles se dan también por el acarreo de los ríos, seguramente.

Puede parecer que este tema no tiene nada que ver con los Ingenieros Agrónomos; sin embargo, tanto las restricciones a cultivos regados con aguas residuales, como a algunos sistemas de tratamiento de vanguardia para aguas residuales expuestos en este trabajo de tesis nos dan una justificación importante de participación,

por lo que la propuesta del presente análisis es la de ofrecer las alternativas de tratamiento naturales revisadas en este trabajo, ya que de acuerdo con la literatura referida, éstas tienen capacidad para la remoción de hasta 240 mg/lt de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y en las aguas analizadas se tienen como valores más altos, valores de 212.09 y que para las aguas de reuso sean diseñadas por Ingenieros Agrónomos, previa valoración experimental por parte de alguna institución de investigación, o bien, por planteles de educación superior de agronomía en coordinación con las facultades de ingeniería química, con el fin de generar información más referida a nuestra calidad de agua. Así como la valoración de la vegetación local que se ajuste a este tipo de tratamiento.

Una vez que los aspectos de carácter legal en torno a descargas residuales, queda bien definido en la nueva Ley Nacional de Aguas, y de acuerdo con los cuales se pagarán multas importantes si no se garantizan estándares de calidad que posibiliten su uso posterior; y pensando que las plantas de tratamiento de carácter macro no resuelven el problema actual, como ejemplo tenemos en referencia a la misma revista, citada anteriormente (Epoca, del 24 de mayo de 1993), que en la ciudad de Puerto Vallarta la Planta de Tratamiento Municipal sólo trata 2 millones 900 mil m<sup>3</sup> de los 5 millones 200 mil

m<sup>3</sup> generados por la población. Reflexión que nos indica la problemática de tratar la totalidad de los volúmenes producidos en México, dada la característica de la infraestructura de alcantarillado que no fue diseñada para encausar las aguas en un punto específico y ahí se le diera un tratamiento; sino que por el contrario, las descargas obedecen más a esquemas domiciliarios de descarga sobre cauces de manera directa, por lo que se hace indispensable pensar en la instalación paralela de plantas pequeñas de tratamiento, como la que se incluye en este estudio, que junto a las que se instalarán en las cabeceras municipales, resuelvan el problema en un 100%.

## 1. INTRODUCCION

De acuerdo con la política actual del Gobierno Federal, de desarrollar todas las actividades económicas dentro de ámbitos de sanidad ambiental y referidos de manera más específica al agua. En Octubre de 1991 se dio un acuerdo intersecretarial (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Secretaría de Salud y la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) que dio como resultado la Norma Técnica Ecológica No. 033, y en la que se restringía el riego de hortalizas y productos del campo que se consumieran frescos con aguas residuales, ya fueran mezcladas o crudas, estableciendo valores o rangos de contenidos de coliformes totales y fecales límites para el establecimiento de los cultivos, de acuerdo a su consumo; así también en apego al Programa de Agua Limpia, que considera tratar 40 de los 80 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales en un plazo de tres años, para lo cual se dieron apoyos importantes para el saneamiento de las cuencas diversas del país.

De acuerdo con lo anterior, la cuenca del Río Lerma es, sin duda la más poblada, concentrándose en este espacio más del 40% de la población total del país con sus imaginables consecuencias. Así, en este espacio, en la actualidad,

la realización de proyectos de plantas de tratamiento de aguas municipales tiene una gran importancia.

En esta cuenca que es la tributaria principal de la Laguna de Chapala, se tienen aportaciones irregulares a través del tiempo. Aunque la aportación de aguas negras no es tan irregular por su naturaleza, siendo constante en cuanto a su característica y su crecimiento en aportación en correlación con el aumento de la población.

Por lo anterior, podemos deducir que aunque se hagan esfuerzos importantes para el saneamiento de las cuencas del país, éstos tendrán un costo elevado y con los niveles actuales económicos, o más bien, con la característica de apertura del país que requiere apoyos en otros rubros de la economía, tales como la generación de empleos, apoyo a la pequeña industria, etc. Deben contemplarse proyectos de apoyo a las megaplantas que se instalan actualmente en los centros de población medianos, que permitan abaratar costos y hacer más efectivo el saneamiento referido.

Otro aspecto importante es, que ante la necesidad de lograr avances en materia de saneamiento no se tienen los elementos técnicos más novedosos y que en otros países se están implementando, ocasionando con ésto que los proyectos que se realizan no sean los más adecuados y que se estén gastando recursos importantes sin un análisis: beneficio-costos, en base a elementos más efectivos.

## 1.1 Objetivos

Sin duda, uno de los aspectos que en la actualidad limitan o regulan parte de las relaciones comerciales con nuestros principales socios son los referentes a saneamiento ambiental, razón por la cual se tiene que poner especial interés en estos aspectos. Dentro de este contexto, la contaminación de nuestras aguas, en general, es una limitante para la realización de nuestros productos en términos de comercio exterior. Por ésto y otras causas, se implementó el Programa de Agua Limpia, por parte del ejecutivo federal en la ciudad de San Luis Potosí en septiembre de 1990. Con este Programa se esperaba tratar el 50% del volumen de aguas negras del país, estimado en 80 millones de  $m^3$  (en esas fechas), en un lapso de tres años. Una vez que este plazo se ha cumplido, no se han logrado los avances esperados, debido en gran parte, a que la problemática pensada fue rebasada por una realidad en la que las estimaciones de volúmenes estaban muy por abajo de los reales producidos; a la vez que la problemática específica de descargas con que cuenta nuestro país. De acuerdo con ésto último, la canalización de volúmenes a puntos aislados de tratamiento, donde se ubiquen plantas de tratamiento de dimensión macro, deja espacios importantes fuera de este esquema con lo que se abate la contaminación de manera definitiva, ni aún de manera significativa. Lo anterior se debe concretamen

te al gran porcentaje de descargas domiciliarias, dadas de manera anárquica sobre los cauces naturales de ríos y otros cuerpos de agua, principalmente dentro de la cuenca del Río Lerma que es por muchas causas la más importante del país.

El objetivo del presente trabajo, de acuerdo con lo señalado, es el de proponer en base a los resultados obtenidos, previa caracterización en su impacto por la ubicación en tiempo y espacio, modelos de tratamiento naturales que han sido probados en otros países con gran éxito en caudales o gastos similares a los producidos a nivel de comunidades de aguas residuales y que conjuntamente diseñados a los proyectos de plantas municipales serán la posibilidad auténtica para tratar a un 100% las aguas generadas por las poblaciones circunscritas dentro de la cuenca del Río Lerma.

El estudio referido se realiza dentro o para la población de Zamora, donde por su característica de ciudad media, resultaría factible extrapolar los resultados refiriéndolos a las poblaciones y gastos de aguas residuales generados en el resto de la cuenca.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Del Agua en General y su Degradación

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada en forma de nieve, lluvia o granizo. Parte de esta precipitación regresa a la superficie de agua y otra cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación y la otra corre hacia los océanos, por conducto de corrientes de lagos, y el resto penetra en la tierra. El almacenamiento de agua para suministro se realiza mediante la intersección de corrientes de superficie o por la captación del agua que se infiltra en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores de mucha importancia en la formación de depósitos de agua, abastecimientos y en la purificación de esta agua. Las variaciones de estos factores afectan no sólo la cantidad de agua aprovechable, sino también su calidad.

La calidad del agua depende de su origen e historia. Las aguas naturales muestran, en general, las calidades más características de sus fuentes.

Sin embargo, muchos factores producen variaciones en la calidad de las aguas obtenidas en las mismas fuentes. Estas variaciones provienen de la oportunidad que tiene el agua de absorber sustancias en forma de soluciones o tenerlas en suspensión. Las condiciones climatológicas, geográficas y geológicas son factores importantes para determinar la calidad del agua.

### 2.1.1 fuentes de contaminación

Las principales fuentes pueden ser clasificadas en cuatro grandes grupos:

- 1.- Urbanas
- 2.- Industriales
- 3.- Agrícolas
- 4.- Naturales

FUENTES URBANAS.- Las concentraciones urbanas de población, constituyen una de las mayores fuentes de contaminación, debido a los grandes volúmenes de aguas residuales domésticas producidas, las cuales, en su mayor parte, son colectadas por los sistemas de alcantarillado.

FUENTES INDUSTRIALES.- Actualmente muchas industrias descargan sus aguas residuales sin tratamiento alguno a los cuerpos receptores; pero, en virtud a lo establecido para el control de la contaminación de las aguas, todas

las industrias tendrán que tratar en algún lado sus descargas.

Por regla general, tienen un sistema de drenaje particular, lo que facilita su conducción hasta el sistema de tratamiento.

FUENTES AGRICOLAS.- Como consecuencia del uso en la actividad agrícola de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes, para el control de plagas y aumento de la productividad, las aguas de retorno agrícola arrastran restos de estos compuestos hasta los cuerpos receptores. Esto, aunado a los arrastres de las excretas animales por los escurrimientos pluviales, produce una fuente considerable de contaminación, que altera los sistemas acuáticos. Cuando los restos de fertilizantes llegan a los cuerpos de agua, se provoca un indeseable crecimiento de plantas acuáticas.

FUENTES NATURALES.- Aunada a la contaminación producida por las aguas residuales de las diferentes actividades del hombre, está otro tipo de contaminación debida a causas naturales, tales como: arrastres de la materia orgánica muerta por los escurrimientos del agua pluvial, así como los productos inorgánicos producidos por la erosión de los suelos.

Las aguas residuales de una población pueden ser tratadas con el fin de producir agua para proceso indus-

trial, o bien, para el mismo uso municipal (común o potable); asimismo, agua con un contenido máximo autorizado de contaminantes para ser arrojado a la red de alcantarillado, río, lago, etc. Esto último tiene como objeto, proteger la calidad de las aguas receptoras, para que puedan llevar a cabo su ciclo de autopurificación.

El agua absolutamente pura no se encuentra en la naturaleza. Cuando el vapor de agua se condensa en el aire y cae, absorbe polvo y disuelve oxígeno, anhídrido carbónico y gases. En la superficie del suelo recoge fango y otras materias orgánicas. Serán pocas las bacterias que recoge el agua del aire, pero de la superficie del suelo captará muchas más al correr por torrentes y ríos. También disolverá pequeñas cantidades de los productos de descomposición de la materia orgánica, tales como: nitratos, nitritos, amoniaco y anhídrido carbónico. Las aguas superficiales retienen todas estas impurezas por tiempo indefinido, pero la parte de lluvia que se infiltra en el suelo pierde por filtración el fango y las bacterias que lleva en suspensión; así como, probablemente, los productos de descomposición, por combinación química, o por la acción de los vegetales. La pérdida de estas impurezas se contrarresta; sin embargo, por la disolución de varias sales que el agua al circular encontrará a su paso, dependiendo su cuantía y carácter de la longitud del recorrido subterráneo y de la composición química

de los estratos atravesados. La presencia de ciertas bacterias en el agua dan origen a enfermedades, determinadas algas producen olores desagradables; ciertas sales en grandes cantidades ocasionan sabores desagradables, dureza, corrosividad; y, algunos gases son origen de olores y corrosividad. Los productos químicos originados por descomposición no se presenta en cantidad suficiente para producir preocupaciones.

Un agua potable es la que se puede beber sin peligro, de sabor agradable y útil para usos domésticos. Un agua contaminada es la que contiene microorganismos y sustancias químicas de origen industrial u otro, de modo que resulta inadecuada para su empleo normal.

## 2.1.2 impurezas corrientes en el agua

### 2.1.2.1 impurezas en suspensión

Bacterias.- Algunas originan enfermedades.

Algas, protozoarios.- Olor, color, turbidez.

Fango.- Opacidad o turbidez.

### 2.1.2.2 impurezas disueltas

a) SALES:

- Calcio y Magnesio:

Bicarbonato.- Alcalinidad, dureza.

Carbonato.- Alcalinidad, dureza.

Sulfato.- Dureza.

Cloruro.- Dureza, corrosión de caleras.

- Sodio:

Bicarbonato.- Alcalinidad, efecto de ablandamiento.

Carbonato.- Alcalinidad, efecto de ablandamiento.

Sulfato.- Formación de espuma en los generadores -  
de vapor.

Fluoruro.- Actúa sobre el esmalte de los dientes.

Cloruro.- Gusto.

b) OXIDO DE HIERRO:

- Gusto, agua rojiza, corrosión de metales, dureza.

c) MANGANESO:

- Aguas negruscas o pardas.

d) COLORANTES VEGETALES:

- Color, acidez.

e) GASES:

- Oxígeno.- Corrosión de metales.

- Anhídrido carbónico.- Corrosión de metales,  
acidez.

- Sulfhídrico.- Olor a huevos podridos.

- Nitrógeno.- Corrosión de metales, acidez.

Las aguas negras son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido impurificadas por diversos usos.

Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedentes de casas-habitación, edificios comerciales e instituciones junto con los provenientes de establecimientos industriales y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación, que puedan agregarse.

### **2.1.3 origen de las aguas negras y desechos**

Las aguas negras pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales.
- b) Desperdicios caseros.
- c) Corrientes pluviales.
- d) Infiltración de agua subterránea.
- e) Desechos industriales.

#### **2.1.3.1 desechos humanos y animales**

Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas negras, mediante los sistemas hidráulicos de los retretes; y, en cierto grado, de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas. Estos

desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública, porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz, constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas negras para su disposición.

### **2.1.3.2 desperdicios caseros**

Proceden de las manipulaciones domésticas del lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza, preparación de los alimentos y lavado de loza.

Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente contienen agentes espumantes que son de uso común en labores domésticas.

Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas.

### **2.1.3.3 corrientes pluviales**

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ellas lavan la superficie al escurrir, arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras.

Las aguas pluviales provenientes de zonas cubiertas tienen importancia especial en lo que respecta al volumen

de aguas negras que van a tratarse, cuando se conectan las alcantarillas de las que se supone debe excluirse, lo cual se hace frecuentemente a pesar de no estar permitido por la Ley.

#### 2.1.3.4 infiltración de aguas subterráneas

El drenaje o alcantarillado, que es el disponible para coleccionar las aguas negras, y en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de aguas subterráneas. Las juntas de las secciones de tubería no quedan perfectamente ajustadas y es factible que se infiltre el agua subterránea.

#### 2.1.3.5 desechos industriales

En muchas regiones se conectan los desechos industriales, junto con los otros componentes de aguas negras de la población para su tratamiento y eliminación finales.

Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren en la disposición final de las aguas negras de la comunidad o que dañan las alcantarillas u otras estructuras; por esta razón, no deben agregarse directamente a las aguas negras, sino que deben recibir un tratamiento

preliminar o eliminarlos, valiéndose de medios especiales para separarlas.

#### **2.1.4 aspecto y composición de las aguas negras**

Son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión.

La extensión y naturaleza de la descomposición bacteriana de los sólidos de las aguas negras, ha dado origen a términos que describen las condiciones o estados de las aguas negras:

##### **2.1.4.1 aguas negras frescas**

Como su nombre lo indica, son las aguas negras en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado los sólidos al agua, conteniendo el oxígeno disuelto presente en el agua, y permanece fresca mientras lo contengan. Estas aguas son turbias con sólidos en suspensión o flotando, de color grisáceo y tienen un olor mohoso y no desagradable.

##### **2.1.4.2 aguas negras sépticas**

El oxígeno se ha agotado y ha entrado en descomposición

anaerobia. Los sólidos son producción de ácido sulfhídrico y otros gases. Estas aguas se caracterizan por su color negrusco, olor fétido y desagradable y por tener sólidos suspendidos y flotantes, de color negro.

#### 2.1.4.3 aguas negras estabilizadas

Son en las que los sólidos han sido descompuestos, hasta sólidos relativamente inertes, que no están sujetos a descomposiciones ulteriores o que son descompuestos muy lentamente. El oxígeno disuelto está nuevamente presente por haber sido absorbido de la atmósfera, su olor es ligero o nulo y tiene pocos sólidos suspendidos.

## 2.2 Enfermedades que puede transmitir el Agua y problemática, en general, de las aguas residuales

Las enfermedades más importantes transmisibles, por las aguas contaminadas, son:

- a) Tifus
- b) Paratifus
- c) Disenteria
- d) Gastroenteritis
- e) Hepatitis infecciosa
- f) Esquistosomiasis
- g) Cólera asiático

Otras enfermedades se producen indudablemente en forma ocasional por el agua infectada, tales como el antrax, la tuberculosis y varios gusanos parásitos e infecciones.

Si no se disponen cuidadosamente los desagües o se tratan inadecuadamente las aguas residuales, pueden contaminar el agua subterránea, poniendo en peligro los suministros de los pozos, ríos y lagos. Pueden sufrir las consecuencias hasta llegar a contaminar las aguas superficiales.

### 2.2.1 envenenamiento por el plomo

El plomo se halla más en las aguas que han estado en contacto con tuberías de este metal. Como el plomo es un veneno acumulativo, el consumo habitual de estas aguas dar lugar a envenenamiento. Esto puede ocurrir en las aguas que contienen más de 0.3 a 0.5 ppm de plomo.

Las aguas apropiadas para absorber plomo son blandas o ácidas, incluyéndose entre ellas el agua de lluvia que ordinariamente tiene un alto contenido de anhídrido carbónico, así como las aguas de pantano con ácidos orgánicos y anhídrido carbónico.

Los interiores de los depósitos metálicos no deben pintarse con pintura de plomo. Debido a la corrosión

de los tubos galvanizados, así como de bronce y latón. El Zinc y el Cobre pueden pasar también el agua, pero no hay datos de que sea liberada una cantidad suficiente para producir envenenamiento de los consumidores del agua.

### 2.2.2 fluor

Ciertas aguas contienen flururos en forma de impurezas. Cuando se muestran en cantidades superiores a 1.5 ppm, y especialmente de 3 ppm con flúor y si esta agua se consume durante el periodo de formación de la dentición permanente, tiene lugar una combinación química que destruye el esmalte de los dientes y da como resultado una dentadura descolorida y moteada.

### 2.2.3 radioactividad en el agua

Una de las consecuencias de las explosiones de los ingenios nucleares es la diseminación de partículas de polvo que se han vuelto radioactivas por bombardeos de neutrones o por absorción de productos de fisión. Las aguas pueden contaminarse también por líquidos residuales procedentes de laboratorios de investigación, laboratorios que emplean radioactividad (radioisótopos), reactores nucleares refrigerados por agua, instalaciones de procesos

de los combustibles de los reactores y por la minería y preparación del uranio.

#### 2.2.4 bacterias en el agua

En el agua se encuentran muchas bacterias. La mayor parte, de las cuales carecen de importancia sanitaria, algunas de ellas son indicadoras de polución, pero inofensivas, unas pocas son patógenas.

Ordinariamente las aguas subterráneas no contienen muchas bacterias, puesto que los efectos de la filtración natural; la exposición a circunstancias desfavorables y el elemento tiempo elimina la mayor parte de ellas, incluyendo las patógenas. Algunos pozos poco profundos pueden presentar cantidades considerables, pero esto se debe frecuentemente a la falta de precaución de la construcción de los pozos. Los sueños a los acuíferos que presentan fallas o grietas pueden permitir que pasen a los pozos o a las fuentes aguas insuficientemente filtradas. Las aguas de los pozos profundos pueden contener muy pocas bacterias, pero raramente son completamente estériles.

Los cocobacilos, son de extraordinaria importancia, entre los cuales se incluyen los más importantes:

#### 2.2.4.1 Aerobacter aerogenes

Generalmente se encuentra en plantas y semillas y granos, en el suelo, en las heces fecales del hombre y de los animales.

#### 2.2.4.2 Aerobacter cloacae

También se encuentran en los suelos y en las heces.

#### 2.2.4.3 Escherichia coli

Habita normalmente en el intestino del hombre y de los animales y que se elimina con los excrementos.

Los cocobacilos, son por lo tanto, indicadores muy útiles de la polusi n, ya que demuestran que el agua ha estado en contacto con el suelo y las plantas y que ha sido polusionada por residuos.

#### 2.2.5 turbidez

Las aguas turbias son las que contienen materias visibles en suspensión, aunque el enturbiamiento puede prevenir de la presencia de algas o de otros organismos, vivos o muertos. En general, se debe al barro y a la

arcilla.

La intensidad y carácter del enturbiamiento dependerá del tipo de suelo, sobre el cual el agua haya circulado y de la velocidad de la misma. Cuando el agua llega a detenerse, las partículas más grandes y pesadas se posan más rápidamente, mientras que las más ligeras y las más finamente divididas se sedimentan con gran lentitud. Las aguas subterráneas son ordinariamente claras, debido a que las materias que producen el enturbiamiento han sido retenidos por filtración en su movimiento lento a través del terreno. El reducido enturbiamiento que produce el fango, puede ser o dar lugar a un enturbiamiento de origen orgánico, relativamente intenso, lo que explica por qué la presencia de una ligera turbidez inorgánica permite que la luz solar penetre libremente en el agua y que con ello estimule el crecimiento de las algas.

#### 2.2.6 color

El color se debe a materias en solución o en forma de coloides, lo que ha de diferenciarse del enturbiamiento a que puede dar lugar a un color aparente. El color verdadero que se presenta en las aguas de los abastecimientos se debe, en general, a la presencia de colorantes procedentes de la descomposición de vegetales. El color del agua, no solamente tiene el inconveniente de dar motivo a que

los consumidores hagan objeciones sobre su aspecto, sino que puede manchar la ropa y ser perjudicial para los procesos industriales.

### 2.2.7 alcalinidad y acidez

Como las sales alcalinas se encuentran muy frecuentemente en los terrenos, la mayor parte de las aguas son más o menos alcalinas. Las impurezas que dan origen más corrientemente a la alcalinidad son los carbonatos y bicarbonatos de Calcio, Sodio y Magnesio.

La causa más normal de la acidez en un agua es el anhídrido carbónico, que puede hallarse presente de un modo natural, o bien, como resultado de las reacciones de los productos químicos, coagulantes empleados en el tratamiento de la misma. De hecho, se halla bajo la forma de ácido carbónico, puesto que el anhídrido se une al agua para formar ácido carbónico.

### 2.2.8 potencial hidrógeno

La alcalinidad y acidez del agua, aguas residuales y fango, se expresa frecuentemente en funciones de pH que simboliza la concentración de iones de Hidrógeno. Mediante los ensayos del pH determina la intensidad del

ácido o álcali contenidos en un agua, mientras los análisis químicos relativos a la acidez y a la alcalinidad, permiten conocer las cantidades del ácido o álcali presente. Un ion es un átomo o un grupo de átomos que lleva una carga eléctrica. Ciertos compuestos en solución se ionizan, o sea, se subdividen en iones cargados eléctricamente. La acidez se debe a la presencia de iones de Hidrógeno ( $H^+$ ) cargados positivamente y la alcalinidad de los iones hidróxilo ( $OH^-$ ) cargados negativamente. Un agua que contenga carbonato sódico u otra materia alcalina, tendrá muchos iones  $H^+$ . Cuanto más fuerte es un ácido, mayor es la disociación de iones  $H^+$  y cuanto más fuerte es un álcali, mayor es la concentración de iones  $OH^-$  y menor la de los iones  $H^+$ .

### 2.2.9 impurezas minerales solubles

Todas las aguas naturales contienen más o menos materias minerales en solución. Debe notarse que los compuestos de Calcio y Magnesio endurecen el agua, característica que se pone de manifiesto por la neutralización del jabón. La dureza de carbonatos la producen los carbonatos, bicarbonatos de calcio y magnesio. Esta dureza puede ser temporal o permanente.

## 2.3 Marco Legal sobre Descargas

### 2.3.1 Artículos que fundamentan las actividades encaminadas al otorgamiento, modificación y revocación de los permisos de descarga de aguas residuales

#### 2.3.1.1 Ley de Aguas Nacionales

ARTICULO 88.- Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.

"La Comisión", mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o por usos podrá sustituir el permiso de descarga de aguas residuales por un simple aviso.

El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

ARTICULO 89.- "La Comisión", para otorgar los permisos deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales a que se refieren las normas oficiales mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requiera cumplir la descarga.

"La Comisión" deberá contestar la solicitud de permiso de descarga presentada en los términos del reglamento, dentro de los sesenta días hábiles siguientes a su admisión. En caso de que no se conteste dentro de dicho lapso, estando debidamente integrado el expediente, el solicitante podrá efectuar las descargas en los términos solicitados, lo cual no será obstáculo para que "La Comisión" expida el permiso de descarga al que se deberá sujetar el permisionario cuando se considere que se deben de fijar condiciones particulares de descarga y requisitos distintos contenidos a la solicitud.

Cuando el vertido o descarga de las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua potable o a la salud pública. "La Comisión" lo comunicará a la autoridad competente y dictará la negativa del permiso correspondiente o su inmediata revocación y, en su caso, la suspensión del suministro del agua, en tanto se eliminan estas anomalías.

ARTICULO 90.- "La Comisión" en los términos del reglamento expedirá el permiso de descarga de aguas residuales, en el cual se deberá precisar por lo menos la ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad, el régimen al que se sujetará para prevenir y controlar la contaminación del agua y la duración del permiso.

Cuando las descargas de aguas residuales se originen por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, los

permisos de descarga tendrán, por lo menos, la misma duración que el título de concesión o asignación correspondiente y se sujetarán a las mismas reglas sobre la prórroga o terminación de aquellas.

Los permisos de descarga se podrán transmitir en los términos del Capítulo V, Título Cuarto, siempre y cuando se mantengan las características del permiso.

ARTICULO 91.- La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan.

ARTICULO 92.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales.

- I. Cuando no se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta Ley;
- II. Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las normas oficiales mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta Ley y su reglamento;
- III. Cuando se deje de pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; o

IV. Cuando el responsable de la descarga utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar cumplir con las normas oficiales mexicanas respectivas o las condiciones de particulares de descarga.

La suspensión será sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que se hubiera podido incurrir.

Sin perjuicio de lo anterior, cuando exista riesgo de daño o peligro para la población o los ecosistemas, "La Comisión" a solicitud de autoridad competente podrá realizar las acciones y obras necesarias para evitarlo, con cargo a quien resulte responsable.

ARTICULO 93.- Son causas de revocación del permiso de descarga de aguas residuales:

- I. Efectuar la descarga en un lugar distinto del autorizado por "La Comisión";
- II. Realizar los actos u omisiones que se señalan en las fracciones II, III y IV del artículo anterior, cuando con anterioridad se hubieren suspendido las actividades del permisionario por "La Comisión" por la misma causa.
- III. La revocación de la concesión o asignación de aguas nacionales cuando con motivo de dicho título sean las únicas que con su explotación, uso o aprovechamiento originen la descarga

de aguas residuales.

Cuando proceda la revocación, "La Comisión", previa audiencia al interesado, dictará y notificará la resolución respectiva, la cual deberá estar debidamente fundada y motivada.

El permiso de descarga de aguas residuales caducará cuando en los términos de la presente ley caduque el título de concesión o asignación de las aguas nacionales origen de la descarga.

ARTICULO 95.- "La Comisión", en el ámbito de la competencia federal, realizará la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la Ley. Los resultados de dicha fiscalización o inspección se harán constar en acta circunstanciada, producirán todos los efectos legales y podrán servir de base para que "La Comisión" y las demás dependencias de la Administración Pública Federal competentes, puedan aplicar las sanciones respectivas previstas en la Ley.

### 2.3.1.2 Ley Federal de Derechos

ARTICULO 82.- Por los servicios de trámite y expedición de asignaciones, concesiones o permisos que se indican, incluyendo su posterior inscripción por parte de la Comisión

Nacional del Agua en el Registro Público de Derechos de Agua, se pagará el derecho por servicios de agua, de conformidad con las siguientes cuotas:

- I. Por la expedición de cada título de asignación o concesión para usar o aprovechar aguas nacionales, incluyendo su registro.....N\$ 500.00
- II. Por la expedición de cada permiso de descarga de aguas residuales provenientes de industrias a un cuerpo receptor, incluyendo su registro..N\$4648.00
- III. Por la expedición de cada permiso de descarga de aguas residuales, distintas a las que preve la fracción anterior, incluyendo su registro.....  
.....N\$ 700.00
- IV. Por la autorización para modificar las características de los títulos o permisos a que se refieren las fracciones I, II y III de este artículo, respecto a extracción, derivación, uso o aprovechamiento, sustitución de usuarios, ubicación o características de las obras, punto o calidad de descarga.....N\$ 260.00

### 2.3.1.3 Reglamento Interior de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

ARTICULO 30.- La Comisión Nacional del Agua tendrá

las siguientes facultades:

C).- En materia de Administración del Agua:

XVIII.- Otorgar, modificar, suspender y revocar, en su caso, los permisos para la descarga de aguas residuales en el mar, de conformidad con la normatividad que establezca la Secretaría de Desarrollo Social, debiendo ejercer dicha atribución en coordinación con la Secretaría de Marina, cuando dicha descarga provenga de fuentes móviles o plataformas fijas;

XIX.- Otorgar, modificar, suspender y revocar, en su caso, los permisos para la descarga de aguas residuales en cuencas, cauces y demás depósitos de propiedad nacional, de conformidad con la normatividad que establezca la Secretaría de Desarrollo Social;

XX.- Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga de aguas residuales en cuencas, cauces, y demás depósitos de propiedad nacional, cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aguas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional.

CUADRO 1. SITUACION DE DESCARGAS EN EL MUNICIPIO

SITIO DE AFORO	CAUDAL MEDIO (Lts)	
DREN LOS POZOS	248.0 lts/seg	A.R.T.D.
DESAG. AGUAS NEGRAS ZAMORA	500.0	A.R.T.D.
GENERALISIMO	9.93	A.R.T.D.
ASENTAMIENTOS CAMINO DE ARIO	50.0	A.R.T.D.
CANAL CALVARIO	200.0	A.R.I.D.
FRACC. LINDA VISTA	40.0	A.R.T.D.
EST. Y FRACC. MIGUEL REGALADO	60.0	A.R.I.D.
INF. PALO ALTO	80.0	A.R.T.D.
FRACC. VALENCIA	40.97	A.R.T.D.
DREN PARTIDAS	150.0	A.R.T.D.
ROMERO DE TORRES Y GUZMAN	10.0	A.R.T.D.
DESAG. POB. DE LA RINCONADA	10.0	A.R.T.D.
EL LLANO	15.0	A.R.T.D.
LA SAUCEDA	10.0	
T O T A L	1 423.9	

## 2.4 Alternativas de Tratamientos Tradicionales

El perfeccionamiento de los conocimientos relativos a los procesos, el aumento del número, el tamaño y la complejidad de las plantas municipales de tratamiento de aguas de desecho, y la escasez de mano de obra, han conducido a una mayor aplicación de la instrumentación para la medición y el control en instalaciones de aguas de desecho.

Puesto que la naturaleza de un proceso determina el tipo de control que debe aplicarse, las características básicas de los procesos de tratamiento de las aguas de desecho son importantes. En las plantas municipales de tratamiento de aguas de desecho se utilizan muchas clases de procesos; las del tipo primario utilizan principalmente procesos físicos, mientras que las del tipo secundario utilizan procesos biológicos y electroquímicos. El desecho de la lechada comprende la digestión o el tratamiento químico, o ambas cosas, de este producto; éstos son procesos biológicos y electromecánicos.

En la mayoría de las plantas, la temperatura, el clima y las variaciones cotidianas de carga afectan a los procesos. Debido a los diferentes tipos de procesos sometidos a variaciones de las condiciones climatológicas y de carga, el tratamiento de aguas de desecho ha sido más un arte que una ciencia. Al aumentar los conocimientos

y la comprensión de los procesos, se ha logrado una transición notable del arte a la ciencia, pero es de esperar que este cambio requiera todavía mucho tiempo.

Con el mayor caudal de conocimientos sobre procesos biológicos y electroquímicos, cada día se están tomando más decisiones de operación, basadas en mediciones analíticas. La institución del hombre no será una forma muy apropiada para hacer funcionar las plantas de tratamiento del mañana.

Aunque muchos diseñadores de plantas municipales de tratamiento de aguas de desechos se han resistido a la tendencia en favor de la instrumentación y el control cada vez más complejo, dentro de poco tiempo no podrán evitar este camino. Para satisfacer los crecientes requisitos actuales, tanto el diseñador como el operador deberán adquirir conocimientos fundamentales de los dispositivos y los métodos para el control del tratamiento.

La mayoría de las variables que intervienen en el tratamiento físico, químico, electromecánico y biológico pueden medirse, basándose en técnicas del laboratorio, y muchas de ellas pueden determinarse en forma continua. En los campos en que hacen falta las mediciones continuas, no se puede ejercer un control de línea. En consecuencia, las actuales plantas municipales de tratamiento de aguas de desecho están controladas por equipos para establecer condiciones, y la supervisión y el control se efectúa

tomando como base la preparación y la experiencia del operador. El control continuo total puede usarse en algunos procesos unitarios; aunque son pocas las plantas que han hecho una aplicación de este tipo.

#### 2.4.1 control básico del proceso

En la figura 1.1 se ilustra una planta típica de tratamiento biológico con etapas primarias y secundarias. El diagrama indica un tratamiento de sedimentos activados, pero una planta dada puede usar la filtración biológica (que aparece en la parte superior de la figura), en lugar de un proceso de sedimentos activados. El diagrama ilustra las mediciones que se usan comunmente en las plantas existentes. La mayoría de la instrumentación presentada se relaciona con la determinación de variables físicas como el flujo, el nivel, la presión y la temperatura.

Hay ciertos tipos de equipo para la medición de flujos que se usan generalmente para medir el afluente que llega a la planta. Se acostumbra medir el nivel diferencial en el extremo superior de la planta, para controlar automáticamente las pantallas. La sedimentación primaria no requiere ninguna instrumentación.

Los filtros biológicos pueden usar vertederos para determinar la razón de recirculación, o pueden equiparse

con controladores que establezcan el flujo de recirculación a una relación con otra variable. Las estaciones de bombeo de las plantas pueden operar bombas de "on/off", en determinada sucesión, o emplear bombas de velocidad variable.

El proceso de sedimentos o lechada activados regula normalmente el flujo de retorno de estos sedimentos, para conservar la cantidad apropiada de sólidos dentro de la cámara de aireación. Este es uno de los pocos campos en los que la aplicación de controladores automáticos es casi general hoy día. Cuando la aireación se hace con burbujas, es frecuente encontrar un control de la velocidad de flujo del aire.

El mayor uso actual de la instrumentación y el control reside en el tratamiento y la eliminación de los sedimentos. En un digester típico se acostumbra determinar la temperatura y el nivel. En años recientes se ha venido utilizando con mayor frecuencia el equipo de densidad para mantener la densidad óptima de sedimentos no tratados. Estos equipos pueden duplicar la capacidad de digestión de las plantas más antiguas. La producción de gas se mide frecuentemente; pero hasta ahora se han realizado pocos intentos de analizar su composición. El digester es probablemente uno de los campos en los que pueden obtenerse resultados inmediatos con el uso efectivo de los equipos de medición y control.

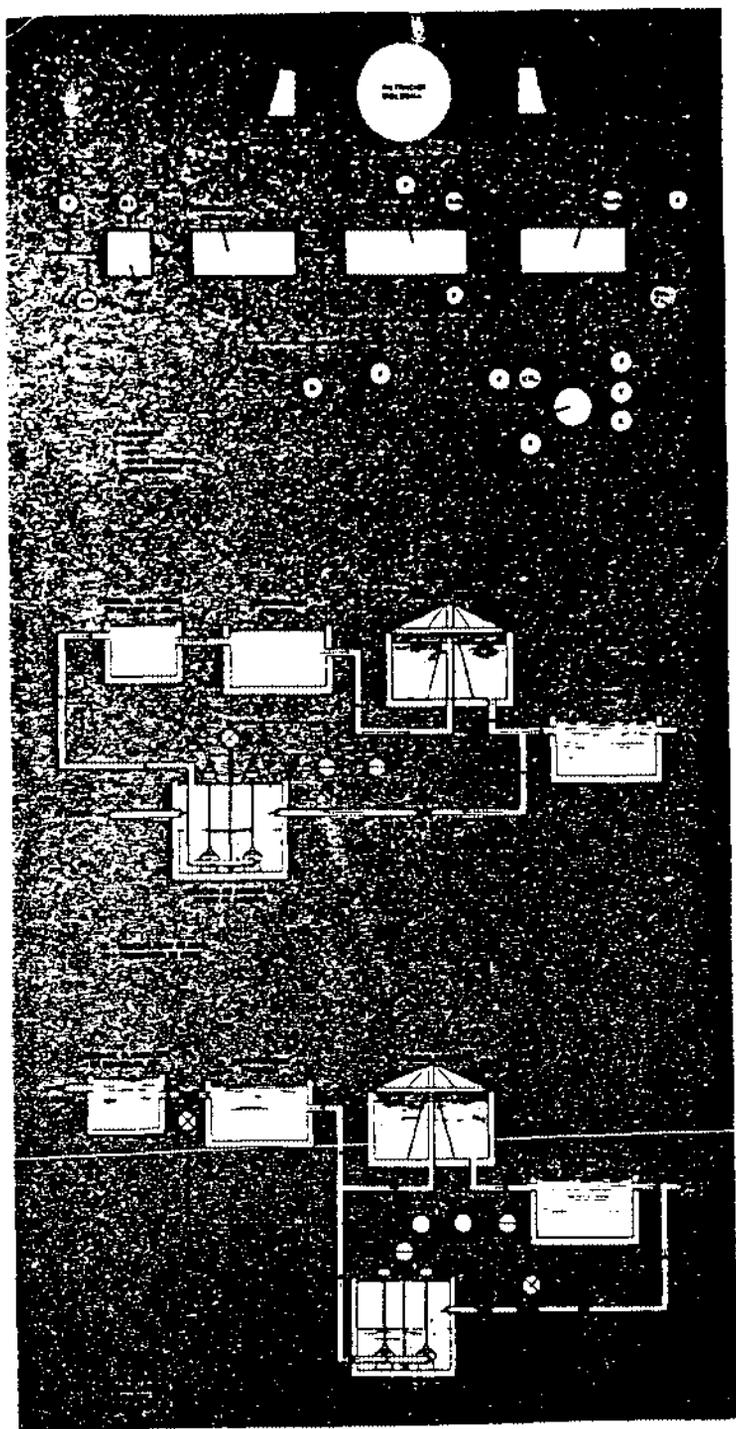


Fig. 1.1 Puntos típicos de medición en una planta municipal de tratamiento de desechos.

Fig. 1.2 Planta de filtración biológica, control del nivel de la razón de recirculación.

Fig. 1.3 Planta de filtración biológica, control de relación de la velocidad de recirculación.

### 2.4.2 Filtros biológicos

Una de las formas más generalizadas del tratamiento secundario de desechos es el filtro biológico. Este filtro se usa en varias combinaciones y a diferentes velocidades de flujo para facilitar varios procesos biológicos y emplearlo con algunas combinaciones muy particulares. Sean cuales fueren estas combinaciones, se cuenta con cierta instrumentación fundamental que puede aplicarse para mejorar su funcionamiento.

El filtro biológico puede soportar mejor las cargas de choque industriales y domésticas que cualquiera de los otros métodos de tratamiento secundario. Así pues, el filtro biológico puede usarse por sí solo cuando existen grandes cargas industriales, o como filtro de reducción antes de iniciar el proceso de sedimentos activados.

Las comunidades pequeñas son las que generalmente usan los filtros biológicos cuando tienen fuertes cargas industriales, como los desechos de una planta textil. Una fábrica textil descarga normalmente sus desechos sólo durante los días de trabajo y no en períodos de 24 horas; y el afluente al filtro se reduce bruscamente por la noche y los fines de semana. Durante estos períodos, debe mantenerse un flujo mínimo haciendo recircular los desechos hacia el filtro, para que éste conserve las propiedades biológicas apropiadas para poder manejar

la carga de choque que recibirá en la mañana o al principiar la semana. Si la carga del filtro se redujera excesivamente, el sistema biológico se trastornaría y sería incapaz de soportar la carga de choque.

En la figura 1.2 se describe un sistema para mantener un flujo mínimo a través de los filtros biológicos; este sistema puede aplicarse en instalaciones pequeñas. El método consiste en una disposición especial de las tuberías por la cual la estación de bombeo de la planta recibe el flujo de desechos crudos (afluentes) y el efluente recirculado que proviene de los filtros biológicos. Un transistor de palanca de la estación de bombeo acciona las bombas en respuesta a cambios en el nivel, a fin de contrarrestar las variaciones normales en el flujo de desechos crudos. Es decir, conforme aumenta el nivel, entran en acción otras bombas, y, al reducirse, van dejando de funcionar. La bomba más pequeña se detiene cuando el nivel cubre las bombas. La hidráulica de la planta debe diseñarse de tal modo que el flujo por la línea de recirculación de regreso satisfaga las demandas de la bomba más pequeña. Si se desea, esas bombas pueden ser del tipo de velocidad variable.

Durante el día, cuando el flujo se encuentra en su valor normal, el transmisor de nivel y el controlador proporcional de nivel pueden mantener el nivel con la válvula de regreso cerrada; no hay necesidad de recircula-

ción. Cuando el nivel comienza a descender, debido a una reducción del flujo de desechos crudos, un segundo controlador de nivel comienza a abrir la válvula de la línea de recirculación. Cuando el nivel desciende cada vez más, con una reducción del flujo de desechos crudos, la válvula se abre más todavía. Esto hace que la línea de retorno compense la diferencia requerida para permitir que la bomba más pequeña funcione a ritmo establecido. Si el afluente se detuviera totalmente, entonces recircularía continuamente por la planta una cantidad de desechos de la misma capacidad de la bomba. De este modo, los filtros biológicos tienen suficiente substrato para mantenerse activos y conservar las condiciones satisfactorias que necesitan para recibir una carga posterior de choque.

Al tiempo que aumenta el flujo de desechos crudos, se eleva el nivel de la estación de bombeo, estrangulando la válvula de control de recirculación e incrementando el número de bombas que se necesitan para igualar el volumen del afluente. Este concepto de control se aplica en muchas instalaciones pequeñas que tienen problemas con las grandes variaciones en el flujo y la fuerza de los desechos. El sistema puede operarse durante el día, basándose en el nivel, y cuando el flujo es mínimo, se puede mantener el gasto que reciben los filtros biológicos.

La relación entre el volumen de recirculación y el flujo del afluente es común en las instalaciones de

filtración biológica de alta proporción. La combinación que aparece en la figura 1.3 mantiene un nivel constante en la estación de bombeo, de modo que el flujo que sale de la estación es igual al que entra en ella. Entonces, se mide el flujo recirculado que se impulsa con una bomba de velocidad variable, y a la línea se le proporciona una válvula de control. La razón de flujo del afluente que entra a la planta se mide también y la salida del transmisor se alimenta a un relevador de proporción, el cual ajusta el punto de referencia del controlador de gasto de recirculación. Esta combinación hace que el gasto recirculado se mantenga proporcional al flujo del afluente; el personal de la planta es el encargado de ajustar esta relación. Los puntos específicos en los que se recoge o descarga el flujo recirculado no son importantes, siempre que dicho flujo pase por el filtro biológico.

Este procedimiento puede modificarse para que se abastezca siempre un efluente recirculado, agregando un relevador de límite bajo, entre el relevador de relación y el controlador de flujo. Entonces, sean cuales fueren las demandas del afluente, el gasto recirculado no descenderá por debajo del nivel mínimo deseado.

#### **2.4.3 Sedimentos activados, aireación con burbujas**

El control del método de tratamiento de sedimentos

activados depende principalmente del control del retorno de sedimentos activados, a la cabeza de los tanques de aireación y del control de aireación del flujo de aire. En técnica más común, se controlan los sedimentos activados de retorno y el flujo de aire en proporción directa al flujo de desechos crudos. En una combinación típica (que se ilustra en la figura 1.4) se utiliza un dispositivo de medición de flujos, un transmisor, un controlador y una válvula en la línea de retorno de los sedimentos activados. Una señal procedente del transmisor de flujo de los desechos crudos se alimenta a un relevador de relación, que establece un índice para el controlador de flujo, en la línea de retorno de sedimentación activada. Así, el personal de supervisión puede ajustar la relación del flujo sin tratar a los sedimentos activados de retorno.

Debe subrayarse el hecho de que la mayor preocupación no es el control de la relación de sedimentos de retorno, sino la regulación de la cantidad de sólidos en suspensión del tanque de aireación. La técnica de relación es una forma de lograr cierto grado de control, ya que los ajustes de la relación pueden basarse en pruebas de laboratorio. Con el tiempo, será posible hacer mediciones, en la línea, de sólidos suspendidos, o de densidad de los sedimentos activados de retorno. Esto permitiría que el control de la relación se basará en los sólidos en suspensión en la substancia mezclada. El equipo necesario para este

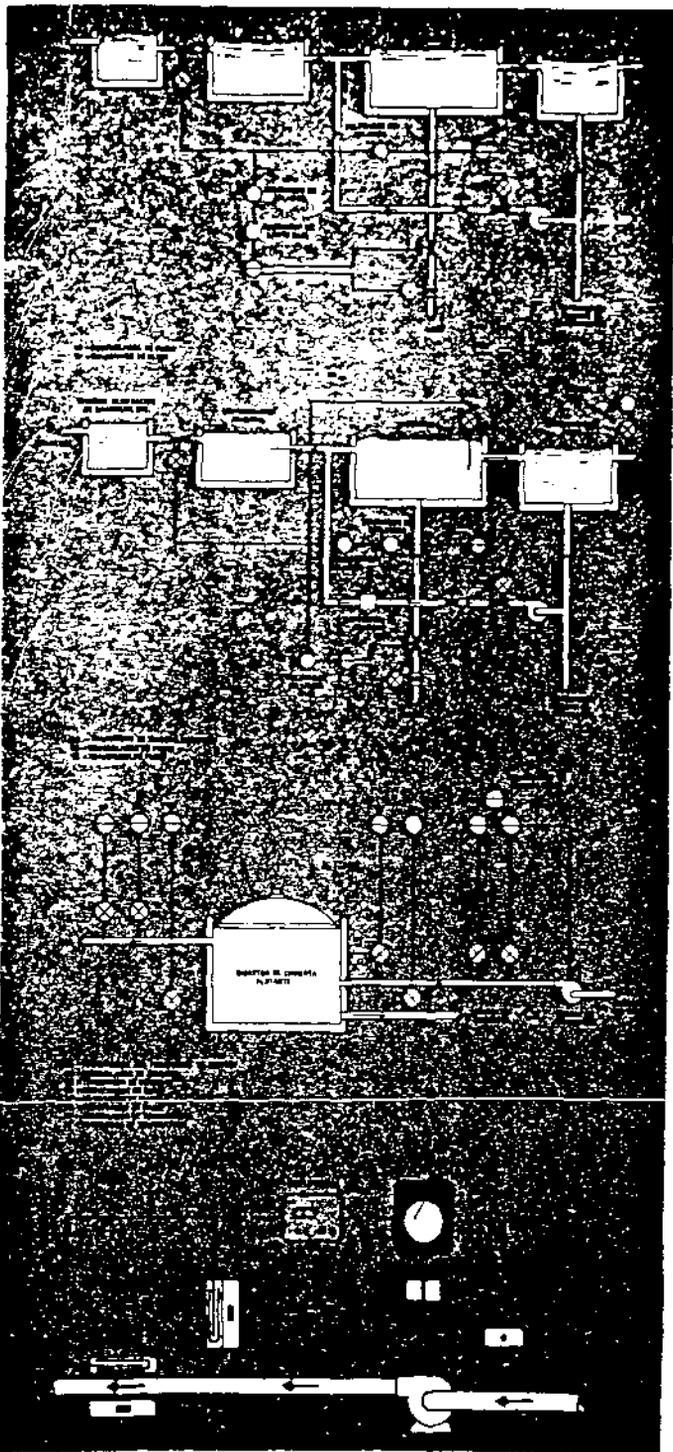


Fig. 1.4 Planta de sedimentos activados (con aireación de burbujas), - control de relación entre el aire y sedimentos de retorno.

Fig. 1.5 Planta de sedimentos activados (con aireación de burbujas), - control de densidad de los sedimentos de retorno y control de oxígeno disuelto de la aireación.

Fig. 1.6 Instrumentación de un digestor anaeróbico.

Fig. 1.7 Sistema positivo de control de la densidad para el bombeo de sedimentos.

fin apenas está llegando a su etapa de operación en algunas plantas.

El aire para las plantas de aireación mediante burbujas puede controlarse en forma similar, usando el nivel de flujo de desechos crudos para ajustar el punto de referencia del controlador del flujo de aire. Cuando se usa este tipo de control deben tomarse en cuenta varios factores. Si han de usarse ventiladores centrífugos, la válvula de control puede localizarse directamente en la línea de aire. Si se usan ventiladores con desplazamiento positivo, se necesitará situar la válvula en la línea de desviación o controlar la velocidad de los ventiladores.

Puesto que comunmente se cree que la aireación de este tipo de instalación proviene casi totalmente del intercambio con el oxígeno atmosférico en la superficie, es conveniente asegurarse que el flujo de aire se mantenga en un nivel mínimo dado o ligeramente por encima. Este método mantiene el tanque de substancia mezclada en un buen estado aeróbico cuando el flujo es reducido, cuando el control de relación directa podría ser incapaz de proporcionar suficiente aire. Si se instala un relevador de límite bajo entre el relevador de relación y el controlador de flujo de aire, este flujo no descenderá más allá del nivel mínimo deseado.

En la figura 1.4 se ilustra el método ordinario de control de una planta de sedimentos activados. La

reciente aparición de métodos seguros para la medición continua de oxígeno disuelto, densidad y sólidos en suspensión de sedimentos activados ha hecho posible la elaboración de nuevos y mejores métodos de control.

En la figura 1.5 se ilustra un sistema modificado de control en el que la relación entre los sedimentos activados de retorno y el flujo de desechos crudos se modifica por la densidad de los sedimentos activados de retorno. No será posible, en un futuro previsible, medir continuamente la variable más importante -los sólidos en suspensión en la solución mezclada o en el tanque de aireación-. Sin embargo, se puede obtener una medición relacionada determinando los sólidos en suspensión en la sedimentación activada de retorno. El ajuste del relevador de relación se basa en los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio, pero la relación se reduce automáticamente con una medición de la cantidad real de sólidos en suspensión en los sedimentos activados de recirculación. Por ejemplo, un aumento de la densidad de los sedimentos activados de recirculación reduciría la razón, haciendo disminuir el flujo de los citados sedimentos. Por supuesto, esa disposición pudiera modificarse todavía más, para proporcionar mediciones del flujo de masa sobre la base del peso, si fuera conveniente o necesario.

Los métodos dignos de confianza para medir el contenido de oxígeno disuelto (OD), hacen posible modificar el

índice de flujo del aire, tomando como base el OD de los sedimentos que salen del tanque de aireación. Nuevamente, es conveniente incluir un relevador de límite bajo, con el fin de que haya cierto grado de aireación en momentos de poco flujo en la planta.

Ciertas pruebas recientes en las que se usó la medición de turbiedad para detectar sólidos en suspensión, han indicado que dicha medición de la turbiedad es también un método práctico para detectar abultamientos. En la figura 1.5 se muestra un transmisor de turbiedad y un registrador asociado para medir la turbiedad del efluente final de la planta. Un turbidímetro detectará un aumento de sólidos en suspensión antes de que pueda verlos el operador. Después de notar la tendencia a los abultamientos, un operador dispondrá de varias horas para tomar las medidas necesarias para corregir las condiciones.

Las técnicas que se muestran en la figura 1.5 no se utilizan actualmente, pero es seguro que se trata de aplicaciones realistas para algunas de las mediciones actuales. El equipo básico de control y medición de flujo es el mismo que el de las instalaciones ordinarias. Sólo se han añadido mediciones de densidad y oxígeno disuelto y relevadores apropiados a las mediciones fijas, para un clima biológico más conveniente.

#### 2.4.4 Sedimentos activados, aireación mecánica

La exposición anterior se basó en el uso de la aireación ordinaria de burbujas. La aireación mecánica, aunque fue incorporada hace mucho tiempo a las plantas de sedimentos activados en Europa, sólo recientemente ha empezado a tener importancia en los Estados Unidos.

El control de los tanques de aireación en el proceso mecánico es un problema algo distinto al de aireación por medio de burbujas. En este último se puede medir convenientemente la cantidad de aire que se va agregando. En la aireación mecánica, el aire se arrastra en la solución mezclada por varios tipos de operaciones de mezcla y pulverización. En consecuencia, el aire que se agrega a la solución mezclada debe medirse directamente, en función del oxígeno disuelto. Los dispositivos de aireación mecánica se basaban antiguamente en mediciones directas del OD hechas en el laboratorio o en determinaciones indirectas de variables como la carga del motor.

La aireación mecánica tiene dos parámetros que pueden usarse para fines de control; el que se use depende del diseño particular del dispositivo. El primer parámetro es la velocidad del aireador mecánico, y el segundo, la profundidad de inmersión de la hélice. El grado de inmersión puede cambiarse utilizando vertederos móviles o moviendo la hélice mecánicamente. En ambos casos, se

establece el control de acuerdo con una medición continua del OD en la solución mezclada.

La experiencia obtenida con el uso de estos métodos es limitada, pero no parece haber una razón práctica por la que este sistema no dé buenos resultados.

#### 2.4.5 Instrumentación de un digester anaeróbico

La técnica que se practica con mayor frecuencia en la eliminación de sedimentos consiste en el tratamiento de un digester anaeróbico. Desde el punto de vista instrumental, la técnica ofrece muchas ventajas porque trata una cantidad relativamente pequeña de material en una ecología controlada. Por lo tanto, es probable que la sección de digestión sea la primera parte de la planta de tratamiento de desechos que utilice un sistema de control total, que proporcione un equilibrio real de energía.

Actualmente se cuenta con varias técnicas que pueden mejorar la eficiencia del digester; para ello, un sistema de control del digester debe:

Reducir el contenido de sedimentos crudos del agua a un valor mínimo práctico;

Medir y controlar con precisión los sólidos crudos que se agregan por unidad de tiempo;

Mantener una temperatura adecuada;

Descubrir las condiciones que provoquen un funcionamiento indebido a tiempo para corregirlas.

En la figura 1.6 se ilustran algunas técnicas que se usan actualmente para controlar los digestores. Todas las técnicas que se indican se han puesto en práctica, pero probablemente no existe ninguna ilustración única que las utilice todas.

El control más importante que se ha aplicado recientemente a los digestores se basa en el funcionamiento de las bombas de sedimentos crudos sobre la densidad de dichos sedimentos (Fig. 1.7). Este sistema evita el bombeo excesivo de sedimentos crudos, manteniendo de este modo en un nivel mínimo la cantidad de aguas negras que se bombean al digestor. El volumen de los sedimentos varía en proporción inversa al porcentaje de sólidos, por lo que una reducción del contenido de agua de 98 a 96% reduce a la mitad el volumen de sedimentos bombeados.

En esta técnica, las bombas comienzan a funcionar a un intervalo periódico preestablecido; y se detienen cuando se llega a un peso específico mínimo o a un porcentaje de sólidos. Los dispositivos para efectuar este trabajo miden la densidad o el peso específico del material que se encuentra en la tubería, pero pueden calibrarse directamente en función del porcentaje de sólidos.

El dispositivo típico de densidad nuclear usa una

fuelle en un lado de la tubería y un receptor en el otro. Al aumentar la densidad de la sedimentación, se mide menos radiactividad en el receptor. Los nuevos medidores están recubiertos de vidrio, para evitar la acumulación de sedimentos crudos, que puede perturbar la calibración.

Esta forma de instrumentación ha demostrado ser muy útil en las plantas antiguas que afrontan problemas de espacio y que se encuentran económicamente limitadas para construir más digestores. Con esta técnica se pueden bombear los sedimentos crudos que tienen una concentración mayor de sólidos; un ligero aumento en el porcentaje de sólidos produce un aumento enorme de la capacidad disponible del digestor.

En algunas instalaciones, se han usado medidores magnéticos de flujo, con equipo para medir la densidad, con el fin de producir una medición de sólidos secos. Esta técnica permite medir los sólidos secos que se agregan al digestor en cualquier tiempo, controlándolos así al nivel básico de diseño, de aproximadamente 3% de sólidos secos por día.

El advenimiento de los transmisores de nivel de equilibrio de fuerzas ha constituido un adelanto importante en este campo (Fig. 2). Los transmisores, que se montan a un lado del digestor, proporcionan un medio de medición y registro continuos del nivel en un digestor abierto, o uno con cubierta flotante, sin cables y otras técnicas

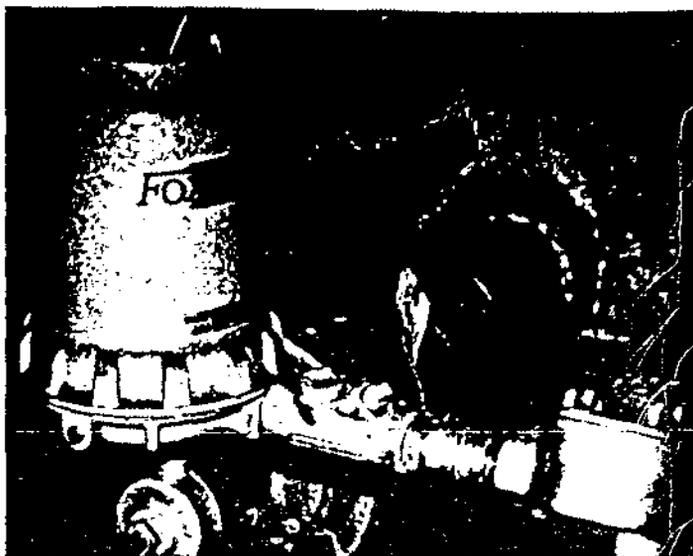


Figura 2. Transmisor típico a prueba de explosiones, montado sobre el digesor.

mecánicas. Puesto que funcionan basándose en el principio del equilibrio de fuerzas, no se tiene un flujo real de material, y no están plagados de dificultades como las que se encontraban en el pasado con otros instrumentos para medir el nivel. Este tipo de equipo se ha aplicado con todo éxito en muchas plantas.

Algunos de los trabajos de investigación más reciente se relaciona con el registro continuo del porcentaje de Metano en el gas de un digestor. Unos trabajos realizados durante seis meses en la planta de tratamiento de aguas negras de Brockton, Mass., aportaron pruebas concluyentes de que el porcentaje de Metano es un excelente indicador del "buen estado" de un digestor. Un cambio de sólo unos cuantos puntos de porcentaje en el contenido de Metano señalaba dificultades que podrían no haberse descubierto sino hasta mucho más tarde con otras técnicas. El dispositivo usado, comunmente llamado analizador de hidrocarburo, usa una unidad de ionización de llama.

#### **2.4.6 Medición del flujo de gas de un digestor**

La medición del flujo de gas de un digestor, ya sea como una indicación del funcionamiento del digestor o para las estadísticas de una planta es un proceso sumamente especializado. El dispositivo de medición debe tener una pérdida permanente de carga de menos de una pulgada

de agua, porque la presión total de las líneas de gas es casi siempre inferior a 12 pulgadas de agua. Además, el dispositivo debe resistir los efectos corrosivos de las ínfimas cantidades de sulfuro de Hidrógeno que se combinan con el agua condensada del gas del digestor.

Tradicionalmente, el medidor ha sido del tipo de desplazamiento positivo, similar a los que se usan en el servicio doméstico de gas, pero con diferentes materiales de construcción. Un medidor de este tipo satisface todos los requisitos de medición, excepto que no es un medidor de velocidad sino un totalizador.

La creación de transmisores de diferencial de presión de valores bajos (v. gr.: de dos pulgadas de agua), ha hecho posible el uso de dispositivos primarios como la placa de orificio. Aunque dicha placa tiene un alto porcentaje de pérdida de carga, la pérdida de carga permanente sigue siendo inferior a una pulgada de agua, lo cual hace que sea un instrumento ideal para la medición de gases. El instrumento de medición puede ser de tipo de conexión directa o un transmisor. Los diseños actuales favorecen el uso de un transmisor, lo cual permite que el integrador y otros dispositivos semejantes puedan quedar fuera del área de peligro.

Cuando se usa un dispositivo de medición de flujos primarios para el servicio del gas de un digestor, deben proporcionarse medios para eliminar la humedad acumulada

de la línea de gas. Si se trata de un tubo de Venturi o una boquilla de flujo, es necesario instalar un colector en la base de la línea, delante del dispositivo primario, a fin de realizar una eliminación periódica. Un orificio debe tener un diminuto mechinal, tangencial al interior de la tubería, para que la humedad pueda escapar por la base de la placa y ser conducida al colector, que está más abajo de la línea. Las placas de orificio pueden adquirirse en una gran variedad de materiales, como los aceros inoxidable y el monel, que resisten los efectos corrosivos del gas húmedo del digestor.

Se pueden usar las mediciones de los sólidos secos que entran al digestor, de los que están dentro de él, de la temperatura, del porcentaje de Metano y de los flujos de gas para proporcionar un programa de digestión automatizado casi completamente. Estas mediciones pueden obtenerse, y es posible predecir que un digestor programado de este tipo no tardará en ser una realidad.

#### **2.4.7 Cloración**

Las aguas de desecho se cloran con dos fines básicos: controlar su septicidad y reducir las bacterias en el efluente de la planta. Las aguas negras crudas se cloran, sobre todo, para controlar la septicidad y el olor, aunque el proceso facilita también la eliminación de las grasas.

Las dosis requeridas para efectuar una acción bactericida substancial en las aguas negras crudas son tan grandes que resultan económicamente imprácticas.

El sistema ideal para clorar las aguas de desecho sería basar la aplicación de cloro en una carga orgánica. Desgraciadamente, ésto no es fácil de lograr, porque la carga orgánica no es necesariamente proporcional al flujo. Se han usado varios métodos para la pre y la postcloración.

Existen muchas formas para controlar los cloradores. El método más común se basa en regular la adición de cloro en proporción con el flujo de desechos, utilizando una dosificación predeterminada. El flujo de cloro puede proporcionarse directamente al gasto de desechos o puede responder en forma gradual, conforme varía el flujo.

Otro método utiliza un control de tiempo, en lugar de una señal de flujo, para regular la adición de cloro en forma gradual, tomando como base un ciclo promedio de flujo diario. Esta técnica de control programado de tiempo está teniendo un uso más difundido que el gradual, que se basa directamente en la medición del flujo.

El operador puede cambiar manual o automáticamente la dosificación utilizando un mecanismo de leva, impulsado o activado por un controlador de tiempo. El corte de la leva se basa en la variación de la carga orgánica

durante un día o en una semana. La leva aumenta la dosificación cuando la carga es más alta y la reduce cuando ésta disminuye.

El uso de la medición de cloro residual para el control manual o automático de los cloradores va en constante aumento; se han ideado varios analizadores con el fin específico de tratar desechos secundarios. Estos analizadores contienen un medio para limpiar el electrodo, agregan detergentes para hacer que el sistema se limpie por sí mismo y proporcionan el funcionamiento a motor de las pantallas. Otra ventaja es que son fáciles para desmantelarse y limpiarse. El moderno analizador de cloro residual es entonces un dispositivo sumamente seguro, pero, no obstante, requerirá una cantidad importante de servicio.

Se han efectuado algunos trabajos experimentales utilizando las mediciones del potencial de oxidación-reducción (POR) para controlar los olores y la septicidad en las instalaciones de pretratamiento. Parece ser que el aumento del POR por el uso del cloro inhibe la actividad bacteriana y, por lo tanto, la producción de olores. Estos niveles de POR producen casi siempre un subresiduo de cloro. El diseño de electrodos para los dispositivos comprende los métodos de limpieza, filtros, etc. Es conveniente repetir que este equipo requiere una cantidad importante de mantenimiento.

## 2.5 Sistemas Naturales

Desde los años sesenta se empezaron a buscar en Alemania, en base a un programa gubernamental para conseguir que todas las comunidades contaran con un tratamiento de sus aguas residuales, por lo menos primario si es posible secundario, soluciones técnicas económicas para pequeñas comunidades, granjas o casas privadas e incluso para industrias que tuvieran aguas residuales de carácter doméstico. Desde entonces se desarrollaron diferentes diseños que difieren ampliamente en su combinación física, química y biológica, pero que son similares en sus funciones macroscópicas como el potencial de asimilación de Nitrógeno y degradación de los compuestos orgánicos. Entre los sistemas estudiados se encuentran los que emplean plantas flotantes, plantas emergentes o algas.

Gran popularidad encontraron los sistemas de lechos inundados de suelo con plantas emergentes en Europa, Sudáfrica y Gran Bretaña. En Estados Unidos, desde el año 1977 se reportan experiencias con áreas inundadas como pantanos y manglares.

Los resultados obtenidos con estos sistemas muestran que estos procesos de tratamiento prometen soluciones económicas y fáciles en el tratamiento de aguas residuales. A continuación se presentarán brevemente los diferentes tipos de sistemas naturales.

### 2.5.1 Tipos de sistemas naturales

En la última década se desarrollaron muchos sistemas usando el suelo como principal componente y otros, como los sistemas acuáticos, usando plantas flotantes y áreas inundadas con plantas emergentes. El elemento común en todos estos sistemas es el aprovechamiento de componentes del medio ambiente como plantas, microorganismos y suelo. En comparación con los sistemas naturales, requiere el proceso de lodos activados, que también aprovecha la actividad de los microorganismos, mayor cantidad de energía externa para el mezclado y la introducción de Oxígeno. Además, los sistemas naturales tienen la ventaja de requerir de poco personal de operación y producir menos lodo, que los procesos de alto rendimiento como los lodos activados. Los más conocidos sistemas naturales son las lagunas de estabilización y los campos de riego.

#### 2.5.1.1 Sistemas basados en suelo

Entre estos sistemas se distinguen:

- Sistemas de infiltración (campos de infiltración y lechos de absorción).
- Sistemas superficiales (aplicación e infiltración rápida y lenta, flujo superficial).

El representante más conocido del primer grupo es

la fosa séptica. Las cargas hidráulicas para estos sistemas varían entre 1.5 a 18  $\text{m}^3/\text{m}^2$  por año. La operación se efectúa continuamente y ocasionalmente se interrumpe para restaurar la capacidad hidráulica. El tratamiento en el suelo es, en este caso, de menor importancia para fines de diseño, importante es solamente la tasa de maduración.

En el caso de los sistemas superficiales, se consideran sobre todo, los sistemas de aplicación e infiltración lenta y los de flujo superficial por ser eficientes en el tratamiento de aguas residuales. La eficiencia de estos sistemas es debida a la alta actividad aeróbica microbiana, en la capa superior del suelo y también, en caso de usar vegetación, a las raíces de las plantas.

#### 2.5.1.1.1 Sistema de tasa lenta de aplicación

En el sistema de tasa lenta de aplicación de agua residual a un suelo con vegetación, se usa una tasa de 0.5 a 6  $\text{m}^3/\text{m}^2$  por año, generalmente aplicada una vez por semana. En estos sistemas las plantas juegan un papel importante. La selección y el manejo de las plantas es una función de los objetivos del tratamiento y de las condiciones del lugar. En todos los casos es necesario un pretratamiento mecánico para evitar un taponamiento a causa de materia gruesa y grasas en la entrada al sistema.

Las tasas de aplicación relativamente bajas, combinadas con la presencia de vegetación y un ecosistema de suelo muy activo en la capa superior del suelo, le da a este tipo de sistema el potencial de tratamiento más alto de todos los sistemas basados en suelo.

#### 2.5.1.1.2 Sistema de rápida infiltración

En el sistema de rápida infiltración en suelo, se aplica el agua residual a lechos relativamente poco profundos de suelo altamente permeable. La carga hidráulica anual puede estar entre 6 o más de  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$  y se adopta un ciclo de aplicación con interrupciones para permitir una restauración aeróbica de la zona de infiltración y alcanzar un potencial máximo de tratamiento. Sin embargo, las altas cargas hidráulicas del sistema de rápida infiltración requieren que se consideren mucho más las condiciones del suelo y las condiciones geohidrológicas del subsuelo. La vegetación usualmente no tiene importancia en el diseño y tampoco causa problemas durante la operación. También en este tipo de sistemas se requiere de un pretratamiento de las aguas residuales para evitar el taponamiento de la superficie de infiltración, y de un mantenimiento periódico de la superficie del área de infiltración. Hay que anotar que la remoción de Nitrógeno en estas plantas es limitada por la alta carga hidráulica y la

falta de una vegetación intencional.

#### 2.5.1.1.3 Sistema de flujo superficial

En el sistema de flujo superficial se prepara una superficie de pasto con cierta pendiente, por la cual escurre una capa fina de agua residual hacia los colectores. Este proceso es recomendable para sitios con suelo relativamente impermeable. La carga hidráulica anual para aguas residuales municipales se encuentra alrededor de 3 a 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. El agua a tratar se aplica durante varias horas diariamente. La vegetación es el componente crítico en este tipo de sistemas, pero la selección está limitada a especies de hierbas tolerantes al agua. También en este sistema se requiere de un pretratamiento eliminando materia gruesa y grasas que podrían dañar las bombas y la red de distribución. La remoción de Nitrógeno (según la tasa de carga hidráulica) puede ser igual a la de sistemas de infiltración lenta, pero la remoción de compuestos de fósforo será menor, limitada por la superficie de contacto entre agua residual y suelo.

#### 2.5.1.2 Sistemas acuáticos

Como sistemas acuáticos se consideran lagunas de estabi

lización y sus variantes, sistemas acuáticos con plantas flotantes y sistemas de áreas inundadas con la vegetación dominante de plantas emergentes. En general se diseñan estos sistemas para un flujo continuo y conectados a un agua receptor. La operación se maneja por temporada o todo el año dependiente del clima y de los objetivos del tratamiento.

#### 2.5.1.2.1 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización se conocen desde miles de años y son muy comunes en todo el mundo. El tratamiento depende, sobre todo, de la microbiología, plantas y animales existentes en el sistema. La carga orgánica para lagunas facultativas puede variar de 20 a 70 kg/ha y día. Para poder comparar con los sistemas de suelo, se supone un agua residual de mediana carga (DBO=240 mg/l) y resultan valores de 3 a 10  $m^3/m^2$  y año para la carga areal. Si existe una aeración forzada, se pueden reducir las dimensiones de la laguna y la carga areal puede variar de 8 a 30  $m^3/m^2$  y año. En general, requiere este tipo de sistema de tratamiento menos área que los sistemas basados en suelo, pero no producen un efluente de calidad semejante.

### 2.5.1.2.2 Sistemas acuáticos con plantas flotantes

Se usaron en una variedad de operaciones de acuicultura para cultivar peces u otra biomasa como meta principal. Si el tratamiento de aguas residuales es el objetivo principal, se demostró como componente más eficiente la planta flotante. Su presencia en la superficie del agua evita que penetre la luz solar que podría contribuir al crecimiento de algas. Además estas plantas pueden usar directamente ciertos compuestos del agua residual y lo más importante su sistema radicular sirve de soporte para un crecimiento fijo de otros organismos y vegetación. Este último se supone que es el factor más efectivo en el tratamiento de aguas residuales. Al principio de las investigaciones acerca de este tipo de sistemas se estudió sobre todo el lirio acuático, lentejuela de agua y otras especies con raíces. Se encontró que estos sistemas son económicos siempre que se encuentren dentro del rango natural de las plantas y en una base temporal. Hasta la fecha se usaron estos tipos de sistemas en conjunto con lagunas de estabilización o como último paso después de otras operaciones de tratamiento. Una cosecha rutinaria es necesaria para mantener las condiciones óptimas de operación. La carga orgánica que es usual en los diseños es de alrededor de 30 a 50 kg/ha por día, la carga hidráulica correspondiente a un sistema sin aeración forzada sería de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$  y año.

### 2.5.1.2.3 Sistemas de áreas inundadas con plantas

Los sistemas de áreas inundadas con plantas se caracterizan por tener siempre condiciones de suelo saturado de humedad. Entre estos sistemas se distinguen los sistemas artificiales y los sistemas naturales.

Los sistemas naturales consisten en una comunidad de plantas adaptadas a medios húmedos como los macrofitos emergentes y hasta arbustos como los manglares en áreas húmedas por naturaleza. Muchas veces forman parte de aguas superficiales adjuntas.

Los sistemas artificiales prefieren usar especies de hierbas en vez de arbustos o árboles. Típico de este último tipo de sistema es un fondo impermeable y una capa de suelo, grava u otro material de soporte para la vegetación emergente.

Se manejan dos categorías de sistemas de áreas inundadas con plantas:

- a) En los que la mayor parte del flujo de agua se encuentra sobre el sedimento en la capa vegetal superior al nivel del suelo, y así se obtiene un contacto directo del oxígeno del aire con el agua.
- b) En los que el flujo de aguas se lleva a través del lecho para proporcionar el contacto con la zona de las raíces, y el oxígeno se transfiere

a través de las plantas y su sistema radicular.

Aparte se distingue entre los sistemas basados en cosecha y los sistemas basados en el sistema suelo-agua. La vegetación es un parámetro muy importante en los dos tipos de sistemas, pero más por su presencia física y por la transferencia de Oxígeno que por su capacidad de eliminar contaminantes. La carga orgánica que se sugiere a la entrada del sistema no debe de sobrepasar 110 kg/ha y día para asegurar condiciones aeróbicas sobre todo en este punto. El pretratamiento necesario consiste en la remoción de sólidos gruesos y grasas para evitar un taponamiento a la entrada del sistema. La calidad del efluente depende mucho de la carga hidráulica (de 3 a 22 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> y año) y de las condiciones de operación del sistema.

### Parámetros generales de diseño

Todos los sistemas de suelo con plantas tienen ciertas propiedades en común. Las más importantes son la presencia de agua superficial durante todo el año, condiciones de suelo saturado de humedad y la frecuente presencia de biomasa vegetal relativamente densa.

Características como natural o construido, con árboles o hierbas, profundo o somero no cambian las similitudes

básicas de estos sistemas, respecto a poblaciones microbianas, bajo contenido de Demanda de Oxígeno (DO) o comunidades de plantas adaptadas. Las siguientes consideraciones de diseño se refieren a los dos sistemas: naturales y construidos.

Para el diseño de estos sistemas se consideran parámetros limitantes típicos que se presentan en la siguiente tabla.

CUADRO No. 2 PARAMETRO LIMITANTE DE DISEÑO PARA SISTEMAS NATURALES

TIPO DE SISTEMA	PARAMETRO LIMITANTE DE DISEÑO
En sitio	Capacidad hidráulica
Tasa lenta	Capacidad hidráulica, N o P <sup>a</sup>
Infiltración rápida	Capacidad hidráulica, N o P <sup>a</sup>
Flujo superficial	Remoción de DBO y SS, a veces N
Sistemas de lagunas	Remoción de DBO y SS, a veces N
Lirio acuático, como trat. secundario;	Remoción de DBO y SS
Lirio acuático, como trat. terciario	Remoción de DBO, SS, N y P
Áreas inundadas con plantas emergentes (naturales)	Remoción de DBO, SS, N, P y metales
Áreas inundadas con plantas emergentes (artificiales):	
Agua de superficie libre	Remoción de DBO, SS y N
Flujo subterráneo	Remoción de DBO, SS, N, P y metales

FUENTE: Natural Systems for Wastewater Treatment, WPCF, 1991

A continuación se considerará, sobre todo, el Sistema de Areas Inundadas con Plantas Emergentes.

#### **EL SISTEMA DE AREA INUNDADA CON PLANTAS EMERGENTES (artificial)**

El diseño de estas plantas de tratamiento de aguas residuales implica aparte de los parámetros ya mencionados la hidrología del lugar, la calidad del suelo y el tipo de vegetación. A continuación se explicarán estos parámetros en breve.

#### **Hidrología**

Entre la hidrología de áreas inundadas y la de otras aguas superficiales no existe gran diferencia; sin embargo, se deben de tomar en cuenta las características de las plantas y del sustrato en el diseño de la tasa de flujo. Entre los factores importantes hidrológicos para el diseño de sistemas de áreas inundadas en el tratamiento de aguas residuales se incluyen el hidroperíodo, la tasa de carga hidráulica, el tiempo de retención hidráulica, la capacidad de infiltración y el balance general de agua. El hidroperíodo incluye la profundidad y la duración de la inundación. La tasa de carga hidráulica se refiere a la carga de agua residual en una base de volumen por área (cm/d).

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo promedio de residencia de una molécula de agua en el área del sistema. La capacidad de infiltración es una medida de la transferencia neta del agua a través del sedimento del sistema. Este movimiento de agua puede ser positivo (infiltración) o negativo (exfiltración o desbordamiento) y puede variar de mes a mes según los niveles de agua superficial en los alrededores o el nivel del manto freático. La evapotranspiración es la combinación de pérdida de agua de una superficie vegetal causada por la transpiración de la planta y de la evaporación de la superficie del agua. El balance general de agua se calcula conociendo las aportaciones (influyente, exfiltración y lluvia) y las pérdidas (evapotranspiración, efluente e infiltración).

### **Hidroperíodo**

Por parte de la ecología de áreas inundadas, el hidroperíodo es el factor más importante determinante para la estructura de la comunidad de plantas en este sistema. De los dos aspectos probablemente el más importante es la duración de la inundación; importante fisiológicamente para los requerimientos específicos de cada especie de planta para sobrevivir en suelos de condiciones pobres de Oxígeno. Hay que tener atención en la selección de plantas indicadas como características de áreas inundadas, porque, en general, se define como área inundada, un

área que está para un período de 30 días o menos al año inundado, que no es idéntico a los sistemas de áreas continuamente inundadas. Muchas de estas especies no podrán sobrevivir a una inundación continua. Como las especies individuales pueden mostrar diferentes tolerancias a inundación, se deben de consultar referencias regionales. También pueden influir en el rango de tolerancia de hidropériodo real de las plantas la concentración de Oxígeno en el agua, la presencia de nutrientes o de sustancias tóxicas y la competencia de otras especies.

#### **La capacidad de infiltración:**

En el diseño de áreas artificiales inundados frecuentemente se asegura que la infiltración al manto freático se mantiene por abajo de un valor específico. Se recomienda un rango de  $10^{-7}$  m/s. La mayoría de los sistemas de áreas inundadas manejan capacidades de infiltración muy bajas porque frecuentemente se encuentran estos sistemas en áreas más bajas que los alrededores y reciben el agua influyente superficial y subterránea de éstas. Las tasas de infiltración pueden variar, dependiendo de las condiciones del suelo del lugar.

#### **Balance de agua**

Durante el diseño y la operación de áreas inundadas

es importante determinar el balance de agua para controlar que las condiciones estén de acuerdo con los valores recomendados para la carga hidráulica, el hidroperíodo y el tiempo de retención hidráulica. De forma simple se formula el balance de agua:

$$S = Q + R - I - O - ET$$

donde:

S= cambio neto de almacenamiento

Q= influente de agua residual

R= contribución por agua de lluvia y escurrimientos

I= infiltración neta

O= efluente superficial

ET= perdida a causa de evapotranspiración

La evapotranspiración se puede estimar conociendo el hidroperíodo básico de áreas inundadas y de tasas de evaporación en lagos. Para sistemas que están continuamente inundados se supone, en general, la misma tasa de evaporación que para lagos o aproximadamente 70 a 80% de los valores obtenidos por el método estándar para la evaporación (método de plato de evaporación).

#### Tasas de carga hidráulica

Los valores prácticos, reportados en la literatura para áreas artificiales de inundación con plantas emergentes, son entre 0.7 a 50 cm/d, dependiendo si se trata

de un área con flujo superficial o subterráneo.

La carga hidráulica es uno de los parámetros más importantes en el diseño del sistema; es determinada por la tolerancia de la planta elegida a las cantidades y la profundidad del agua, por la permeabilidad del suelo, por la capacidad de remoción de contaminantes y por las condiciones hidrológicas del lugar.

En el caso de los sistemas con flujo subterráneo, se calcula el área requerida para tratar cierta cantidad de aguas residuales en una primer aproximación con la siguiente ecuación:

$$A_c = Q/(k_s S)$$

donde:

$A_c$  = profundidad por anchura, área vertical de filtración del lecho en  $m^2$

$k_s$  = conductividad hidráulica del suelo,  $m^3/m^2$  y día

$S$  = pendiente del lecho

$W$  = anchura del lecho, m

$Q$  = gasto de agua residual,  $m^3/día$

La anchura del lecho se determina por la capacidad hidráulica y la longitud del lecho por los requerimientos de remoción de contaminantes.

$$W = A_c/d$$

Considerando lo anterior, y en base a datos de evapotranspiración y precipitación anual, se puede determinar por medio de una iteración en forma más exacta que anteriormente indicado, el área requerida con las siguientes ecuaciones:

$$A_{n-1} = Q_{aa}/Etp$$

$$Q_{aa_{n-1}} = A_{n-1} Pta$$

$$Qrt_{n-1} = Q_{aa_{n-1}} + Qaa$$

donde:

$A_n$  = Área del sistema a calcular (m<sup>2</sup>)

$Etp$  = Evapotranspiración anual de las plantas (mínimo)  
(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a)

$Pta$  = Precipitación anual (m/a)

$Qrt_n$  = Gasto total de agua en el sistema (m<sup>3</sup>/a)

$Qaa$  = Gasto de agua residual por año (m<sup>3</sup>/año)

Los valores obtenidos por estas ecuaciones se utilizan en la iteración que finaliza cuando los valores de  $Qrt_n$  y  $Qrt_{n-1}$  se parecen y muestran una diferencia mínima.

El área requerida resulta entonces:

$$A_n = Qrt_{n-1}/Etp$$

$$Q_{aa_n} = A_n Pta$$

$$Qrt_n = Q_{aa_n} + Qaa$$

Sin embargo, no se consideró hasta aquí la infiltración al suelo, que significa una pérdida en el balance de agua. Con las siguientes correcciones se modifica el

área calculada:

$$Qas_{n-1} = An \cdot R1a$$

$$Qap_{n-1} = Qaa + Qaa_n$$

$$Qci_{n-1} = Qap_{n-1} - Qas_{n-1}$$

$$Aci_{n-1} = Qci_{n-1} / Etp$$

donde:

$R1a$  = Razón de infiltración anual (m/a)

$An$  = Área calculada (m<sup>2</sup>)

$Qas_n$  = Gasto de agua en el suelo (m<sup>3</sup>/a)

$Aci_n$  = Área corregida por infiltración (m<sup>2</sup>)

$Qap_n$  = Gasto de agua corregida por precipitación  
(m<sup>3</sup>/a)

$Qci_n$  = Gasto de agua corregida por infiltración  
(m<sup>3</sup>/a)

El valor conseguido para  $Aci_n$  se usa en la siguiente iteración, que finaliza cuando los resultados difieren en forma poco significativa.

$$Qas_n = Aci_{n-1} \cdot R1a$$

$$Qap_n = Qaas (Aci_{n-1} \cdot Pta)$$

$$Qci_n = Qap_n - Qas_n$$

$$Aci_n = Qci_n / Etp$$

El siguiente paso se refiere a la corrección por salinidad en el suelo y en el agua. La concentración de sales es un factor importante para cualquier cultivo

de plantas y en nuestro caso influye en la razón de drenaje del suelo.

Como condición primordial es necesario conocer el rango de concentración de sales que es tolerado por la planta elegida. El Junco (Phragmites), por ejemplo, es conocido por ser bastante tolerante a sales: máximo tolera una salinidad de 1.3%, que corresponde a 13,000 mg/l y normalmente 0.5%, que es igual a 5,000 mg/l de sal.

También se debe conocer la capacidad del suelo de retener sales.

Sin agua el suelo puede retener:

- Suelo arenoso 2%
- Suelo arcilloso 16%

Sabiendo que en temporadas de sequía puede aumentar la salinidad del suelo en una relación de 3:1. Se debe considerar también la humedad del suelo:

- Suelo arenoso 6% de humedad
- Suelo arcilloso 42% de humedad

En el ejemplo del junco, esto significa una concentración por media de sales para la planta:

$$\text{NaCl (Junco)} = 5,000:3 = 1,666,66 \text{ mg/l}$$

Y considerando la salinidad del agua aplicada al suelo, se obtiene el factor de concentración alcanzable en el sistema:

$$\text{RS} = c(\text{NaCl (planta)})/c(\text{NaCl (del agua)})$$

El área corregida por la influencia de la salinidad sería entonces:

$$Acsp = Aci_n - (Aci_n/RS)$$

$$Acss = (Aci_n/RS) a; (> > )$$

$$Atcs = Acsp + Acss$$

donde:

Acsp = área corregida por salinidad con plantas

Acss = área corregida por salinidad sin plantas

RS = razón de saturación

Atcs = área total corregida por salinidad

( > > ) como la evapotranspiración de un área sin plantas es nada más del 50% de un área con vegetación del mismo tamaño, se debe de multiplicar el área calculada anteriormente para el sistema con vegetación por el factor 2.

Por otra parte se debe de considerar en el cálculo del área requerida para el tratamiento de las aguas residuales la eficiencia de remoción que muestran los distintos sistemas. Esto depende del tipo de suelo, o sea, sus características físico-químicas, como también del clima del lugar donde se encuentra la instalación y del tipo de vegetación seleccionado.

La siguiente ecuación es un acercamiento teórico para describir estas influencias en el diseño del área requerida:

$$A_s = \left\{ Q(I n C_o - C_e) \right\} / (K_T d n)$$

donde:

$C_e$  = DBO5 del efluente, mg/l

$C_o$  = DBO5 del influente, mg/l

$K_T$  = constante de primer orden de la tasa de reacción dependiente de la temperatura, día<sup>-1</sup>

$t$  = tiempo de retención hidráulica, día

$Q$  = tasa de flujo en promedio, a través del sistema, m<sup>3</sup>/d

$d$  = profundidad de la submersión, m

$n$  = porosidad del lecho, en fracción

$A_s$  = área superficial del sistema, m<sup>2</sup>

El siguiente cuadro muestra valores encontrados para distintos medios de lecho.

CUADRO No. 3 CARACTERISTICAS DEL LECHO PARA SISTEMAS DE FLUJO SUBTERRANEO

TIPO DE LECHO	MAX. 10% DEL TAMANO DEL GRANO, MM	POROSIDAD (n)	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (Ks), M3/M2 D	K 20 (K a 20 Y MAS GRADOS CELSIUS)
ARENA INTERMEDIA	1	0.42	420	1.84
ARENA GRUESA	2	0.39	480	1.35
ARENA GRAVOSA	8	0.35	500	0.86

FUENTE: EPA. 1988

## Las Plantas

Las plantas contribuyen considerablemente a la eficiencia del sistema de áreas inundadas con vegetación como ya se ha indicado anteriormente. Ellas contribuyen a remover los nutrientes como compuestos de Fósforo y Nitrógeno, reducen la erosión, mantienen la permeabilidad del suelo y sirven de soporte para microorganismos que transforman los compuestos de Fósforo y Nitrógeno contenidos en el agua residual, de tal forma, que lo pueden usar las plantas. Aparte, según el tipo de planta se fijan los metales pesados en las diferentes partes vegetales (como hojas, raíces, frutas). Los sistemas más estudiados hasta la fecha han sido con aplicación del Junco, Caña o Espadaña.

En la búsqueda de otras especies de plantas que puedan tener algún valor económico aparte de servir en el tratamiento de aguas residuales, se están estudiando entre otras plantas la caña de azúcar, jitomates y plantas de adorno. En todos estos experimentos todavía no se han reportado resultados. Buscando quizás otras alternativas se deben de considerar para la selección de las plantas las características del suelo, el pH, la salinidad, la cantidad de agua tolerable y los nutrientes, como también la profundidad de las raíces.

CAÑA COMUN (*Phragmites communis*).- Esta planta puede alcanzar una altura de 4 metros, sus raíces llegan a una profundidad de aproximadamente 60 cm y las hojas tienen forma alargada y plana. La caña común puede crecer en zonas pantanosas con un rango de pH de 2.8 a 6 y en lagos salinos con el pH entre 8.0 y 8.5. Esta especie de caña es conocida por ser resistente a diferentes condiciones del medio ambiente, como bajas temperaturas y prefiere zonas salinas.

El potencial de remoción encontrado en un experimento, se presenta en el Cuadro 4, considerando las siguientes condiciones del experimento:

Recipiente de plástico con relleno de rocas y suelo del lugar con capacidad de 113 litros; flujo de agua residual aplicada 87l/día, tiempo de retención 24-48 horas, temperatura 19 a 35°C.

CUADRO No. 4 EFICIENCIA DE REMOCION EN UN SISTEMA CON CAÑA

PARAMETRO	INFLUENTE (mg/l)	EFLUENTE (mg/l)	EFICIENCIA %
DBO <sub>5</sub> (48 horas)	110	3	97
DBO <sub>5</sub> (6 horas)	110	9	92
NTK	16.1	2.9	82
N amoniacal	12.4	0.6	95.16
P total	4.4	2.0	54.5
SST	68	6	91.17

Según estos resultados muestra la caña una extraordinaria eficiencia de remoción de los contaminantes considerados en tiempos relativamente cortos. Especialmente interesante es la capacidad de remoción de N-amoniaco, que se explica por los microorganismos adheridos a las raíces de la caña y que interfieren en el proceso de eliminación.

JUNCO (*Scirpus validus*).- Esta planta suele crecer en zonas pantanosas, tropicales y subtropicales. Se observó que en épocas de frío no decrece su capacidad de producción y de remoción de contaminantes. Además presenta el junco la ventaja que por su alto contenido de minerales y proteínas, sirve de forraje de animales y de fertilizante. Las siguientes eficiencias de remoción se pudieron observar en el tratamiento de aguas residuales.

CUADRO No. 5 EFICIENCIA DE REMOCION DEL JUNCO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PARAMETRO	INFLUENTE (mg/l)	EFLUENTE (mg/l)	EFICIENCIA (%)
DBO	488 +/-133	18+/-7	96.3
DQO	337 +/-45	44+/-7	87
N total	82 +/-17	5+/-2	94
P total	16.3 +/-3	0.33+/-0.3	98

FUENTE: Roench, 1985)

ESPADAÑA (*Typha latifolia*) (en México conocido como TULE).- Esta planta también es una planta emergente que crece en zonas pantanosas, en zonas tropicales y subtropicales. La espadaña es igual que el junco, una planta con alto contenido de proteínas y se recomienda para el forraje o como fertilizante. Para su cultivo se requiere de una profundidad de 15 a 30 cm. Las eficiencias de remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales encontradas.

CUADRO No. 6 EFICIENCIA DE REMOCION DE ESPADAÑAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PARAMETRO	INFLUENTE (mg/l)	EFLUENTE (mg/l)	EFICIENCIA %
N total	27.8	20	28
NIT	25	0.7	97.2
N amoniacal	24.7	17.7	28.3
NO <sub>2</sub> y NO <sub>3</sub>	0.3	0.15	50
DBO	118.3	30.4	74.3
SST	57.3	5.5	90.4

FUENTE: Claude E. Boyd. Dic. 1969

Comparando estos valores con las eficiencias indicadas para la caña y el junco, se reconoce que es mucho menor, pero se podría mejorar en combinación con otras plantas

emergentes o flotantes.

SAUCE DE AGUA.- Otra planta emergente estudiada es el Sauce de Agua (Justicia americana). El enfoque de estudio descrito en la literatura, era la producción de proteínas y la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual, por lo cual no se presentan aquí eficiencias de remoción. La literatura indica nada mas cantidades removidas al año por hectárea de vegetación, que es también el área requerida para suministrar 301 personas de proteínas durante un año.

CUADRO No. 7 CANTIDAD REMOVIDA DURANTE UN AÑO POR EL SAUCE DE AGUA

ELEMENTO	Kg/ha/año
Nitrógeno	2293
Fósforo	136
Sulfuros	204
Calcio	1022
Magnesio	465
Potasio	3723
Sodio	193
Fierro	123
Manganeso	13
Zinc	30
Cobre	3

FUENTE: Boyd, 1969

### Aspectos higiénicos

En todos estos sistemas naturales mencionados se impone la preocupación de las condiciones higiénicas, de la sobrevivencia de bacterias y virus. Aguas residuales sin algún tratamiento primario al tratamiento con sistemas naturales contienen gran cantidad de estos microorganismos (p.e. del tipo salmonella, shigella, lectospira y parásitos, virus de hepatitis, poliovirus). Por lo cual hay que considerar en los sistemas discontinuos de contacto directo de planta superficial con el agua residual, los plazos indicados para la cosecha de estas plantas y para los sistemas continuos unicamente se recomienda la alimentación subterránea del agua residual al sistema.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Características Agroclimáticas de la Región

##### 3.1.1 Localización y ubicación

La municipalidad de Zamora colinda con las de Ixtlán y Ecuandureo por el norte; con las de Churintzio y Tlazazalca, por el oriente; con Tangamandapio y Chavinda, por el poniente; y con Tangancicuaro y Jacona, por el sur.

##### 3.1.2 Orografía

Tziróndaro o "lugar de ciénegas", como le pusieron los purépechas, llegó a ser platón de bordes majestuosos: al norte, limitado por los altos cerros Encinal, Atacheo y Tácari, cuyas cumbres sobrepasan los 2,000 msnm; al occidente por los montes Jaceño y Platanar que junto a los otros se ven chaparros; al sur por lomas respaldadas por la mole del Tamándaro; y al oriente, por lo más lucido del cerco montañoso: la majestuosa eminencia de La Beata que alcanza 2,700 metros de altura, y el gracioso monte de La Beatilla que se queda en los 2,000 metros.

### 3.1.3 Suelos

Quizá ninguno de los suelos michoacanos presente tan buenas condiciones para el cultivo como los negros de origen lacustre del municipio de Zamora. El total de tierras improductivas en la municipalidad no pasa de las 3,000 has, o sea, el 7% del conjunto. Según los cálculos del arquitecto Bernal, 3,226 has ofrecen recursos forestales en las cumbres de las eminencias mayores. Cosa del 35% del total; es decir, 14,400 has son especialmente aptas para la practicultura, no obstante que ocupan pendientes superiores a los 10°. La mitad de la superficie del municipio puede utilizársele ahora en tareas agrícolas; un 18% (7,260 has) en agricultura de temporal; un 4% (1,800 has) en siembras de humedad; un 12% (4,973 has) su sembradío de riego de segunda. El 16% restante, casi 7,000 has son lo mejor de lo mejor en materia de cultivo; han llegado a ser suelos de primerísima clase, incluso superiores a los famosos de la Ciénega de Chapala.

### 3.1.4 Vegetación

La vegetación de Zamora no tiene que ver nada con la de ahora, aunque sí con la primigenia de valles ilustres, que fueron antes del hombre pantanos con cañaverales. Sin duda, la vega zamorana era uno de esos pantanos cubierto

por densa vegetación de zaprófitos acuáticos, de hierba maligna y maloliente, de maleza triste que sobresalía de aguas poco profundas. Esa vegetación cenagosa contrastaba con la vegetación del marco montañoso. En las laderas de los montes, entre los 1,680 y los 2,000 metros, mezclaban sus hojas matorrales inermes, nopaleras y plantas ratizas. Entre guamúchiles, pitayas, xoconoxtles, churis, moras y zapotes, se abrían paso arbustos y hierbas medicinales (gordolobo, espinosilla, prodigiosa, estafiate, cenicilla, borreguilla, doradilla, árnica, cinco llagas, amapola y hierba del ahito). Junto al cirrián, al nogal y a la tila, crecían multitud de hierbas aromáticas (perejil, tomillo, anís, hierbabuena, epazote y mejorana) y de matas célebres por sus flores (tempranilla, santamaría, sanjuan, sampedro, lirio de corpus, sanicolás, chachamol y otras). La flora de las cumbres más altas la constituían principalmente los encilanes. En las eminencias menores predominaban el madroño, el tepehuaje, el tepame y las nopaleras. En todas las alturas aparecían orquídes, charagüescas, bembéricas, ortigas y anisillos. En contraste con el fondo de la hoya, los cerros que le hacen círculo retienen mucho de la antigua cubierta vegetal, con excepción de "los espesos árboles" productores de maderas exquisitas.

### 3.1.5 Fauna

En región tan lacustre como la de Zamora no podían

faltar una buena dosis de peces (bagre, charal, juil, pez blanco, popocha y trucha), de batracios (ajolote, rana y sapo), y de acociles y culebras. De la fauna que transcurre sobre la superficie terrestre cara al sol, (coyote, lobo y zorra), un mustélido apestoso (el zorri- llo), un rumiante (el venado), un par de carnívoros (gato montés y puma) y un trío de arácnidos (alacrán, araña y vinagrillo). De los animales que pasan buena parte de su vida en vuelo, Zamora luce una alta y multiforme población: águila, clarín, cardenal, carpintero, colibrí, conguita, codorniz, cuervo, cuitlachoche, chachalaca, gavilán, golondrina, gorrión, huilota, jilguero, lechuza, mulato, paloma, pato, saltapared, tarengo, tecolote, tildío y tordos.

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Toma de muestra

Para realizar el análisis, el muestreo se hizo en la llave de la bomba que descarga el pozo.

Las muestras se recogieron en dos recipientes, en un frasco estéril se recogió la muestra para el análisis bacteriológico y en un envase de plástico para los análisis físicos y químicos.

Para tomar las muestras para el análisis bacteriológi-

co, se flamea primeramente la boca de la llave, se deja correr un poco el agua, y se hizo la toma dejando el agua hasta la parte más alta del envase.

Esta muestra se transporta en un recipiente con hielo, hasta donde se le hicieron los análisis.

### 3.2.1.1 Determinación de Dureza al Calcio

PROCEDIMIENTO.- Se toman 25 mm de muestra, se le agrega dos lentejas de hidróxido de Sodio para ajustarle el pH. Se le agrega indicador murexide. Se titula con solución de E.D.T.A., 0.02 N. El vire es de rosa a violeta.

CALCULO:

$$\text{ppm Ca} = (\text{gasto})(N)(\text{meq})(10^6)/\text{muestra}$$

### 3.2.1.2 Determinación de Dureza Total

PROCEDIMIENTO.- Se toman 25 ml de muestra, se le agrega un ml de solución Buffer ( $\text{ClNH}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) para ajustar el pH. Se le agrega indicador negro de eriocromo. Se titula con E.D.T.A. 0.02N.

Se titula hasta color azul de la solución.

CALCULO:

$$\text{ppm CaCO}_3 = (\text{gasto})(N)(\text{meq})(10^6)/\text{muestra}$$

### 3.2.1.3 Determinación de Dureza al Magnesio

La dureza al Magnesio es la resta de la dureza total menos la dureza al Calcio.

### 3.2.1.4 Determinación de Cloruros

PROCEDIMIENTO.- Se toman 50 ml de muestra. Se neutraliza con amarillo de metilo, un mililitro de indicador cromato de Potasio. Se titula con nitrato de plata a precipitado ladrillo.

CALCULO:

$$\text{ppm Cl}^- = (\text{gasto})(N)(\text{meq})(10^6)/\text{muestra}$$

### 3.2.1.5 Determinación de Sulfatos

PROCEDIMIENTO.- A 50 ml de muestra se le agrega una cantidad de nitrato de plata, igual a la gastada para precipitar los cloruros, se le agrega 50 ml de propanol para fijar el indicador se le pone indicador de THQ. Se titula con cloruro de Bario a coloración rosita.

CALCULO:

$$\text{ppm SO}_4 = (\text{gasto})(N)(\text{meq})(10^6)/\text{muestra}$$

### 3.2.1.6 Demanda química de Oxígeno (DQO)

#### APARATOS:

Aparato de reflujo: consiste en un matraz esférico de 300 ml, con cuello esmerilado 24/40 y un refrigerante Friedichs.

#### REACTIVOS:

a) Solución valorada de biocromato de Potasio 0.25N.

Se disuelven 12.259 gr de dicromato de Potasio, de calidad de patrón primario, previamente secado a 103°C por dos horas, en agua destilada y se diluye a 1000 ml.

b) Acido sulfúrico concentrado.

c) Solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0.25N.

Se disuelven 98 gr de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada. Se agregan 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se enfría y se diluye a 1000 ml. Esta solución se debe titular el día que se vaya a usar, con dicromato de Potasio titulación. Se diluyen 25 ml de la solución valorada de dicromato de Potasio a unos 250 ml. Se agregan 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se deja enfriar. Se titula con sulfato ferroso amoniacal, usando dos o tres gotas de indicador ferroín.

$$N = \text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.25/\text{ml } Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$$

d) Indicador de ferroín.

Se disuelve 1.485 gr de 1-10 fenantrolina monohidratada, junto con 0.695 gr de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  en agua destilada y se diluye a 1000 ml. Esta solución se puede adquirir ya preparada.

e) Sulfato de plata en cristales.

#### PROCEDIMIENTO:

Se vierte una muestra de 50 ml, con una porción alícuota diluida a 50 ml con agua destilada, en el matraz esférico. Se agregan 25 ml de solución valorada de bicromato. Se agregan, con todo cuidado, 75 ml de ácido sulfúrico, mezclando bien después de cada adición. (PRECAUCIÓN: la mezcla que se somete a reflujo se debe encontrar perfectamente homogénea antes de aplicar el calor. Si no se procede así, se pueden presentar calentamientos locales en el fondo del matraz, con la expulsión súbita de la mezcla por el tubo lateral del refrigerante).

Se fija el matraz al refrigerante Friedichs y se somete a reflujo la muestra por dos horas (se puede usar un período más corto, para algunos desechos particulares, si se ha determinado que es suficiente para obtener la D.Q.O máxima). Se deben agregar fragmentos de piedra pómez o perlas de vidrio para prevenir la ebullición tumultuosa, que puede ser grave y peligrosa. Se enfría

y se lava el refrigerante con 25 ml de agua destilada.

Se pasa el contenido a un matraz cónico de 500 ml y se lava el matraz de reflujo 4-5 veces con agua destilada.

Se diluye la mezcla a unos 350 ml y se titula el exceso de bicromato, después de enfriarse a la temperatura ambiente, con sulfato ferroso amoniacal valorado, usando como indicador el ferroín; generalmente se usan 2-3 gotas del indicador; sin embargo, depende de cada operador en particular.

El cambio de color es preciso, variando del azul verde al azul rojizo; sin embargo, el vire no es tan marcado como en la titulación de los reactivos por la mayor concentración en la muestra, y por esta razón es necesario que la muestra se diluya cuando menos a 350 ml, antes de verificar su titulación.

Se somete a reflujo, en la misma forma, un testigo de 50 ml de agua destilada, en lugar de la muestra, junto con todos los reactivos.

Se puede obtener una oxidación más completa de muchos compuestos orgánicos, tales como alcoholes y ácidos de cadena abierta si se usa el sulfato de plata como catalizador; se agrega directamente a la mezcla, antes del reflujo, un gramo de sulfato de plata, o bien, se puede disolver el sulfato de plata en el ácido sulfúrico a razón de un gramo por cada 75 gr de ácido.

Para muestras diluidas, la solución de bicromato se diluye a 0.025N. En esta concentración se debe tener cuidado extremo con toda la cristalería, porque la más ligera huella de materia orgánica en el condensador o en la atmósfera induce graves errores.

Sólo son razonablemente exactas las determinaciones en muestras que den una reducción aproximada de 50% de bicromato.

Para la retitulación, se usa una solución diluida de sulfato ferroso amoniacal, 0.025N. Esta concentración se debe hacer con exceso de ácido o prepararse el día que se vaya a usar.

$$\text{mg/lit DQO} = (a+b)(N)(\text{meq})(10^6)/\text{ml muestra}$$

a = ml de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  usado para el testigo

b = ml de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  usado para la muestra

### 3.2.1.7 Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)

#### REACTIVOS:

a) Agua destilada.

El agua que se usa para la preparación de las soluciones y para el agua de dilución debe ser de la más alta calidad.

b) Solución amortiguadora de fosfato.

Disuelva 8.5 gr de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21.75 gr de cloruro de amonio en unos 500 ml de agua destilada y diluya a un litro.

El pH de esta solución amortiguadora debe ser 7.2 sin ajuste alguno. No debe presentar ningún tipo de crecimiento biológico si se conserva en la incubadora.

c) Solución de sulfato de Magnesio.

Disuelva 22.5 gr de  $\text{MgSO}_4$  en agua destilada y diluya a un litro.

d) Solución de cloruro de Calcio.

Disuelva 27.5 gr de cloruro de Calcio anhidro en agua destilada y diluya a un litro.

e) Solución de cloruro férrico.

Disuelva 0.25 gr de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y diluya a un litro.

#### PROCEDIMIENTO:

La determinación de la demanda bioquímica de Oxígeno se basa en las determinaciones de Oxígeno disuelto (OD) a diferentes intervalos de tiempo.

Se toman 10 ml de la muestra y se llevan a una probeta graduada de 1000 ml se llena con agua destilada procurando no hacer burbujas para evitar la entrada del aire.

Se añade un mililitro de cloruro férrico, sulfato de Magnesio, cloruro de Calcio y un mililitro de solución

amortiguadora de fosfato, se mezclan bien, evitando también la entrada del aire.

La dilución mezclada se lleva a tres frascos procurando que el líquido no se derrame. Tape herméticamente, evitando las burbujas de aire y se incuba una durante cinco días ( $DBO_5$ ). En las otras se determina el (OD) Oxígeno Disuelto y (DIOD) Demanda Inmediata de Oxígeno Disuelto.

A estos dos últimos frascos se les agrega 2 ml de álcali yoduro nitruro y 2 ml de sulfato manganoso. Se agitan y se dejan reposar por 15 minutos. Se les añade 2 ml de ácido sulfúrico concentrado. De nuevo se agita y se titula la botella de OD y la de DIOD. Se deja reposar 15 minutos.

#### TITULACION:

Se toma la muestra en un balón aforado de 100 ml. Se pasa a un matraz. La bureta se llena con sulfato de Sodio, el cual se deja caer gota a gota, al matraz, que tiene la muestra, hasta que cambie a amarillo paja. Se le ponen dos gotas de almidón y se prosigue la titulación hasta vire incoloro.

#### CALCULOS:

$$DBO_5 = OD - DBO_5 / \text{dilución}$$

$$DIOD = OD - DIOD / \text{dilución}$$

## REACTIVOS PARA OD:

a) Solución de sulfato manganoso.

Se disuelven 364 gr de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en un litro de agua destilada.

b) Reactivo de álcali yoduro nitruro.

Se disuelven 500 gr de hidróxido de Sodio y 135 gr de yoduro de Sodio en agua destilada y se afora a un litro. A esta solución se le agregan 10 gr de  $\text{NaN}_3$ .

c) Solución de tiosulfato de Sodio 0.025N.

Se disuelven 1.575 gr de tiosulfato de Sodio en 1000 ml de agua destilada. Esta solución no es estable y se debe preparar diariamente.

d) Acido sulfúrico concentrado.

e) Solución de almidón.

Se disuelven 0.5 gr de almidón en polvo Q.P. soluble en 100 ml de agua destilada. Se calienta a ebullición y se deja enfriar.

### 3.2.1.8 Determinación de Oxígeno consumido

#### PROCEDIMIENTO:

Se toman dos muestras, una solución del blanco y la del problema.

El blanco tienen 100 ml de agua destilada y el problema 50 ml de su agua y 50 ml de agua destilada. A las dos se les agrega 10 ml de ácido sulfúrico (1:3) y 10 ml de permanganato de Potasio 0.0125N. Se ponen a "baño maría" aproximadamente media hora, ya que ha empezado el agua en su punto de ebullición. Luego se decolora con oxalato de amonio (10 ml) y se titula con el mismo permanganato de Potasio a que dé color rosita.

#### CALCULO:

$$\text{ppm Oxígeno consumido} = (\text{ml gastados en problema} - \text{ml gastados en blanco}) \times 2$$

#### REACTIVOS:

Solución de oxalato de Amonio.

Se pesa 0.0888 gr y se aforan a 100 ml. Se conserva en refrigeración.

Solución de permanganato de Potasio.

Se pesan 0.3875 gr/lt. Se aforan con agua destilada. Se pasa a un balón de dos litros. Se pone a calentar. Ya que está en ebullición se quita. Se pone en frasco ámbar, ya que está a temperatura ambiente. Se deja en reposo hasta otro día, en cuarto oscuro, y obtendremos una solución 0.0125N.

Solución de ácido sulfúrico 1:3.

Se pone en un matraz de un litro, 300 ml de agua destilada. Se pone a enfriar con hielo y se le va agregando lentamente el ácido sulfúrico Q.P.

### 3.2.1.9 Determinación de sólidos sedimentales

#### PROCEDIMIENTO:

La determinación se realiza en el cono IMHOFF que consiste en cono de vidrio o de plástico de 3 cm de alto, con capacidad de un litro y graduado en mililitros.

El uso de esta simple determinación facilita la operación en los sedimentadores.

El porcentaje de sólidos sedimentable o removidos en un tanque de sedimentación lo da la ecuación:

$$100 (a-b)/a$$

donde:

a = sólidos depositados en el agua cruda.

b = sólidos depositados en el afluente.

Ambos datos deben leerse después de dos horas. Entre 3-9 ml de lodos son los depositados, por un litro de agua negra.

La sedimentación es satisfactoria cuando el afluente no acusa más de 0.1 ml de sólidos sedimentables.

### 3.2.1.10 Determinación de alcalinidad

#### PROCEDIMIENTO:

La alcalinidad se determina por titulación con un ácido fuerte; las diferentes clases de alcalinidad se definen por titulaciones sucesivas, a los vires de la fenolftaleína y del anaranjado de metilo, usando ácido sulfúrico 0.02 N.

#### CALCULO:

$$\text{mg/lit CaCO}_3 = (\text{ml H}_2\text{SO}_4)(N)(\text{meq})(10^6)/\text{ml muestra}$$

### 3.2.1.11 Determinación de acidez

#### PROCEDIMIENTO:

La titulación en una probeta, colocada sobre una superficie blanca, para mejorar la visibilidad del vire, y para evitar las pérdidas de  $\text{CO}_2$ , se usa un agitador de tipo de émbolo, que no debe extraerse completamente durante la titulación para no introducir burbujas de aire. Se pipetea 50 o 100 ml de la muestra sedimentada y se titula con hidróxido de sodio 0.02 N hasta la primera aparición de color rosa.

#### CALCULO:

$$\text{mg/lit CaCO}_3 = (\text{ml NaOH})(N)(\text{meq})(10^6)/\text{ml muestra}$$

#### 4. RESULTADOS

Para realizar el análisis, el muestreo se hizo en un punto de fácil acceso, donde las aguas residuales provenientes de toda la población y de la industria estuvieron bien mezcladas.

Dicho punto se encontró a 8-10 mt del puente que atraviesa el río Duero, a donde van a dar las aguas residuales y que es el único punto donde la población tiene su descarga.

Las muestras se recolectaron en dos recipientes.

Para la determinación del Oxígeno disuelto (Demanda de Oxígeno) se utilizó un frasco DBO, mientras que para las demás determinaciones se usó un envase o frasco de plástico o de un galón de capacidad. Una vez obtenida la muestra, se determinó la temperatura, para lo cual se utilizó un termómetro ordinario. Posteriormente, lo más pronto posible, se trasladó la muestra en un recipiente con hielo para que se le hicieran los siguientes análisis.

- a) POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).- Es la medida de la concentración de iones Hidrógeno presentes en la muestra.

Método: el potenciómetro o comparación de

colores patrones.

- b) **SOLIDOS SEDIMENTABLES.**- Materia que debido a su tamaño y peso, se precipita en el fondo, durante un cierto período de reposo.  
Método: cono de Imhoff.
- c) **GRASAS Y ACEITES.**- Pueden encontrarse emulsionados, flotando o disueltos, dependiendo de los demás componentes que existan en el agua.  
Método: Extracción Soxhlet.
- d) **SOLIDOS TOTALES.**- Cantidad de materia que resulta de la evaporación de la muestra de agua.  
Método de evaporación a  $\{103^{\circ}\text{C}$ . La calcinación de lo anterior a una temperatura definida a  $(1000^{\circ}\text{C})$  de los sólidos totales volátiles.
- e) **SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.**- Materia que no logra pasar a través de un filtro de asbesto en un crisol Gosh, existiendo tanto error como cantidad de coloides exista.
- f) **MATERIA DISUELTA.**- Sólidos que logran pasar a través de un filtro de asbesto en un crisol Gosh, habiendo tanto error como sólidos coloidales existan.  
Método: diferencia entre (d y e).
- g) **DEMANDA DE  $\text{O}_2$  (DO).**- Cantidad de Oxígeno disuelto en el agua residual; es base para la determinación

de (DIO) o la (DBO) por el procedimiento de diluciones.

Método de Winkler.

- h) DEMANDA INMEDIATA DE  $O_2$  (DIO).- Es el abatimiento de (DO) en una disolución normal de la muestra al cabo de un tiempo seleccionado arbitrariamente (15 min.). Esto se debe, además, de la oxidación inmediata de la (DO) a una oxidación por parte del yodo liberado en paso de la acidulación por el mismo método. Es base para el cálculo de la (DBO).

Método de Winkler por diluciones.

- i) DEMANDA BIOQUIMICA DE  $O_2$  (DBO).- Es la cantidad de Oxígeno utilizada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica susceptible de descomponerse en un tiempo de incubación (5 días).

Método Winkler, por diluciones.

- j) DEMANDA QUIMICA DE  $O_2$  (DQO).- Es la demanda de Oxígeno no consumido por un oxidante químico.

Método del dicromato de Potasio.

- k) ALCALINIDAD.- Representa el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua.

Método del indicador de anaranjado de metilo.

- l) ACIDEZ.- Representa el contenido de ácidos fuertes,

débiles sales y acidez producida por hidrólisis.

Método del indicador de fenolftaleína.

- m) NITROGENO TOTAL.- Es el Nitrógeno que existe en forma amoniacal y el ligado orgánicamente, en estado trivalente. (No incluye el Nitrógeno de nitritos y nitratos).

Método de Kjeldahl.

- n) CLORUROS.- Es uno de los principales aniones presentes en las aguas residuales.

Método de Mohr.

- o) METALES.- Causantes de toxicidad y otros efectos adversos en las aguas.

Método de absorción atómica.

CUADRO No. 8 CARACTERIZACION DEL AGUA DEL MUNICIPIO DE ZAMORA

FUENTE	CE	SE	SP	RAS	PSP	CSR	BO	COLIFORMES TOTALES MPP/100	COLIFORMES FECALES MPP/100	DBO MG/LT	DQO MG/LT	ST MG/LT
RIO CELIO	200	1.35	0.53	0.72	43	0.56	0.08	$15 \times 10^4$	$23 \times 10^3$	125.75	220.2	222
RTO DUERO DESPUES DEL CELIO	200	0.97	0.34	0.42	39	0.46	0.24	$24 \times 10^4$	$46 \times 10^3$	125.75	220.2	222
EL LLANO	205	1.31	0.62	0.36	25	0.56	0.20	$43 \times 10^4$	$93 \times 10^3$	125.75	220.2	222
CANAL EL CALVARTO	344	2.04	0.98	1.33	75	0.0	0.05	$24 \times 10^4$	$43 \times 10^3$	210.5	236.4	292
LA RINCONADA	633	5.09	1.88	3.20	71.7	2.67	0.09	$23 \times 10^5$	$9 \times 10^5$	210.5	236.4	292
DESAGUE GRAL. DEL VALLE	339	2.20	0.78	1.46	68	0.98	0.05	$62 \times 10^6$	$60 \times 10^4$	212.09	239.8	
DREN PARTIDAS	315	1.77	0.73	1.24	70	0.64	0.05	$75 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	210.5	236.4	292
LA SAUCEDA	310	1.77	0.73	1.20	67.8	0.64	0.05	$93 \times 10^5$	$21 \times 10^5$	210.5	236.4	292

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las descargas tipo encontradas a lo largo de la Cuenca del Río Lerma son del orden de gasto de entre 10 y 50 Lps., por lo que la instalación de plantas de tratamiento primario a base de filtros y cribas sépticas en áreas de diseño de  $20\text{m}^2$  aproximadamente, son una alternativa barata y serían una posibilidad para la obtención de aguas sin sólidos y bajas en contaminación, que complementadas en el flujo de tratamiento con plantas naturales como las que nos ocupan y que desde los años sesenta se están probando en países como Alemania y los cuales garantizan un agua 100% libre de contaminantes químicos y biológicos, y que no ofrecen mayor gasto que el referido al terreno destinado al área vegetativa que hará el pulimento por el mecanismo de capilaridad a través del perfil del suelo.

Lo anterior consiste en sistemas de tratamiento primario para el pulimento del agua ahí generada y que se denomina sistema de tasa neta de aplicación del gasto de agua residual a un suelo con vegetación, y que soporta un volumen anual por metro cuadrado entre 0.5 y  $6\text{m}^3$  equivalente a 0.2 Lps de gasto continuo, por lo que para un gasto tipo de 20 Lps, se requeriría de un área

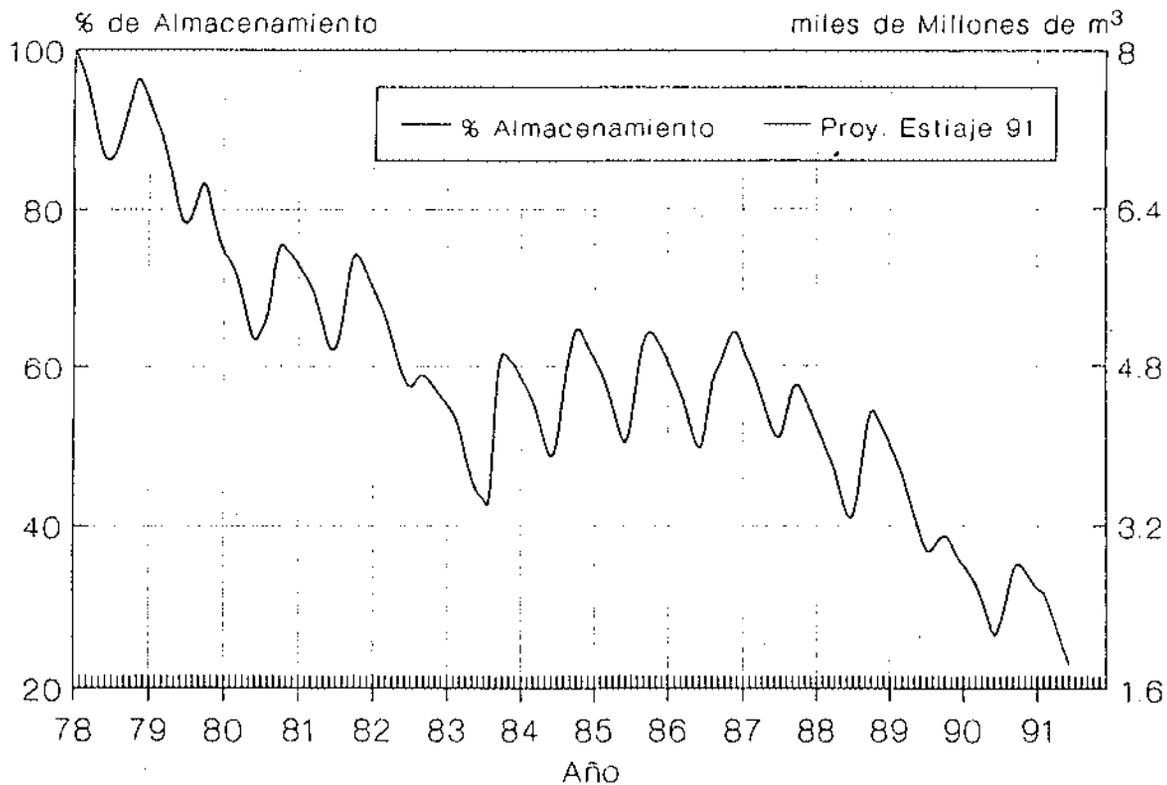
de suelo con vegetación de  $60m^2$  (se ha experimentado en esos países con caña y juncos).

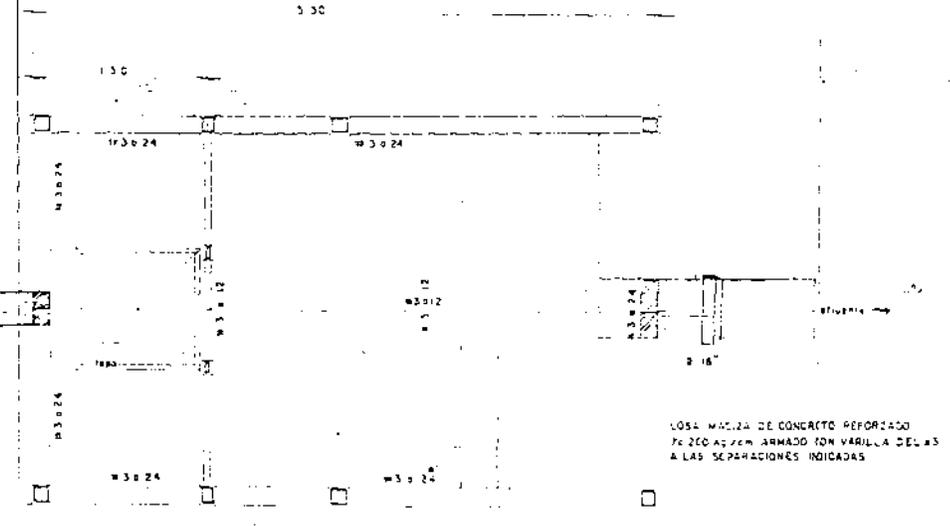
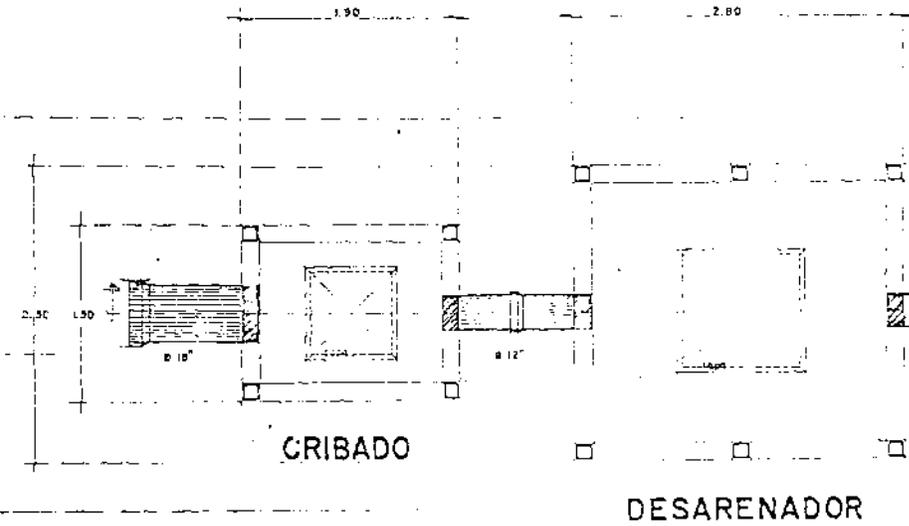
La propuesta del presente análisis será que en nuestra Facultad de Agronomía se validaran estos sistemas, haciendo propuestas visionarias, quizá con la posibilidad de cambiar el paisaje gris de las descargas crudas por espacios verdes en los lugares turísticos y por espacios productores de hortalizas en las áreas rurales, procurando con ésto un entorno más limpio y más saludable, por lo tanto, la recomendación sería instalar a nivel de comunidad una planta de tratamiento primario tipo a la que se describe posteriormente y que contemple el espacio verde que pulirá el agua residual, dejando en 0 la DBO. Indicando así, la ausencia de materia orgánica, y por ende, de coliformes. Y como se observa en los datos obtenidos sobre este particular, la remoción de sulfatos, nitratos, etc., con lo que el agua está en condiciones de no contaminar y poder utilizarse en el riego y/o dejarse en libre escorrentia hacia los cauces, sin el temor de contaminar el lecho lacustre de Chapala.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 1.- BATAILLON, C. 1967. Le Regions Geographiques au Mexique. Institut des Hautes Etudes de L'Amérique Latine. Paris. pp 171-179.
- 2.- BOYD, C.E. 1969. Vascular Aquatic Plants for Mineral Nutrient Removal from Polluted Waters. Economic Botany.
- 3.- CORREA P.G. 1974. Geografía del Estado de Michoacán I. Geografía Física. Morelia. Gobierno del Estado, según el plano del Municipio de Zamora, levantado por Jesús de Bernal. p. 52.
- 4.- DIARIO Oficial de la Federación. 18 de Diciembre de 1992.
- 5.- DIAZ S. 1956. La Desección del Lago de Chapala. Boletín de la Junta Auxiliar Jalisciense de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Guadalajara. Sep-Oct. T.X. No. 1 y 2. pp 13-18.
- 6.- GONZALEZ L. 1971. La Tierra donde estamos. Banco de Zamora. México. pp 136-142.

Fig. 1 Almacenamiento Porcentual 78-91  
Lago de Chapala





LOSA MACIZA DE CONCRETO REFORZADO  
 Fe 200 Kg/cm<sup>2</sup> ARMADO CON VARILLA DEL #3  
 A LAS SEPARACIONES INDICADAS

