

7  
628.3  
E 82i  
1967  
F.I. y Arq.

Ej.3 084379

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

IMPORTANCIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION EN EL  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS

PROYECTO DE INGENIERIA PRESENTADO POR:

PEDRO MIGUEL ESTRADA AVELAR

DAVID ENOC ESCOBAR CORDOVA

HECTOR ALFREDO QUIROA QUIJANO



PREVIA OPCION AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

SAN SALVADOR



1967.



A S E S O R   A C A D E M I C O

ING. ALONSO GARCIA RIVERA

C O N S U L T O R E S

ING. ANTONIO FERRER

ING. JOSE A. CHICO ROMERO

J U R A D O   E X A M I N A D O R

ING. ALONSO GARCIA RIVERA

ING. ANTONIO FERRER

ING. JOSE A. CHICO ROMERO

*IMPORTANCIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION EN EL  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS*

*CAPITULO I*

*INTRODUCCION:*

*Problema de las aguas negras  
Necesidad de tratar las aguas negras  
Objetivos.*

*CAPITULO II*

*CONCEPTOS FUNDAMENTALES:*

*CAPITULO III*

*ESTADO ACTUAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL SAL-  
VADOR:*

*Características demográficas  
Aspecto Sanitario  
Aspecto Económico  
Características de nuestros ríos  
Problema que ocasionan las aguas mieles del café y del azúcar  
Análisis de muestras tomadas de los ríos Suquiapa y Acelhuate.*

*CAPITULO IV*

*AUTOPURIFICACION NATURAL:*

*Dilución.  
Distintas etapas del proceso de autopurificación natural:  
    Zona de degradación  
    Zona de descomposición activa  
    Zona de recuperación  
    Zona de aguas limpias.  
Condiciones que requiere la autopurificación.*

*CAPITULO V*

*LAGUNAS DE ESTABILIZACION:*

*Generalidades  
Historia de las Lagunas  
Experiencias efectuadas en varios países  
Sistema de lagunas  
Tratamiento primario o previo  
Ventajas, desventajas y conveniencias del método.*

## CAPITULO VI

### PROCESO DEPURATIVA:

#### *Generalidades*

*Aguas negras. Su contenido.*

*Características de las aguas negras.*

*Caracteres físicos: color, olor, turbidez, temperatura, estabilidad.*

*Características bacteriológicas:*

*Proceso biológico. Flora y fauna.*

*Bacterias: clasificación, estructura, metabolismo.*

*Algas. Fotosíntesis: clasificación, metabolismo.*

*Simbiosis. (Dependencia entre algas y bacterias)*

*Hongos, protozoarios, rotíferos, crustáceos*

*Enzimas.*

## CAPITULO VII

### FACTORES DE DISEÑO:

*Cantidad y calidad del influente. Sustancias tóxicas.*

*Tasa de trabajo o intensidad de carga. Efecto de la tasa de trabajo.*

*Precipitación del lugar*

*Evaporación del agua de la superficie:*

*Temperatura del agua*

*Temperatura del aire*

*Presión de vapor*

*Humedad relativa.*

*Percolación. Prueba de percolación, Impermeabilizantes*

*Velocidad y dirección del viento. Aereación artificial*

*Período de retención*

*Cantidad y calidad del efluente. Su eliminación.*

## CAPITULO VIII

### ELEMENTOS DE DISEÑO:

*Selección del lugar*

*Estructura de entrada*

*Area, volumen, profundidad, forma*

*Diques*

*Estructura de salida*

*Cercas y señales*

*Operación y mantenimiento.*

## CAPITULO IX

### *CALCULO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL RURAL DE SAN ANDRES:*

*Generalidades. Propósitos.*

*Ubicación, topografía, nivel freático, condiciones meteorológicas.*

*Diseño de la laguna:*

*Determinación del caudal de entrada (influyente), carga orgánica aplicada, área, volumen, período de retención, forma, diques.*

*Cálculo de la evaporación.*

*Precipitación del lugar.*

*Efluente. Dilución.*

*Recomendaciones para su construcción y mantenimiento.*

*CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.*

*B I B L I O G R A F I A.*

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

## CAPITULO I

### I N T R O D U C C I O N

*Las aguas negras siempre han constituido un serio problema para la comunidad que las produce y para las comunidades aledañas, lo cual ha hecho que se piense en la forma de eliminar o reducir las consecuencias que dicho problema ocasiona.*

*En los tiempos actuales, la situación se ha agravado mucho más, debido a que la cantidad de aguas negras por evacuar es mucho mayor, y en nuestro medio los métodos empleados para la evacuación de las mismas, resultan poco satisfactorios, haciéndose necesario tomar medidas adecuadas que garanticen una rápida solución al problema expuesto.*

*En otros países, se han desarrollado métodos de tratamiento más eficaces, que han aliviado las molestias causadas por las aguas servidas, unas veces con el objeto de lograr un ambiente sano; otras, para proteger los recursos hidráulicos de la región; o bien, para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua, para fines industriales y agrícolas, mediante un tratamiento adecuado, debido a la escasez de fuentes naturales próximas o cuya explotación resultaría anti-económica.*

*En El Salvador, el problema de las aguas negras es manifiesto, haciéndose necesario que se adopten las medidas convenientes, a fin de*

evitar peores consecuencias en el futuro, el cual cobra mayores proporciones, debido al rápido crecimiento de nuestra población y al desarrollo industrial del país.

Es tal el volumen de aguas negras producido, que nuestros ríos resultan insuficientes para diluir satisfactoriamente estas cantidades, debido a su escaso caudal; aún más, al haber adoptado el método de dilución para eliminar tales aguas, se han echado a perder las fuentes de aguas naturales, por las altas contaminaciones de que son objeto, con los desechos domésticos e industriales.

Todo esto ha ocasionado graves consecuencias, ya que cuando los habitantes hacen uso de estas aguas, se exponen a sufrir una serie de enfermedades, producidas por los muchos gérmenes patógenos que se desarrollan en un medio tan adecuado.

Esto explica el alto porcentaje de morbilidad que encontramos en nuestras estadísticas, en donde las enfermedades gastro-intestinales son una de las principales causas, debida en parte al uso de aguas contaminadas; por otro lado, la demanda de agua potable cada vez mayor, nos hace pensar de que en un futuro próximo, las fuentes subterráneas de que nos abastecemos en la actualidad, van a ser insuficientes para suplir tal demanda, teniendo entonces que recurrir al uso de aguas superficiales, que por estar contaminadas, no serían aptas para ser consumidas, debiendo por consiguiente someterlas a un intenso tratamiento que sería más caro, cuanto más lejos estén de la potabilización.

De ello nos hemos percatado y debido a lo anterior, en la actualidad se está llevando a cabo un estudio de investigación de las aguas

subterráneas de la zona Metropolitana de San Salvador, para determinar hasta cuando conviene explotar los mantos subterráneos, antes de recurrir a otras formas de abastecimiento.

Al mismo tiempo, si se toma en cuenta la distribución de nuestra población, se encuentra que el 60% de la población total corresponde a la Rural, que es precisamente la que sufre los estragos de las corrientes poluídas, que le sirven para sus fines domésticos; prueba de ello, es que entre dicha gente se encuentra el índice más alto de morbilidad, por enfermedades gastro-intestinales. También debemos mencionar que dada la alta densidad de nuestra población, no se dispone de un lugar adecuado para evacuar las aguas negras crudas. Las características de nuestros ríos, a su vez influenciados por el régimen de lluvias, presentan una fuerte variación en sus caudales a través del año, haciendo que muchos de ellos, en la estación seca se conviertan en verdaderos colectores abiertos acabando con la flora y fauna del río, dando lugar a la propagación de vectores debido al desarrollo de gérmenes e insectos, volviendo al ambiente altamente nocido.

#### NECESIDAD DE TRATAR LAS AGUAS NEGRAS

Todos los problemas ocasionados por las aguas negras de los cuales se ha hablado, hace que se piense en adoptar las medidas necesarias, a fin de reducirlos o eliminarlos, o sea que, hay una urgente necesidad de tratar las aguas negras.

Eso garantizaría un mejor desarrollo desde el momento en que se está protegiendo la salud de los habitantes, conservando limpios y cl

ros nuestros ríos, explotando en una mejor manera los pocos recursos naturales, ya que nuestro país es eminentemente agrícola y necesita de un uso racional de dichos recursos.

El desarrollo industrial, por otro lado, también exige la adopción de medidas tendientes a evitar que las aguas servidas, provenientes de las diferentes industrias, se viertan en los alcantarillados que conducen las aguas residuales domésticas sin ser sometidas antes a un tratamiento que asegure que estos desechos industriales, ya no causarán mayores peligros; esto es debido, a que de cada industria se obtienen diversos desechos, capaces de causar serios daños a las mismas instalaciones de la planta industrial que las produce, así como a los alcantarillados que los han de conducir hacia la evacuación final.

Si algo se vuelve difícil, es determinar con precisión, como influye la industrialización en la contaminación de las aguas superficiales; así por ejemplo, en nuestro país se desconoce todavía, cual es el impacto que producen ciertos contaminantes tales como: yerbicidas, plaguicidas, insecticidas, etc... en la calidad sanitaria de nuestros ríos.

En resumen, la necesidad de tratar las aguas negras, es inmediata, por que con el tiempo, se volverá más difícil y se requerirá invertir fuertes sumas de dinero en la recuperación de nuestras aguas superficiales, para librarlas de contaminación y para entonces se presentarán simultáneamente, los problemas de potabilización, abastecimiento y disposición de los desechos.

#### O B J E T I V O S

En síntesis, los objetivos que se pretenden alcanzar al tratar

las aguas negras, son los siguientes:

- Proteger la salud de los habitantes del país.
- Conservar los recursos hidráulicos libres de contaminación.
- Destinar las aguas servidas, que han sido sometidas a cierto tratamiento, para fines de riego u otros.

Se nota pues, que los múltiples beneficios derivados del tratamiento de las aguas negras, justifica en una forma conveniente, adoptar los sistemas necesarios para conseguir dicho propósito, aún más, tomando en cuenta que cuando más tiempo se espera en afrontar este delicado problema, mucho más difícil será su solución.

Por esta razón, hemos pensado sugerir el método de las lagunas de Estabilización para el tratamiento de aguas negras, que ha dado muy buenos resultados, en los países donde se ha aplicado, estribando su mayor ventaja, en ser un método relativamente económico y efectivo, el cual trataremos de describir en la mejor forma posible, a fin de hacer notar la conveniencia de adoptarlo, como el más adecuado para resolver los muchos problemas que surgen al no tratar las aguas negras en forma conveniente.

Esperamos con ello, colaborar con nuestras autoridades sanitarias y de prestar por este medio, un servicio útil a nuestro país.

CAPITULO II

C O N C E P T O S   F U N D A M E N T A L E S

Con el objeto de lograr una mejor exposición en el desarrollo de nuestro tema, haremos una breve definición de los conceptos fundamentales que se encontrarán con mucha frecuencia en el presente trabajo.

Aguas Negras Domésticas: Son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. Son típicos de las zonas residenciales con poca industrialización .

Desechos Industriales: Son las aguas que contienen los desechos provenientes de los procesos industriales.

Aguas Negras Sanitarias: Son las aguas negras domésticas cuando se incluyen las aguas industriales.

Tratamiento primario: Es un tratamiento inicial que se le dá a las aguas negras, que generalmente consiste en someterlas al proceso de sedimentación.

Tratamiento secundario: Es el que sigue al tratamiento primario y que generalmente se realiza por medio de percoladores o fangos activados.

Dilución: Una forma de eliminación de las aguas negras, por su descarga en una corriente o en una masa de agua.

Coloides: Sólidos finamente divididos, que no se sedimentan, pero que pueden ser separados por coagulación o por acción bioquímica.

Proceso Físico: Es cuando la materia sufre cambios que alteran sus características físicas.

Proceso Químico: Es aquél en que la materia altera sus características y su composición química.

Proceso Biológico: Aquél en el cual intervienen seres vivientes, ya sea plantas o animales.

Simbiosis: Proceso biológico en el que dos organismos comparten el mismo ambiente con beneficio mutuo para ambos. Por ejemplo: el caso de las algas y las bacterias en una laguna de estabilización.

Oxígeno disuelto: (OD) Es la cantidad de oxígeno, que en un momento dado, se encuentra disuelto en las aguas el cual varía con la temperatura y concentraciones químicas. Se expresa en p.p.m. (partes por millón).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: (DBO) Cantidad de oxígeno requerida para la oxidación bioquímica de la materia orgánica, en un tiempo y una temperatura especificados. Se expresa también en p.p.m.

NMP de Coliformes: (número más probable de coliformes) Es el término que se utiliza para indicar la cantidad más probable de organismos del grupo coliforme en  $100 \text{ mm}^3$  de agua.

p.H: Es un índice que señala la concentración de Iones Hidrógeno en el agua, definiéndose como el logaritmo base 10 del inverso de la concentración de Hidrogeniones. A una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  un p.H. menor que

7 indica acidez; igual a 7, neutralidad; y mayor que 7, una solución básica o alcalina.

Auto-Purificación: Proceso mediante el cual el agua contaminada con materia orgánica putrescible satisface su Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en una forma natural. Este oxígeno se obtiene de la atmósfera a través de aereación o mediante el proceso fotosintético de las algas.

Condiciones Aeróbicas: Se dice que un cuerpo de agua está en condiciones aeróbicas cuando tiene oxígeno disuelto que permite que vivan y se desarrollen en él organismos que lo hacen en presencia de Oxígeno.

Condiciones Anaeróbicas: Cuando un cuerpo de agua no tiene oxígeno disuelto se dice que está en condiciones anaeróbicas lo que hace que vivan y se desarrollan en él, organismos que lo hacen en ausencia del oxígeno.

Organismos Patógenos: Son organismos capaces de ocasionar enfermedades.

Tratamiento de Aguas Negras: Se llama así a cualquier proceso artificial a que se sometan las aguas negras, para eliminar o alterar sus constituyentes inconvenientes y hacerlas así menos molestas o peligrosas.

Laguna de estabilización: Son estancamientos o enlagueamientos donde se lleva a cabo un proceso de tratamiento de las aguas negras, en que se aprovecha la acción simbiótica de algas y bacterias y otros factores como la intensidad y duración de la luz solar, el viento etc. mediante los cuales se consigue un desdoblamiento de la materia orgánica putrescible, convirtiéndola en materia orgánica más o menos estable.

Influyente: Es la cantidad de agua contaminada que entra a una laguna de estabilización, para ser sometida a un proceso depurativo.

Efluente: Agua depurada que sale de una laguna de estabilización.

Algas: Plantas primitivas generalmente pequeñas, que se encuentran casi siempre asociadas con el agua; pueden ser unicelulares o multicelulares. Por contener clorofila, cuando están en presencia de la luz solar realizan un proceso fotosintético, con gran importancia en el tratamiento de las aguas negras.

Bacterias: Organismos vivos de tamaños microscópicos unicelulares, que necesitan del oxígeno para vivir dando lugar con ello a productos de desechos. Son muy activos en la fermentación y conversión de la materia orgánica putrescible en nutrientes de plantas. Algunas de ellos son productores de enfermedades y otros son inofensivas.

Bacterias Aerobias: Son las que utilizan el oxígeno disuelto libre o molecular contenido en el agua, presentando la ventaja de que la descomposición que provocan, se lleva a cabo sin que se produzcan olores ofensivos o condiciones desagradables.

Bacterias Anaerobias: No pueden existir en presencia del oxígeno disuelto, lo que hace que lo obtengan de los sólidos orgánicos o inorgánicos, dando lugar con ello al proceso de descomposición conocido como anaeróbico o putrefacción, caracterizado por olores ofensivos y desagradables.

Virus: Forma de vida que se encuentra en las aguas negras, difícilmente visibles al microscopio y que constituyen junto con las bacterias patógenas, los agentes causantes de gran número de enfermedades.

Tasa de Trabajo ó Intensidad de carga Permisible: Es la cantidad de materia orgánica expresada en kg. de DBO/día que puede ser descargada por unidad de área, en una laguna de estabilización.

Período de Retención: Representa el tiempo teórico que una partícula de agua permanece en una laguna de estabilización; normalmente se expresa en días y se determina estableciendo la relación que existe, entre el volumen de agua almacenado en la laguna y el caudal diario promedio del influente.

Aguas Negras Frescas: Son las aguas negras en su estado inicial, inmediatamente después de que se le han agregado sólidos y otros desechos al agua de consumo; se conservan frescas, mientras dispongan del oxígeno disuelto suficiente para mantener una descomposición aeróbica.

Aguas Negras Sépticas: Son las aguas negras carentes de oxígeno disuelto, que han entrado por ello en una descomposición anaeróbica, resultando la producción de ácido sulfhídrico y otros gases. Tienen un olor fétido y desagradable, con sólidos suspendidos y flotantes, tomando el conjunto un color negruzco.

Aguas Negras Estabilizadas: Son las aguas negras en la que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes, que se descomponen muy lentamente o que ya no sufren ninguna descomposición. Dispone de oxígeno disuelto tomado de la atmósfera o liberado por el proceso simbiótico de algas y bacterias, eliminándose prácticamente el mal olor.

### CAPITULO III

#### ESTADO ACTUAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL SALVADOR

Con el fin de tener una mejor idea del estado en que se encuentran nuestras aguas superficiales, se hará en este capítulo, una breve descripción de las condiciones en que se encuentran algunos ríos, las cuales se han determinado mediante ensayos practicados en muestras, consideradas representativas de dichas aguas; pero antes, comenzaremos por analizar las características demográficas, geográficas, económicas etc. de nuestro país.

#### CARACTERISTICAS DEMOGRAFICAS:

El Salvador, cuya población actual se estima en 3.000.000 de habitantes, tiene uno de los más altos índices de natalidad en el mundo (alrededor del 3 %) y dada su pequeña extensión, (20.000 Km<sup>2</sup>) tiene una densidad de población promedio de 150 Hab/Km<sup>2</sup> que es sumamente elevada.

Esta población se encuentra distribuida en la siguiente forma: 260 núcleos urbanos de los cuales solo 27 tienen una población mayor de 5.000 habitantes; el resto, se encuentra distribuida aproximadamente en 2.000 cantones, constituyendo la población rural que representa el 60% de la población total.

Otra característica importante es el hecho de que la mitad de la población está compuesta por menores de 15 años, lo cual explica claramente, por qué sólo la tercera parte de nuestra población es económicamente activa.

#### ASPECTO SANITARIO:

Las estadísticas que registran este aspecto nos dan las siguientes cifras:

- Razón de mortalidad proporcional: 22‰
- Curva de mortalidad proporcional: la característica de los países sub-desarrollados.
- Mortalidad infantil: 70/1000 de los nacidos vivos.
- Mortalidad general: 13/1000 esperanza de vida al nacer.
- Principales causas de enfermedades: Infecciones de las vías respiratorias, gastro-enteritis y diarreas e influenza.

#### ASPECTO ECONOMICO

Como se dijo antes, sólo 1/3 de la población es económicamente activa, dedicándose a la agricultura el 60%; así mismo el 60% de las viviendas es habitada por no propietarios y sólo un 5% aproximadamente de las familias salvadoreñas, presentan un ingreso mayor de ₡ 500.00 mensuales.

#### CARACTERISTICAS DE NUESTROS RIOS:

Una serie de factores nos explica, el por qué nuestros ríos, generalmente no pueden librarse de la contaminación de que son objeto de su recorrido, entre ellos:

- *Alta densidad de población.*
- *Régimen de precipitación de lluvia.*
- *Epoca del beneficiado del café y del azúcar.*
- *La limitación de las cuencas de los ríos debidos a la influencia de la cadena costera y de la sierra madre. (trayectos cortos).*
- *La deforestación, la erosión etc.*

*Es típico en nuestros ríos, que las curvas de OD sean una continua combinación de tramos de recuperación y depresión, por las frecuentes descargas de aguas negras que reciben de centros poblados, beneficios, ingenios etc. A continuación se da una serie de datos relativos al desarrollo de los ríos, ya que de ellos dependen en gran parte los procesos autodepurativos.*

<i>Lempa</i>	<i>260 Kms.</i>
<i>Suquiapa</i>	<i>40 "</i>
<i>Sensunapán</i>	<i>40 "</i>
<i>Acelhuate</i>	<i>50 "</i>
<i>Jiboa</i>	<i>70 "</i>
<i>Acahuapa</i>	<i>22 "</i>
<i>Torola</i>	<i>130 "</i>
<i>Sucio</i>	<i>40 "</i>
<i>Grande de San Miguel</i>	<i>75 "</i>
<i>Ríos del sistema fluvial</i>	
<i>Costero</i>	<i>35 "</i>

Otro factor importante en el proceso de autodepuración, la constituye el caudal de los ríos, el cual experimenta fuertes variaciones debido al régimen de precipitación de lluvia, lo que hace que en la estación lluviosa se presenten los máximos caudales y los mínimos, durante la estación seca, con 2 pequeños períodos de transición.

A continuación se expone una tabla con los caudales máximos, medios y mínimos de nuestros ríos principales.

T A B L A  
1

CAUDALES MAXIMOS, MEDIOS Y MINIMOS

R I O S	Q. MAX.	Q. MIN.	Q. MEDIO	Q. MAX.
				Q. MED.
LEIPIA (Puente Lempiru)	1209.0	18.0	144.7	8.0
SUCUIAPA	62.7	5.6	10.0	6.0
SENSUNAPAN	145.8	2.2	6.9	21.0
SUCIO (Desembocadura)	152.0	2.2	17.0	9.0
ACEHUATE	89.65	1.6	13.3	7.0
JIBOA	135.50	3.4	6.8	19.0
TOROLA	1027.0	66.9	43.1	24.0
GRANDE DE SAN MIGUEL (El Delirio)	280.0	4.3	27.2	10.0

Datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Recursos Hidrológicos.

Se hace necesario también conocer el coeficiente de defluvio de una sección de un río, que representa la cantidad del agua de la cuenca que pasa por esa sección, durante un año.

La siguiente tabla contiene los valores de defluvio mensuales, observados en el año de 1964.

Estos datos pueden ser de mucha utilidad para determinar la dilución, al ser ocupados para evacuar las aguas residuales domésticas e industriales.

PROBLEMA QUE OCASIONAN LAS AGUAS MIELES DEL CAFE Y DEL  
AZUCAR.

Este problema merece una especial atención, por las grandes cantidades de agua que Comandan dichas industrias, obteniéndose por consiguiente grandes cantidades de aguas mieles altamente cargadas de materia orgánica, promoviendo la acción anaeróbica en los cursos de agua en que se deposita.

Los exámenes llevados a cabo por R. Norton, M. Pacheco y H. F. Santana en el Beneficio Curazao en 1945 y 1946 y contenida en sus "Estudios sobre el tratamiento de las aguas mieles del café", nos dan una idea sobre las características de las aguas procedentes del lavado de fermentación y del despulpamiento.

La tabla (3) contiene los datos del análisis practicado en 30 muestras separadas, de aguas de lavado posterior a la fermentación.

TABLA 2

DEFUJIOS MENSUALES POR RIO (MILLONES DE M<sup>3</sup>)

R I O	M E S E S											
	Y	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D
Lempa (Empira)	137.1	120.5	104.2	89.6	102.4	464.4	1169	708.5	1155.4	331.8	85.9	115.4
Sanguipa	23.1	21.1	22.1	21.5	20.4	23.4	39.3	31.4	33.9	26.6	25.2	23.1
Sonsunapán	7.5	6.5	7.5	8.2	11.2	17.2	24.3	30.9	37.9	35.9	17.5	14.7
Suoto (Desembocadura)	9.3	8.5	9.4	10.0	14.4	64.2	158.5	84.0	100.5	41.2	20.3	17.4
Jacahuato	6.4	10.2	10.5	14.9	19.6	47.7	93.3	59.9	105.5	35.8	7.2	7.2
Jiboa	11.1	9.2	9.2	10.1	9.9	13.4	32.5	30.7	33.9	24.6	14.5	13.4
Tirilla	23.6	20.0	19.2	21.4	27.7	194.9	297.9	198.6	312.9	175.8	32.3	29.5
Granio de San Miguel (El Dulce)		13.7	13.1	20.2	28.5	39.5	120.7	137.5	231.8	125.1	42.7	17.6

Estos datos pertenecen al Ministerio de Agricultura, Departamento de Estudios Hidrológicos.

T A B L A 3

AGUA DE LAVADO POSTERIOR A LA FERMENTACION (p.p.m.)

	MINIMO	MAXIMO	MEDIO
A N A L I S I S			
30D	295	3.500	1.700
3H	4.1	5.5	4.5
TURBIDEZ	250	4.000	1.750
SOLIDOS EN SUSPENS.	235	2.385	900
SOLIDOS TOTALES	885	3.140	2.100

Los datos del análisis practicados en 12 muestras separadas de aguas residuales del Desplumamiento, lo encontramos a continuación en la tabla (4).

T A B L A 4

AGUAS RESIDUALES DEL DESPLUMAMIENTO  
(p.p.m.)

ANÁLISIS	MINIMO	MAXIMO	MEDIO
BOD	3.280	15.000	9.400
pH	4.1	4.7	4.4
TURBIDEZ	1.500	4.000	2.900
SOLIDOS EN SUSPENS.	625	1.055	790
SOLIDOS TOTALES	10.090	12.340	11.300

Desafortunadamente en nuestro país no se han tomado las medidas necesarias para controlar y proteger las aguas de los ríos, como tampoco se ha acostumbrado investigar el comportamiento de los mismos en su curso durante las distintas épocas del año.

A continuación, se exponen los resultados de los exámenes realizados por el laboratorio de Bromatología de la División de Saneamiento de la Dirección General de Salud en muestras tomadas de los ríos SUQUIAPA y ACELHUATE, que son los receptores de las aguas negras de las 2 ciudades más importantes del país: Santa Ana y San Salvador, respectivamente. Esto nos dará una idea de la contaminación de nuestros ríos.

#### RIO SUQUIAPA

Además de recibir las aguas negras de Santa Ana, Tacachico y de otros caseríos, recibe también aguas negras de muchos beneficios entre ellos: Apanteos, Rio Zarco, La China, etc., así como las aguas contaminadas de los ríos: Chiquillo, Tepemiche y otros.

Se tomaron 2 juegos de muestras en diferentes puntos de su cauce; uno en el mes de Enero, durante la temporada de café y el otro en el mes de Febrero, ya fuera de temporada, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

P.A-B-54-5

ANÁLISIS DE OD Y DBO DE RÍO SUQUIAPA  
TEMPORADA DE BENEFICIADO  
NOUESTRA 20/ENERO/66

LUGAR DE LA NOUESTRA	Hora de toma	Tempor. de la muestra	OD p.p.m.	Valor OD. ppm.	% de OD de Saturación p.p.m.	DBO p.p.m.
10. Beneficio el Sauce	7	22	1.6	8.8	18	440
20. Río Chiquillo, aguas arriba	9	22	3.0	8.8	34	200
30. Canal Planta San Luis	9	22	4.1	8.8	47	153
40. Río La Cárcel, aguas arriba	8	23	3.3	8.7	38	100
50. Desembocadura Río Tepemicho, aguas arriba.	8	23	3.1	8.7	36	100
60. Puente estación hidrométrica	10	24	0.	8.5	0	100
70. Puente Ferrocarril (IRCA)	12	26	0.9	8.2	11	80

TABLA No. 6

ANÁLISIS DE OD Y BOD DEL RÍO SUQUIAPA

FUERA DE TEMPORADA

MESTRERO 11 / FEBRERO/66.

LUGAR DE LA MUESTRA	Hora de Toma	Temper. de la Muestra	OD p.p.m.	Valor de Saturac. OD, PPM.	% de OD de Saturac.	DBO p.p.m.
10. Beneficio el Sauce	13	28	1.4	7.9	18	200
20. Río Chiquillo, Aguas arriba	12	25	2.3	8.4	27	30
30. Canal de planta San Luis	11	25	6.5	8.4	77	50
40. Río La Cárcel, Aguas arriba	10	24	4.8	8.5	56	50
50. Desembocadura Río Tozomichu, Aguas arriba.	9	24	6.3	8.5	74	20
60. Puente Estación Ticomáctor	9	24	7.0	8.5	82	20
70. Puente Ferrocarril (IRCA)	8	25	5.5	8.4	65	70

TABLA No. 7

ANALISIS DE SOLIDOS - RIO SUQUIAPA  
(p.p.m.)

NUESTRA JUNDA EL 20 DE ENERO/56.

PREPARED DE BENEFICIO DO

ANALISIS	LUGARES DONDE SE TOMO LA MUESTRA						
	Pen. f. de Sólidos	Río Chiquillo	Canal Desemboc. Planta Sr. Luis Ojeda	Desemboc. Río Opomicho	Punto Estación Hidrométrica	Punto Ferrobús (IRCA)	
Sólidos totales	714	446	437	495	395	391	349
Materia Volátil Total	454	244	84	240	164	90	67
Sólidos fijos	256	202	353	255	231	301	282
Sólidos orgánicos	164	116	153	16	11	75	37
Sólidos orgánicos volátiles	100	62	49	10	10	11	11
Sólidos disueltos	552	330	284	328	314	316	312
Sólidos sedimentables org. / fijos	10	1.7	0.25	1.25	2.0	3.0	0.8
Sólidos inorgánicos	194	164	132	174	170	168	172

T A B L A 8

ANÁLISIS DE SÓLIDOS RÍO SUQUIAPA  
p. p. m.

MUESTRA TOMADA EL 11 FEBRERO 1966  
PROCESADA DE INMEDIATO

LUGARES DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA

	Bonifio, Saucos	Río Quiquillo.	Canal Planta San Luis	Descubierta Río Caro.	Descubierta Río Temapiché	Puente Estación Hidrom.	Puente Ferrero (1961)
<b>Sólidos totales</b>	491	364	321	305	315	318	310
<b>Materia volátil total</b>	310	155	106	115	119	121	102
<b>Residuo fijo total</b>	181	209	215	190	196	197	208
<b>Sólidos en suspensión</b>	7	52	33	7	37	24	14
<b>Sólidos en suspensión volátiles.</b>	6	7	13	2	11	7	6
<b>Sólidos disueltos</b>	484	312	288	298	278	294	296
<b>Sólidos sedimentados cm<sup>3</sup>/lit.</b>	3.50	1.4	0.5	0.15	0.10	0.3	0.05
<b>Alcalinidad</b>	148	160	150	152	162	156	154

EXAMEN BACTERIOLOGICO DEL RIO SUCQUIAPA

T A B L A 9

Fecha de Muestra

11 de Febrero de 1966.

Lugar de donde se tomó la muestra	Indice coliforme por 100 m.c. (NMP)
1. San Jairo El Sauco	más de 1.100.000
2. Río Chiquillo, aguas arriba	1.100.000
3. Canal de Planta San Luis	43.000
4. Río La Cánel, aguas arriba	43.000
5. D. S. Abocadura Río Toponiché (aguas arriba)	7.300
6. Punto Estación Hidrométrica	43.000
7. Punto Ferrrocarril IRCA	430

T A B L A 10

R I O A C E H U U A T E

Este río recibe las aguas servidas domésticas e industriales de la región Metropolitana y de los municipios de Apax, Melilla y Aguilaras. El análisis se practicó en un juego de muestras en el mes de abril, fuera de la temporada de beneficiado del café.

Los resultados obtenidos se dan en los cuadros siguientes:

ANÁLISIS DE ECHELOS - RÍO ACEHUATE      Fecha: 22 de abril de 1966

P.p. No.      T.D.N. No. 10

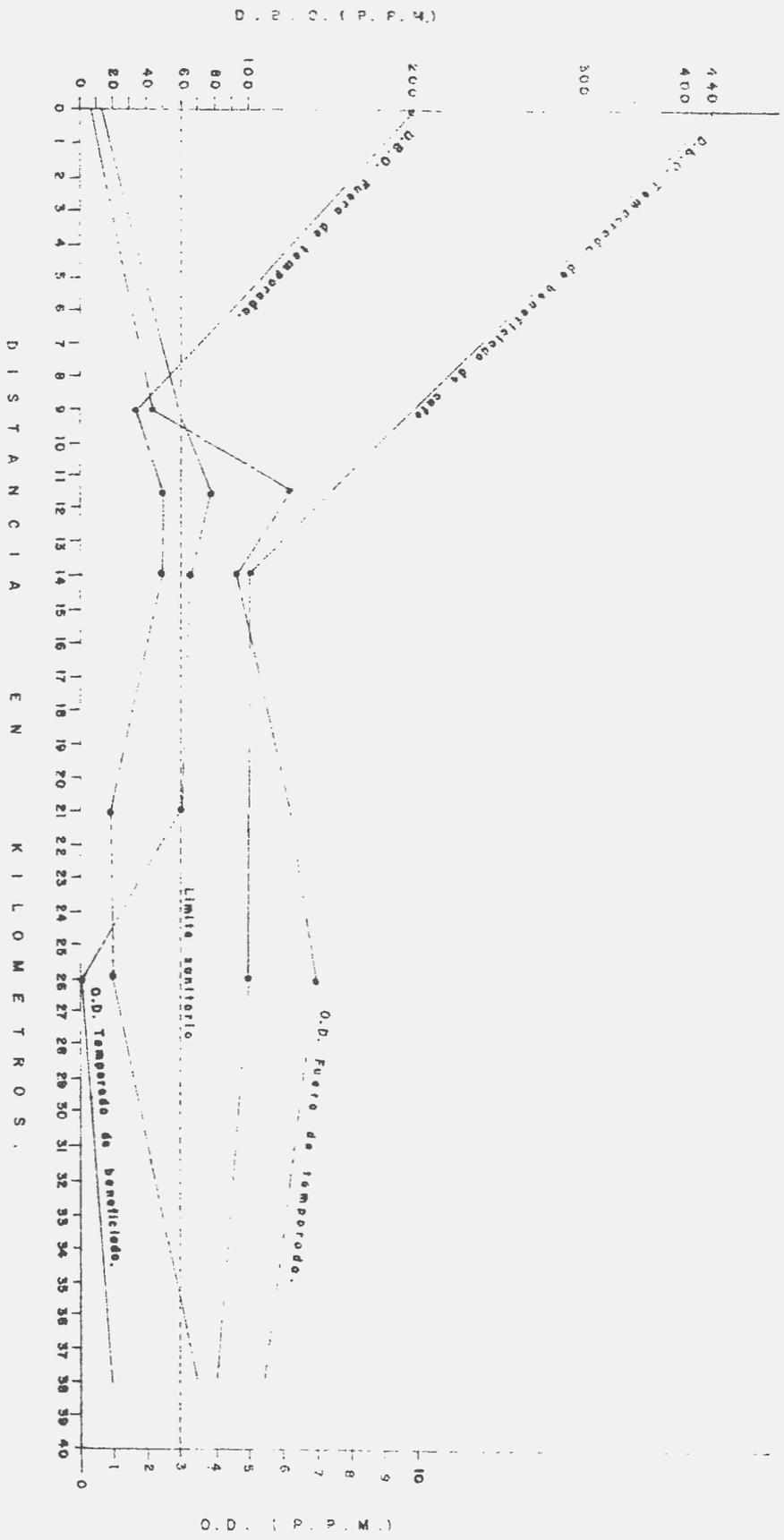
A N Á L I S I S	L U G A R E S D O N D E S E T O M O L A		K m . 6	K m . 32	E S T A D I O
	La Chorrera antes del Coloc. Prino.	La Chorrera después del Coloc. Prino.			
Sólidos totales	484	730	596	442	528
Materia volátil total	210	356	238	172	238
Residuo fijo total	274	374	358	270	290
Sólidos en suspensión	96	194	104	28	164
Sólidos en disolución	44	88	26	8	12
Sólidos disueltos	388	536	492	414	364
Sólidos sedimentables Org. / 2	7.9	5	0.6	2.0	1.7

TABLA No. 11

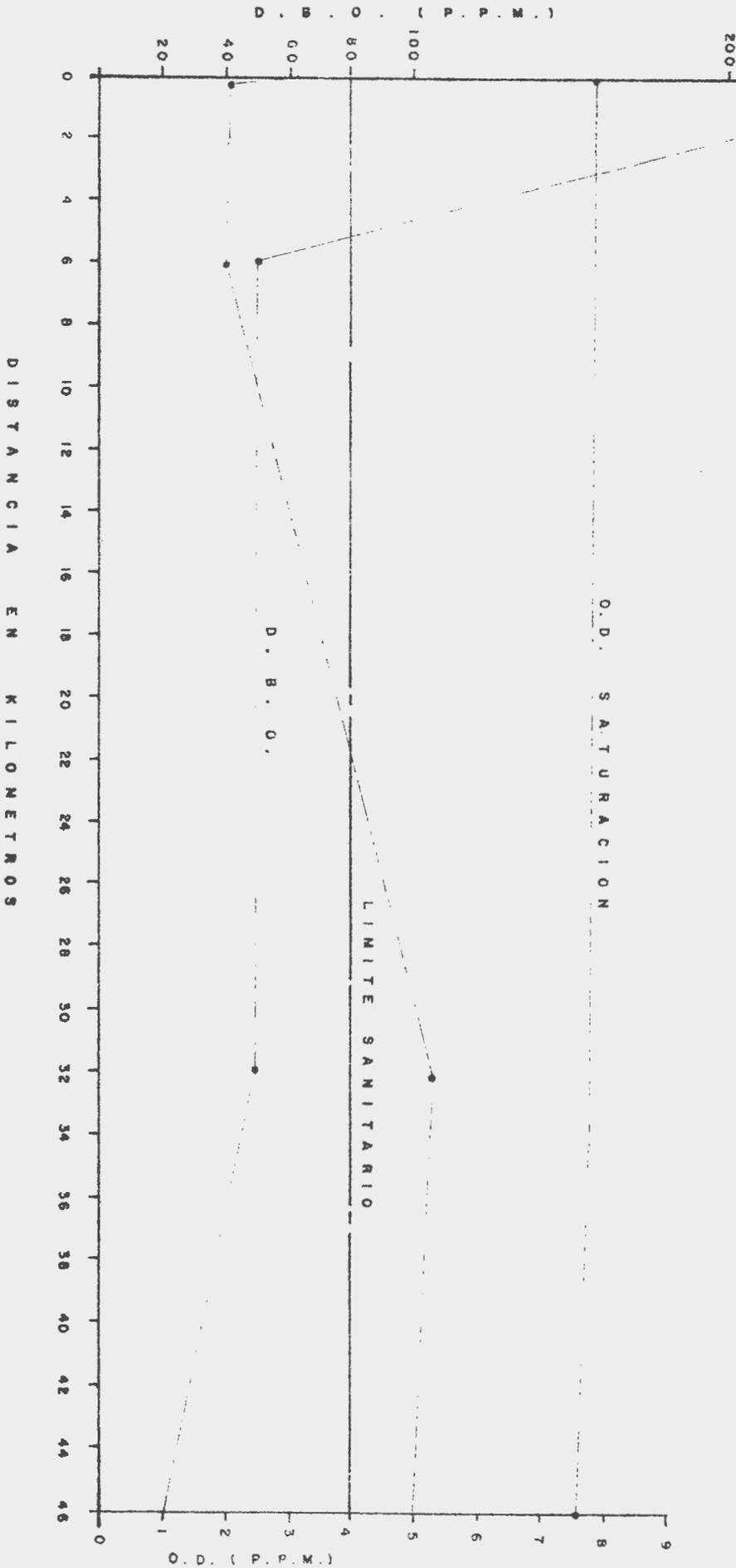
LUGARES DONDE SE TOMARON LAS MUESTRAS	Hora de Toma	Temp. de río °C	OD p.p.m.	Valor OD Saturac. (p.p.m)	% del OD Saturac.	SD (ppm)
C-1. La Chorrera antes de la descarga del C. Lector Principal	7	26	3.1	8.2	38	80
C-1. La Chorrera después de la descarga del C. Lector Principal	7½	28	2.1	7.9	27	270
Próximo al km. 6 y la Carretera Eranqui al Norte.	9	28	2.0	7.9	25	50
Plant del Puente de Aguilar, M. 32 Carretera Troncal del Norte.	11	29	5.3	7.4	68	50
Del Puente de Carretera Eranqui del Norte, Sector de Miraflores.	12	30	5.0	7.6	66	30

NOTA: M. se practicó el examen bacteriológico.

GRAFICA MOSTRANDO LA INFLUENCIA EN EL GRADO DE CONTAMINACION Y POLUCION DEL RIO SUGUIAPA EN LA EPOCA DE BENEFICIADO DE CAFE A 10 LARGO DE SU CURSO.-



GRAFICA MOSTRANDO D.B.O. 5 DIAS Y O.D. EN EL RIO ACELHUATE.



CAPITULO IV

AUTOPURIFICACION NATURAL

Se expuso en el capítulo anterior, el estado en que se encuentran las aguas superficiales, por las fuertes cargas de materia orgánica que reciben en su curso, provenientes ya sea de desechos domésticos, o industriales. El beneficiado de café y del azúcar, base de nuestra economía, sin duda son las principales causas de las contaminaciones en los ríos, por su alto contenido de materia orgánica.

En este capítulo, se describirá un proceso natural de depuración de las aguas servidas, que por ser llevado a cabo por la naturaleza misma, recibe el nombre de auto-purificación natural, siendo precisamente el proceso que ha servido de base, para que el hombre, preocupado por resolver el problema de las aguas negras, haya ideado distintos métodos de tratamiento, a fin de facilitar el proceso depurativo.

El fenómeno de auto-purificación natural se puede observar diariamente en los ríos y surge cuando las poblaciones arrojan sus aguas negras en las corrientes superficiales, logrando parcialmente desembarazarse de ellas, evitando en esta forma, molestias y malos olores; aunque no hay duda, que al actuar de esta manera y más que todo sin control, llega a cargarse tanto el río que termina con el oxígeno disuelto, dando origen así a los problemas mencionados. Bien pudiera adoptar-

se el método de las fosas sépticas para deshacerse de los desechos, pero cuando éstos se producen en grandes cantidades, no es aconsejable la eliminación por este medio y es entonces que se piensa en arrojar a las corrientes superficiales los desechos producidos.

El proceso de auto-purificación natural funciona en una forma sencilla: las aguas negras al ser descargadas en un río, lo afectan primeramente enturbiándolo, haciéndose difícil la penetración de la luz solar y consumiendo el oxígeno existente, convirtiendo las condiciones aeróbicas en anaeróbicas, recuperando las condiciones iniciales a medida que aumenta la producción de oxígeno.

Como este proceso se efectúa muy lentamente, se deduce que las aguas demasiado cargadas de materia orgánica, necesitan hacer un largo recorrido para lograr una depuración aceptable.

Es importante mencionar que en el organismo humano existen gérmenes patógenos, que aún cuando generalmente mueren fuera del organismo, algunos subsisten en las aguas negras y están entonces en condiciones de contaminar las aguas superficiales.

Con respecto a los diferentes elementos que componen a las aguas negras, podemos mencionar que la mayoría de éstos, sufren un ciclo de consumo y recuperación, mediante el cual tiende la materia a sus primitivas formas minerales, que es el propósito de todo tratamiento.

La autpurificación se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos.

Los medios físicos son esencialmente: La sedimentación de los sólidos suspendidos, formándose bancos de lodo; la de clarificación y la

re-aereación.

Las reacciones químicas y biológicas son más complejas. En efecto: los organismos vivos se alimentan de los sólidos orgánicos y de otros productos de desecho y a la vez sirven de alimento a otros superiores, continuando en esa forma la descomposición, hasta que los complejos sólidos orgánicos, que son reducidos a sales inorgánicas estables (nitratos, fosfatos, sulfatos, etc.) Estos sirven a su vez de alimento a otras formas biológicas como las algas, que en su proceso de desarrollo y metabolismo, liberan oxígeno como producto de desecho, disolviéndose en el agua y agregándose al que se obtiene de la re-aereación.

Todas estas reacciones hacen que el agua recupere las condiciones iniciales que tenía antes de ser contaminada, considerándose entonces que se ha completado la autopurificación.

DILUCION: Cuando las Aguas Negras son descargadas en las corrientes superficiales, se dice que se han purificado por dilución.

Bajo esta disposición de aguas negras, se contaminan las aguas receptoras; el grado de contaminación depende tanto de la dilución como de la calidad de las aguas negras (DBO) lo que indica que el OD y DBO están relacionados, ya que aquél deberá satisfacer al final la DBO de las aguas negras.

Existe sin embargo un punto de equilibrio entre el OD y la DBO, al cual técnicamente se le denomina BALANCE BIOQUÍMICO. Se comprende que para obtener un proceso satisfactorio, se necesita que el volumen de las aguas dilutoras, con respecto al volumen de aguas por diluir, sea mayor.

La Auto-purificación de una corriente se lleva a cabo en 4 etapas, que dividen consecuentemente al río en 4 zonas que son:

ZONA DE DEGRADACION

ZONA DE DESCOMPOSICION

ZONA DE RECUPERACION

ZONA DE AGUA LIMPIA

#### ZONA DE DEGRADACION

Esta zona queda localizada inmediatamente debajo del punto de contaminación, siendo fácilmente reconocible, desde luego que se presentan aquí toda clase de basuras, sólidos en suspensión, papeles, etc.

Las bacterias surgen en grandes cantidades, incluyendo las patógenas que se encuentran en las aguas negras. Aparecen adheridos a las rocas los hongos y demás seres filamentosos.

Al irse desarrollando poco a poco la vida bacteriológica, se va agotando gradualmente el oxígeno. En esta etapa, cuando el flujo es lento, los sólidos suspendidos se van sedimentando, originándose en esta forma abarcamientos de lodos.

#### ZONA DE DESCOMPOSICION

En todos estos procesos interviene siempre el oxígeno y es normal que se agote la reserva del mismo, quedando automáticamente sometida a la descomposición anaerobia, iniciándose en esta forma la putrefacción.

Las corrientes superficiales que se ven influenciadas por grandes cargas de materia orgánica, casi inmediatamente entran en el proceso de

descomposición. Cuando los cargas que continúan a las corrientes son tan bajas con respecto al volumen de las mismas, la aparición de esta fase ocurre con más tardanza, habiendo entonces más oxígeno disponible y por consiguiente se propiciará la vida aerobia, haciendo que desaparezca prácticamente la zona de descomposición pasando luego a la zona de recuperación.

La zona de descomposición representa un desarrollo anaeróbico, donde el oxígeno se agota de tal manera que ya no puede estabilizar más materia orgánica; desaparecen entonces las facultativas y por haberse llegado al máximo en la contaminación, aparecen malos olores y aumenta la turbidez, todo ello debido a que la materia orgánica ha sido atacada por los organismos anaerobios.

Aparecen depósitos de lodo debido a la sedimentación de sólidos suspendidos, tal como sucede en la zona de degradación.

Al progresar la descomposición de la materia orgánica, se reduce la cantidad de sólidos putrescibles y comienzan a disminuir de intensidad las reacciones de putrefacción.

### ZONA DE RECUPERACION

En las etapas anteriores se ha agotado enormemente la dotación de oxígeno, y que el proceso ha demandado una gran cantidad; sin embargo en esta zona es cuando se recupera dicho elemento volviéndose a utilizar en el proceso.

Seguidamente se experimenta una disminución en lo que respecta a sólidos y demás materias, lo que viene a favorecer la recuperación de la corriente.

Los microorganismos disminuyen considerablemente, empezándose a notar la fauna acuática, observándose entonces la desaparición de las bacterias anaerobias y la aparición de aerobias. Es notable también la sedimentación, formándose bancos de lodos conteniendo gusanos y larvas.

### ZONA DE AGUA LIMPIA

Esta zona comienza cuando ya casi se ha completado la descomposición de los sólidos orgánicos, correspondientes a la etapa de recuperación.

La zona de agua limpia se identifica con facilidad, ya que las aguas presentan el aspecto que tenían antes de ser contaminadas ni apareciendo en ellas, sólidos flotantes. Además presenta una transparencia normal y la concentración de oxígeno es bastante elevada, alcanzándose casi el punto de saturación.

Se incrementa la reproducción de peces, y si aparecen microorganismos vivos, incluyendo bacterias, será en cantidades muy pocas.

Las algas salen con gran libertad ya que encuentran las aguas en un ambiente propicio; estos organismos emplean como alimento, los compuestos inorgánicos estables, que provinieron de los compuestos orgánicos propios de las aguas negras.

Sumados todos los tiempos de cada zona, se obtiene el tiempo total de autopurificación, el cual no puede ser constante ya que su duración depende de varios factores:

- 1) Del volumen de aguas negras
- 2) Turbulencia del flujo
- 3) Temperatura del agua

4) *Diferentes cargas que actúan sobre la corriente.*

Condiciones que requiere la Auto-depuración

El proceso completo de la Auto-purificación puede llegar a verificarse siempre y cuando se mantenga una relación adecuada, entre los caudales de las aguas negras y los del río receptor, requiriendo que el OD satisfaga la DBO.

Cuando esto sucede, las aguas contaminadas no entrarán en ningún estado de putrefacción o septicización, pudiendo sobrevivir la fauna y flora del río con tal que el OD se mantenga arriba del límite sanitario, o sea 4 ppm. Pero cuando no se cumpla esta condición, es evidente que las aguas tienen que pasar por un proceso de descomposición, tanto más largo e intenso, cuanto más lejos se esté de lograr el propósito anterior; de modo que, cuando los ríos receptores tengan un corto recorrido y un pequeño caudal, sufrirán en todo su curso una continua descomposición, debido a la contaminación producida por las aguas negras que han recibido.

En resumen, para que el proceso de la auto-purificación natural se lleve a cabo en una forma satisfactoria, dependerá tanto de la cantidad y calidad de las aguas negras, como de las características del río receptor.

CAPITULO V

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Generalidades

Hasta aquí hemos expuesto los múltiples problemas que ocasionan las aguas negras, el estado actual de nuestras aguas superficiales y hemos descrito el proceso de la autodepuración natural, que es en el que se basan todos los métodos de tratamiento de aguas negras, entre los cuales encontramos el de las lagunas de estabilización.

Este método es hoy en día el más económico para darle un tratamiento aceptable a los desechos provenientes de una población, y por la urgente necesidad de efectuar tal tratamiento, conviene que se haga con el método que garantice alcanzar dicho propósito, a un costo relativamente bajo.

Muchas autoridades en Ingeniería Sanitaria, conocidas internacionalmente, se encuentran muy satisfechas con los resultados obtenidos con el método en cuestión. Enseguida citamos la manera en que se expresan los Departamentos de Salud de dos ciudades de EE.UU., que tienen mucha experiencia con la aplicación de las lagunas de Estabilización.

"Las lagunas de Estabilización constituyen una respuesta efectiva al problema del tratamiento de las aguas negras de las Comunidades".

"El uso de las lagunas de Estabilización como un método de tratamiento de aguas negras, ha progresado al punto de que ya no hay controversia sobre su aplicación.

Depto. de Dakota del Sur  
Noviembre de 1955.

El método se vuelve más ventajoso no sólo por lo económico sino por la sencillez de su operación y mantenimiento, ya que el proceso depurativo se verifica gracias a la acción biológica que desarrollan algas, bacterias y otros microorganismos, que en condiciones adecuadas, tienden a estabilizar la materia orgánica.

Dichas condiciones son las siguientes: Situación geográfica, luminosidad, intensidad de la luz solar, velocidad y dirección del viento, etc., así como la cantidad y calidad de las aguas que se quieren depurar.

Es lógico pensar, que nuestro país y todos aquéllos que carecen de los recursos económicos suficientes, no pueden hacer fuertes inversiones para resolver los múltiples problemas que afrontan, dándole prioridad a los que urgen de una atención inmediata, de modo que los aspectos no atendidos, se van poniendo en una situación cada vez más crítica, haciendo más difícil su solución.

Debido a que la disposición de los desechos domésticos e industriales, siempre ha constituido un serio problema para toda Comunidad, hemos pensado desarrollar el método de las lagunas de Estabilización por considerarlo el más indicado para resolver el problema planteado, señalando a la vez las ventajas y conveniencias del mismo.

## HISTORIA DE LAS LAGUNAS

Una laguna de estabilización es una estructura destinada al tratamiento de las aguas negras y sus principios descansan fundamentalmente en el fenómeno de autopurificación natural.

Este proceso se está verificando día a día, en ríos, lagos, lagunas, etc., que al recibir compuestos orgánicos putrescibles dan lugar a una autodepuración, logrando estabilizarlos. Esto nos revela que la historia del proceso que se lleva a cabo en dichas lagunas de estabilización, es tan antiguo como la naturaleza misma.

Hace ya muchos siglos, que pueblos de Asia usaban estas lagunas para descargar las aguas negras, aunque parece ser que en la antigüedad, enfocaban más el problema desde el punto de vista del desarrollo de la PISCICULTURA, que el de saneamiento ambiental.

Estos almacenamientos de aguas negras en lagunas se han practicado en los países de occidente desde hace poco tiempo. De Alemania se tienen datos sobre lagunas, que indican que desde hace unos 60 años, vienen experimentando con almacenamientos de aguas negras.

En los últimos años se han desarrollado técnicas modernas, en las cuales se hacen uso de percoladores, sedimentadores etc.; pero todas estas formas de tratamiento, obligan a construir estructuras costosas, con equipo mecánico de alto costo y un mantenimiento caro.

El desarrollo de estas técnicas para el tratamiento de aguas negras hizo que durante mucho tiempo en el Occidente se creyera que éstas, solo podrían depurarse mediante instalaciones, cuando en realidad la propia naturaleza puede efectuar una tarea excelente.

Las lagunas de estabilización se han ensayado con gran interés en Estados Unidos, teniendo alrededor de 65 años de estar experimentando con ellas.

Constantemente, y como es natural, nos van dejando bases de las experiencias que van adquiriendo.

El uso de lagunas en EE.UU. se experimentó por primera vez en una forma occidental, en Santa Rosa, California, debido a que se había obstruido un percolador, lo que obligó a descargar las aguas servidas en una depresión cercana, dando como resultado la purificación de las mismas, lo que hizo que se construyeron más lagunas en esa región.

En el año de 1929 en una localidad llamada Fossenden se tuvo la experiencia siguiente: se había instalado una red de alcantarillados, pero por razones económicas no lograron que se hiciera un tratamiento de las aguas negras mediante una planta de tratamiento, pensándose entonces en depositar dichas aguas en un estanque que excavaron apresuradamente en las orillas de la ciudad. Transcurrieron dos meses hasta que los funcionarios municipales decidieron hacer una inspección, quedando sorprendidos al descubrir que las aguas negras, habían adquirido misteriosamente un grado de purificación superior al que hubiera sido posible darles con un equipo costoso.

Debido a esto se construyó la primer laguna en la población de MADDOCK, situada en Dakota del Norte, en 1948; el comportamiento de esta instalación lo verificó el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos. En esa forma quedaron finalmente convencidos, de que las lagunas de estabilización pueden constituir un sistema eficiente para

tratar las aguas negras.

Es natural que los ingenieros de ese tiempo, no hayan aceptado con facilidad el tratamiento de las aguas negras basándose en este método desde luego que constituían cambios radicales en las técnicas de tratamiento.

Los pioneros en este campo han sido los departamentos de Salud de los Estados Unidos, especialmente la labor desarrollada en los Estados de Dakota del Norte y Dakota del Sur.

Resultado de ello fue que en esa zona se construyeron más de 100 lagunas de estabilización. Esto ha sido tan valioso ya que esas experiencias, han dado las bases para usar criterios adecuados.

Se insistió tanto en el método, que los demás países abordaron el tema con verdadero interés. Para conocer mejor su comportamiento, ensayaron con lagunas sometidas a diferentes cargas, es decir, a diversas condiciones de trabajo, lo mismo que con lagunas que utilizaban aereación mecánica. (lagunas que necesitan equipo mecánico para remover el aire y agitar el oxígeno disuelto, logrando de esta manera obtener más oxígeno de la atmósfera.)

Para este efecto, se recomienda, en base a diversas pruebas, que cuando una laguna está sobrecargada, se deberá de usar aereación mecánica por medio de compresores, tuberías perforadas, distribuidores y aereadores superficiales obteniéndose así un tratamiento más rápido.

#### EXPERIENCIAS EFECTUADAS EN VARIOS PAISES

Estas experiencias fueron efectuadas por varios países con el

afán de definir el comportamiento de las lagunas de estabilización, al ser sometidas a diferentes condiciones de trabajo; también con las mismas lagunas se investigó su comportamiento, cuando se aplicó aereación mecánica.

En Indiana (EE. UU), el experimento consistió en una laguna con teniendo desechos procedentes de una planta empacadora de carne. La intensidad de carga aplicada fué de 250 kg. de DBO/Ha/día, obteniéndose una remoción del 70% de DBO.

En la Universidad de Florida se hizo una experiencia muy interesante: se demostró que las lagunas de estabilización se mantienen aeróbicas y operan satisfactoriamente hasta cargas de 220-230 kg. DBO/Ha/día.

En el estado de Washington, cerca de la desembocadura del Columbia y con unas condiciones climáticas bastante desfavorables, se proyectaron y se construyeron lagunas que trabajaron en condiciones anaeróbicas, constiéndose a cargas del orden de 300 kg. DBO/Ha/día; se obtuvieron resultados sorprendentes, tales como una remoción de DBO de 85% y una remoción bacteriana NMP de 99%.

En Sao Paulo (Brasil), en la población de San José dos Campos, se proyectaron y construyeron 2 lagunas que trabajaron en serie: la primera fue anaeróbica y la segunda, aeróbica; se obtuvieron datos que corresponden a los efectos combinados de ambas lagunas, obteniéndose una remoción de DBO de 96% y una remoción bacteriana NMP de 99.8%.

La laguna anaeróbica trabajó con 600 kg. DBO/Ha/día, mientras que la laguna aeróbica trabajó con 100 kg. DBO/Ha/día.

*En Israel se ha experimentado con lagunas de estabilización anaeróbicas, para tratar aguas negras de tipo doméstico. Se sintieron malos olores debido a que la carga que se aplicó fué de 2300 kg. DBO/Ha/día. Sin embargo, se ha notado que las lagunas aeróbicas trabajan satisfactoriamente a cargas de 250 kg. DBO/Ha/día.*

*En Africa se experimentó obteniendo muy buenos resultados, en Nairobi, Africa del Este. La operación consistió en someter las lagunas a diferentes tasas de trabajo, con el objeto de determinar el límite entre lagunas aeróbicas y anaeróbicas, notándose que aquellas podían soportar cerca de los 300 kg. DBO/Ha/día, trabajando satisfactoriamente.*

*En Africa del Sur se realizaron estudios de la remoción bacteriana que ocurre en dichas lagunas, obteniéndose nuevamente resultados positivos, ya que la remoción bacteriana alcanzó el valor de 92.7%.*

*Los ensayos se hicieron con lagunas aeróbicas que trabajaron también eficientemente. Sus cargas estuvieron por los 45 kg. DBO/Ha/día.*

*Como vemos, se ha experimentado extensamente con este método de tratamiento y ha dado tan buenos resultados que nos parece un método práctico, sobre todo para usarlo en estos países, en donde si se usan métodos caros para el tratamiento de aguas negras, tendrá que asignarse aparte del costo de la obra, una cantidad adicional para fines de operación y mantenimiento, estando todo ello fuera de nuestro alcance por la falta de recursos económicos. De esto se deduce la conveniencia de adoptar las lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales.*

SISTEMA DE LAGUNAS

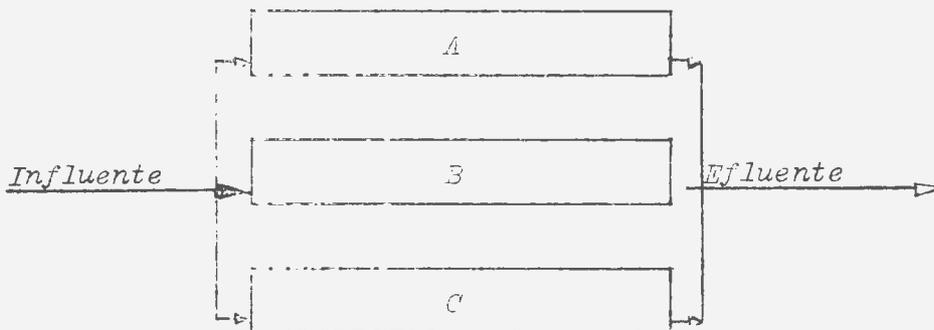
Cuando se requiere de más de una laguna o sea de sistemas de lagunas se pueden disponer en serie o en paralelo.

Las lagunas en serie reciben los efluentes en una secuencia de procesos de tratamiento ventajoso, pasando de uno a otro, hasta que sale de la última laguna con un nivel aceptable de purificación.



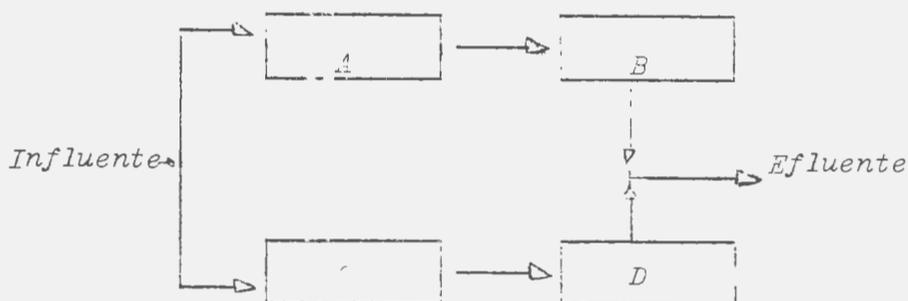
Esquema que muestra un sistema de lagunas en serie

Las lagunas en paralelo reciben el influente que ha sido canalizado o distribuido, en una forma simultánea, recibiendo el mismo grado de tratamiento en cada una, hasta que está listo para ser descargado.



Esquema que muestra un sistema de Lagunas en Paralelo.

Sin embargo el diseño óptimo es el que utilizan lagunas múltiples, las cuales pueden operar tanto en serie como en paralelo, permitiendo la recirculación de los desechos.



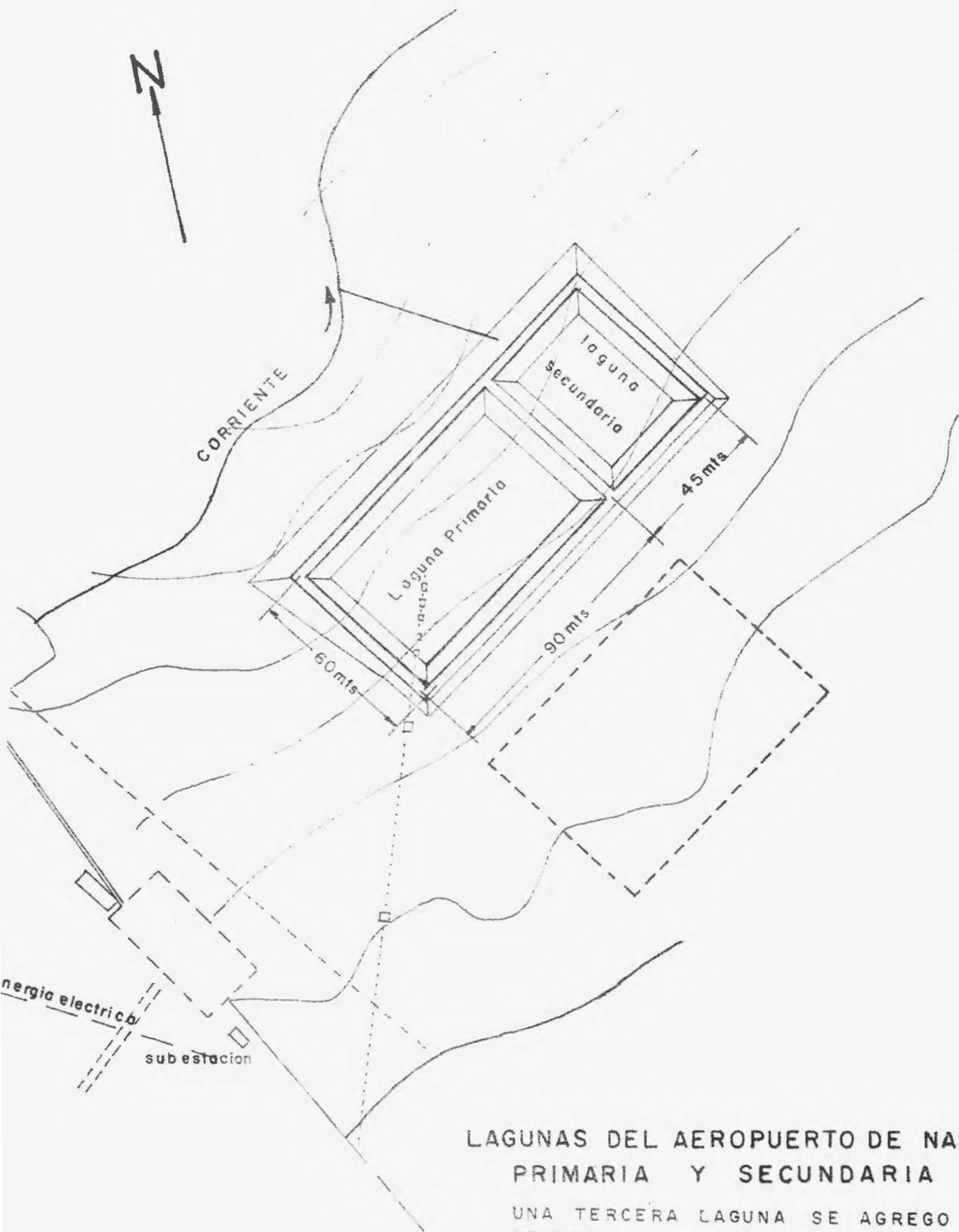
Esquema mostrando un sistema de lagunas múltiples

Aún cuando la reducción en el DBO es prácticamente la misma en las lagunas en serie, que las que se logran con lagunas en paralelo o una sola laguna, no sucede así con la reuucción de bacterias fecales (NMP de Coliformes); ya que es mucho mayor en aquellas. Por esta razón, las lagunas se disponen en serie, cuando se desea una alta calidad del efluente.

Por otro lado, las lagunas en paralelo presentan la ventaja sobre las lagunas en serie, que una de ellas puede quedar fuera de operación para repararla o removerle los lodos, sin afectar la operación del sistema.

Pero tanto las lagunas en serie como en paralelo, pueden ser diseñadas para recibir influentes altos que pueden producirse ocasionalmente (debido a las lluvias, etc.) o recibir permanentemente un incremento considerable en la carga total de DBO, por un tiempo indefinido, sin que cambie el tiempo de retención.

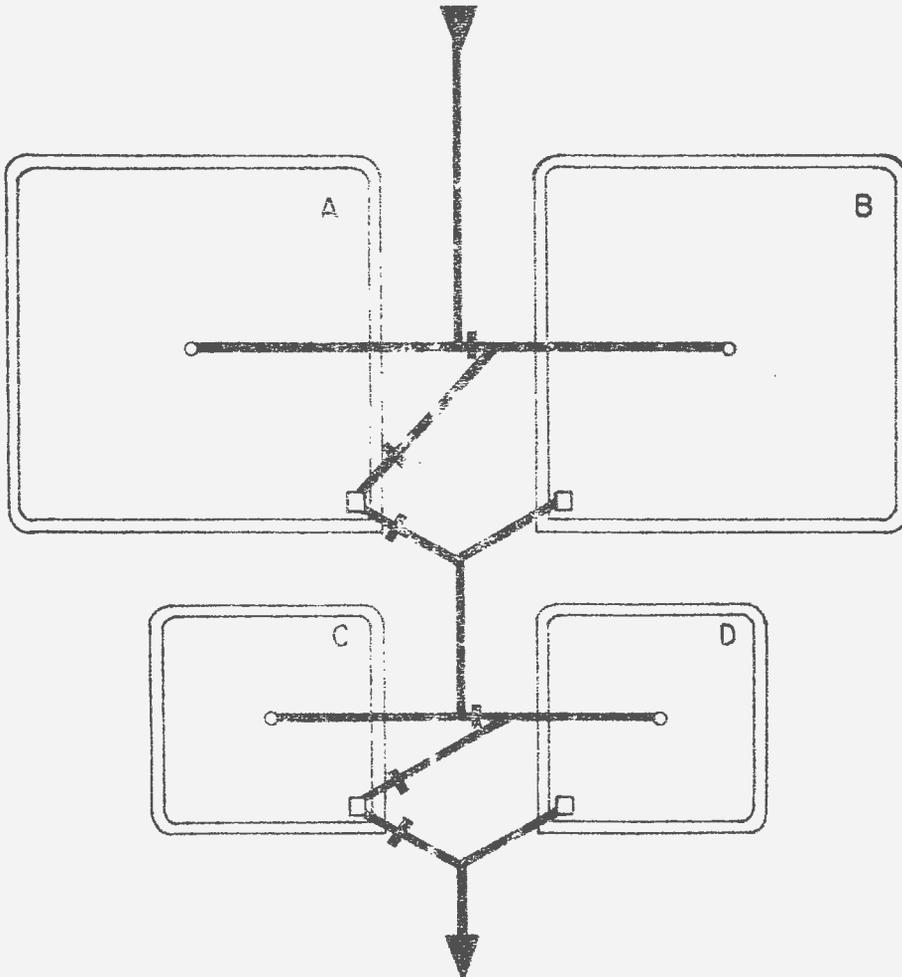
En resumen, lo mejor es un sistema de lagunas múltiples, ya que operan tanto en serie como en paralelo, teniendo la ventaja de cada uno, y permiten flexibilidad.



**LAGUNAS DEL AEROPUERTO DE NAIROBI  
PRIMARIA Y SECUNDARIA**

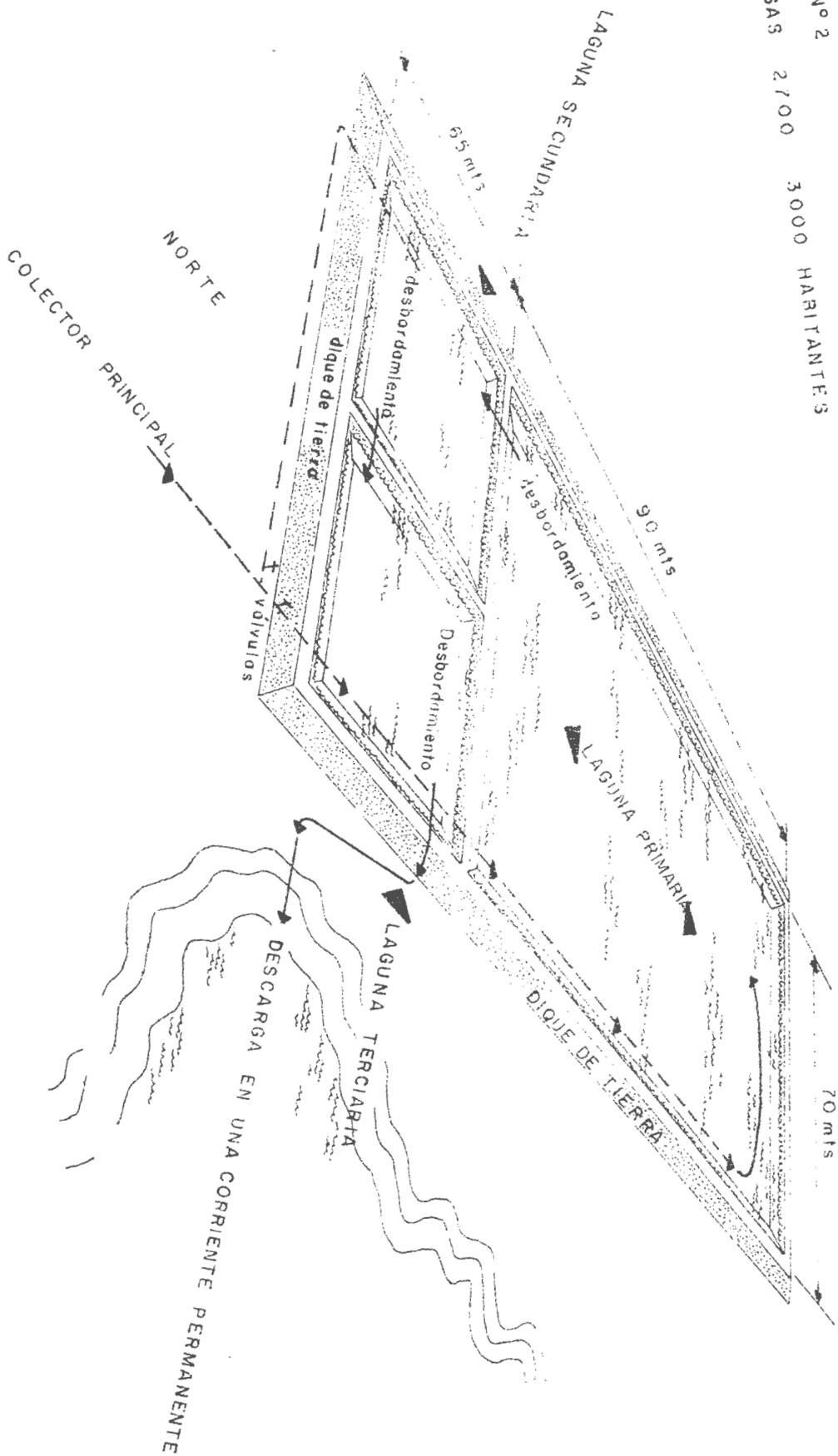
UNA TERCERA LAGUNA SE AGREGO  
DESPUES PARA EXPANDIRLO (observe linea  
punteada)

DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE  
CUATRO LAGUNAS

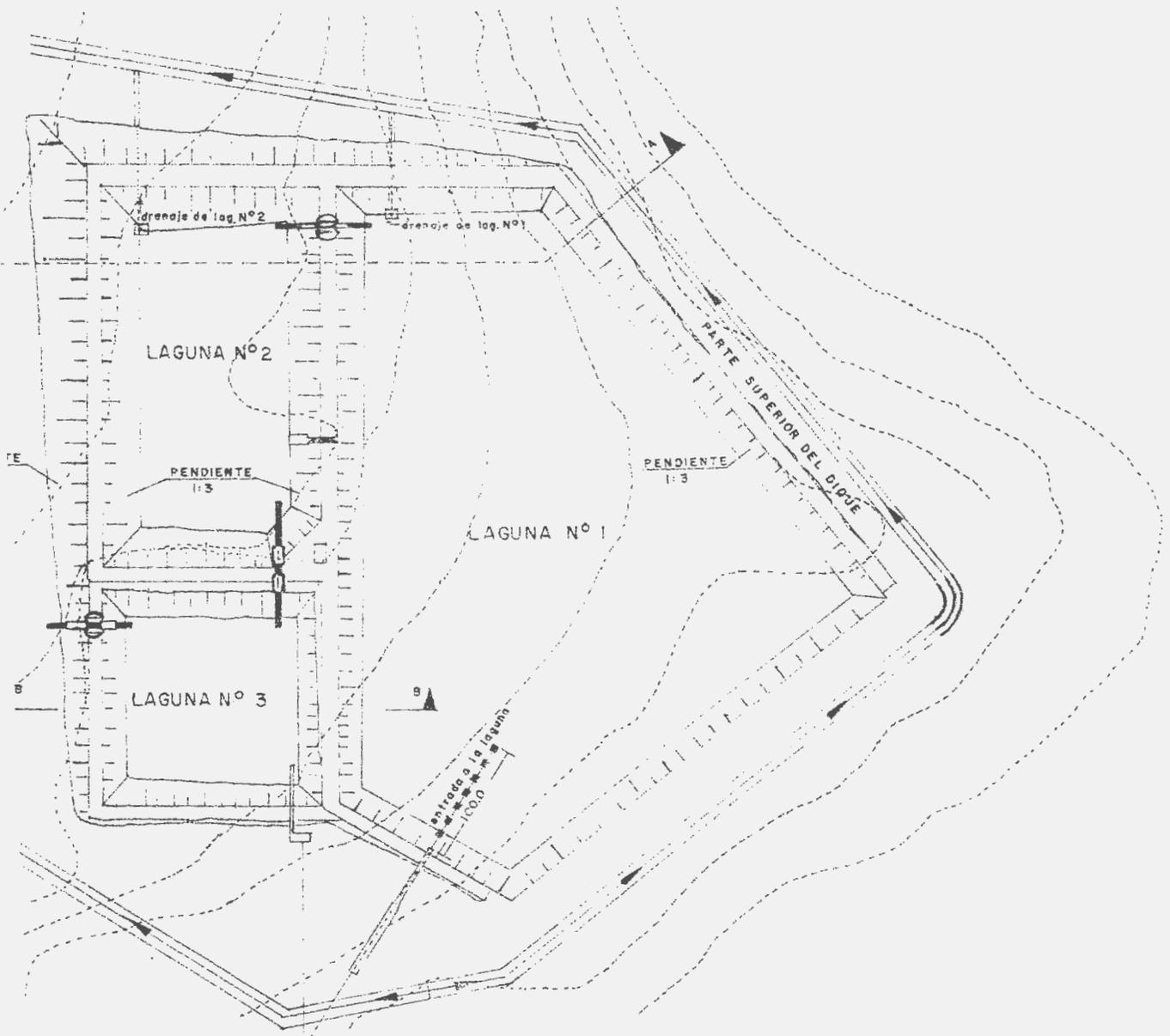


ISTEMA DE LAGUNAS CONSISTE DE CUATRO LAGUNAS USADAS YA SEA EN SERIE PARALELO O COMO UNA COMBINACION DE AMBOS. EL INFLUENTE PUEDE FLUIR EN LAGUNA "A" SOLAMENTE O EN LAS LAGUNAS "A" Y "B" SIMULTANEAMENTE. EL EFLUENTE A LAGUNA "A" ES DIRIGIDO A LA LAGUNA "B" SI ES USADO EN SERIE Y EL EFLUENTE A LAGUNA "B" (O "A" Y "B" JUNTOS) HACIA LAS LAGUNAS "C" Y "D" JUNTAS O SUCE-SIVAMENTE SI SE TRATA EN PARALELAS EL EFLUENTE FINAL SE DESCARGARA A LAS LAGU-"C" Y "D". SI ES TRATADO EN SERIE, EL EFLUENTE FINAL SE DESCARGARA A "D". VALVULAS NORMALES Y VALVULAS DE CONTROL DE ZANJAS SON NECESARIAS PARA UNA DIRECCION DEL FLUJO DESEADO.

ETAPA N° 2  
400 CASAS 2700 3000 HABITANTES



VISTA EN PERSPECTIVA



LAGUNAS DE ESTABILIZACION DEL NORTE DE MATERO, LUSAKA, AFRICA.

### TRATAMIENTO PRIMARIO O PREVIO

El objeto del tratamiento primario que se les dá a las aguas residuales, por medio de las lagunas de estabilización es retirar de ellas todos los sólidos orgánicos y minerales sedimentables. Sin embargo, esta idea de un tratamiento previo no es muy recomendable por cuanto en algunos casos investigados en los que se ha puesto a trabajar una laguna, primero sin tratamiento previo y luego con tratamiento previo de sedimentación, se encontró que la remoción de DBO y NMP, fueron mayores en el primer caso. No obstante se han experimentado otras maneras de hacerlo. Por ejemplo, en Long Beach, EE.UU., se construyó un sistema de varias lagunas, en el que el influente llegaba primero a una pequeña laguna que actuaban como sedimentador primario, pasando luego a una de mayor tamaño; se notó que la primer laguna mantuvo condiciones anaeróbicas llegándose a la conclusión después de un año de observaciones, que hubiera sido preferible construir una sola laguna.

A pesar de lo expuesto, algunas veces se hace recomendable acudir a un sistema de lagunas; por ejemplo cuando se acaba de construir una red de cloacas en una población, no todas las casas se conectan a la pared en una forma inmediata, sino que hay un período de conexión que puede durar hasta años; de modo que el uso de varias lagunas es ventajoso pues las lagunas se van construyendo a medida que el nivel sanitario aumenta.

Asimismo, el uso de varias lagunas es muy ventajoso en los pro-

jo aplicable.

*Este procedimiento se ha llevado a cabo en Lebanon, Ohio, Fayette, Missouri y Cañas, Guanacaste, en Costa Rica.*

*Al alejar las lagunas de los centros poblados, lo suficiente como para que no ocasionen molestias, en algunos casos se logra economía del terreno, al usar una laguna anaeróbica como tratamiento primario o previo. La conveniencia de usarla o no, depende más que todo de consideraciones de tipo económico tales como el costo del terreno, costo del colector y un costo mayor de operación de una laguna anaeróbica ya que con frecuencia deben de removerse los lodos acumulados.*

#### VENTAJAS, DESVENTAJAS Y CONVENIENCIAS DEL METODO

*Creemos necesario resumir en una forma breve, las ventajas que presenta el Método de las lagunas de Estabilización para el tratamiento de las aguas servidas así como las desventajas del mismo, cuando no se cumplen ciertas condiciones que justifiquen su selección. Del mismo modo expondremos las conveniencias de este método para el país por considerarlo el más adecuado, para resolver el citado problema.*

#### V E N T A J A S :

*Las ventajas son dos principalmente:*

*1) El sistema es relativamente económico, con respecto a los demás métodos de tratamiento convencionales (plantas de tratamiento que incluyen sedimentadores, filtros, aereadores, tanques Imhoff etc.)*

lográndose resultados magníficos que compiten con los logrados a costos excesivamente altos.

2) El mantenimiento y operación es en extremo sencillo y fácil lo que lo vuelve a la vez sumamente económico, ya que el proceso depurativo lo lleva a cabo la naturaleza misma (algas, bacterias, fotosíntesis, etc.) reduciéndose la intervención del hombre a velar por que se mantengan las condiciones normales del proceso.

#### DESVENTAJAS:

1) Las lagunas de estabilización requieren áreas extensas, cuando se trata de poblaciones relativamente grandes lo que vuelve inadecuada e inconveniente su aplicación.

2) Por lo anteriormente dicho, cuando se trata de terrenos demasiado caros, el costo de una laguna de estabilización resulta muy elevado.

3) La infiltración excesiva del agua a través del fondo y diques de la laguna, puede volverla inoperante cuando se trata de suelos permeables, cuya impermeabilización encarecería la obra.

4) Es necesario asimismo hacer gastos adicionales en la construcción de los muros de protección de la instalación, tales como cercas, señales, etc.

#### CONVENIENCIAS:

Para apreciar mejor la conveniencia de adoptar las lagunas de Estabilización para el tratamiento de las aguas negras en nuestro país, se expondrán a continuación, los diferentes sistemas de tra -

tamiento de desechos que deben usarse conforme lo demanden determinadas circunstancias como son la población servida, existencia de una red de alcantarillados, etc. siendo ellos:

1. Fosa sanitaria ó letrina, que se ocupa generalmente para la disposición de los desechos fecales, cuando se trata de viviendas aisladas.
2. Fosa séptica: se usa en pequeñas poblaciones de modo que la capacidad de las mismas, no debe de volver impráctica su aplicación; se usa también para el tratamiento de desechos provenientes de negocios, rastros, fábricas, etc. En este caso el efluente se dispone en pozos absorbentes.
3. Lagunas de estabilización: se recomiendan cuando una fosa séptica no resulta práctica para tratar las aguas negras de una población ó industria y una planta de tratamiento convencional resulta demasiado cara; son adecuadas para poblaciones de 1000, 2000, 5000, habitantes, etc. según las condiciones ambientales y la calidad y cantidad del influente.
4. Plantas de Tratamiento: implican una estructura costosa y un mecanismo de difícil operación y mantenimiento, de modo que su aplicación se hace en poblaciones que cuentan con recursos económicos suficientes, ó en aquellas demasiado grandes, donde no es posible otro método de tratamiento.

Podemos señalar dos razones principales por las cuales creemos conveniente la aplicación de este sistema para el tratamiento de las aguas residuales en El Salvador:

a) Existen en el Ecuador, 133 centros urbanos cuya población no pasa de 5000 habitantes, de modo que el método de las lagunas de estabilización es el más adecuado, habida cuenta que nuestras condiciones climáticas son favorables, necesitándose por ello, terrenos relativamente pequeños (1 a 2 Ha), que si se tratara de poblaciones mayores.

b) Las experiencias logradas a través de los años, en diversos países del mundo, son resultados satisfactorios, con suficientes para seleccionarlo como el más adecuado, para el tratamiento de aguas residuales.

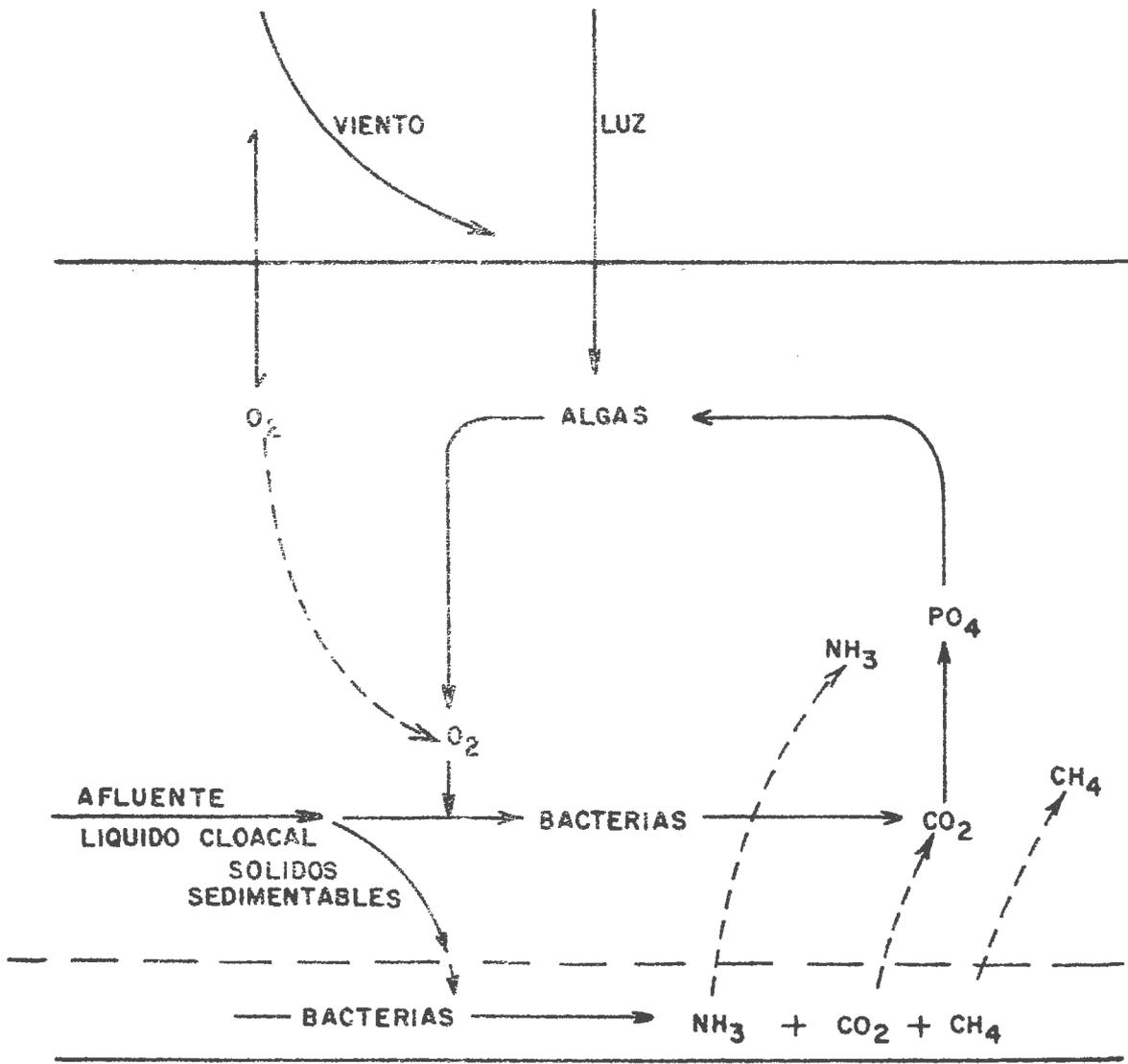


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION.-

## CAPÍTULO VI

### PROCESO DEFURATIVO

#### Generalidades

Consideramos conveniente incluir en este capítulo, el contenido de las aguas negras y sus características físicas, químicas y biológicas, ya que los cambios que éstas sufren, son los que reflejan el proceso depurativo que tiene lugar en una laguna de estabilización.

Asimismo creemos importante, hablar de los agentes tanto útiles como perjudiciales que viven y se desarrollan en estas aguas, por ser ellos los que realizan este proceso, que culmina con la estabilización de la materia orgánica, o sea, con la eliminación parcial de los desechos indeseables que contienen las aguas negras.

Como se ha dicho anteriormente, en estos últimos años se ha aplicado en nuevos sistemas para tratar los desechos que son las lagunas de estabilización, las cuales pueden usarse en cualquier región pero haciendo variar la eficiencia de operación, con la temperatura, la luz solar y otras condiciones propias del lugar.

La teoría de este proceso natural es compleja, exponiendo enseguida un breve resumen del mismo: en efecto, las aguas negras se colocan en un estanque diseñado de acuerdo a las condiciones locales, quedando el agua expuesta al medio ambiente, en donde se desarrollan

los fenómenos que se explican a continuación.

La descomposición de la materia orgánica existente en las aguas negras, se lleva a cabo en dos pasos:

- 1) La materia carbonosa de las aguas negras es descompuesta por las bacterias, formándose bióxido de carbono ( $CO_2$ ) amoníaco ( $NH_3$ ) y otras sustancias, que aprovechan para su nutrición, minúsculas plantas unicelulares denominadas algas, que utilizan el  $CO_2$  durante la fotosíntesis, que es un proceso natural que se lleva a cabo en los tejidos verdes de los vegetales, por la presencia de la luz solar y de la clorofila, a la que debe su color.
- 2) Las algas liberan el oxígeno del bióxido de carbono, aprovechando el carbono; el oxígeno liberado se disuelve en el seno del líquido, siendo utilizado por las bacterias. Como resultado de este proceso simultáneo, (Simbiosis), la materia orgánica es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno que estimula el desdoblamiento de la materia orgánica, con la consiguiente depuración.

#### Aguas Negras. Su contenido.

Cuando en una casa, fábrica, beneficio, etc., se hace uso de las aguas para las diferentes necesidades, reciben una serie de desechos, que cambian por completo su constitución inicial. Estos desechos transforman las aguas en indeseables y son causa de enfermedades, más que todo, si hay en ella materia de origen fecal, lo que significa que la contaminación de mayor peligro, es la originada por desechos humanos.

En el caso de provenir las aguas de un proceso industrial, el

contenido puede ser más que todo mineral, siendo también perjudiciales, y necesitando un tratamiento más intenso.

En cuanto a las aguas de lluvia, comúnmente se contaminan con las impurezas de los suelos de las poblaciones en las primeras lluvias, pero después si continúa lloviendo, escurren menos contaminadas.

### Características de las Aguas Negras

El contenido de las aguas negras debe de estudiarse desde 3 puntos de vista: químico, físico y bacteriológico.

Las características químicas de las aguas residuales en cuanto a su contenido son: materias minerales y materias orgánicas.

El contenido de materias minerales se puede determinar por medio de la evaporación de una muestra, siendo dado por el residuo seco después del calentamiento, ya que se supone que la materia orgánica se volatiliza.

Las materias existentes disueltas en el agua están en muy poca cantidad con respecto a todo su volumen y por esta razón, suele usarse la expresión "miligramos por litro" (Mg/lit) ó "partes por millón" (p.p.m) Por ejemplo; si tomamos una muestra del litro de agua residual de tipo doméstico, encontramos que su contenido de materias disueltas es del orden de un gramo; luego diríamos que su contenido es de 1000 mg/lit., o sea 1000 p.p.m., pudiendo determinar los diferentes elementos que forman tal cantidad.

Para un efluente correspondiente a una dotación del orden de 150 Lts/Hab./día se consideran normales los valores medios contenidos en la siguiente tabla.

NATURALEZA DE LAS MATERIAS	MINERALES	ORGANICAS	TOTAL
<i>Materias en suspensión:</i>			
Separables por decantación.	130	270	400
No separables por decantación. ....	70	130	200
Materias disueltas .....	330	330	660
Conjunto .....	530	730	1260
<i>En mg/lt (o gramos/M<sup>3</sup>)</i>			

Como una comparación, se puede mencionar que las aguas potables contienen hasta 500 mg/lt. de materias disueltas, mientras que las aguas negras domésticas, de 800 a 1000 mg/lt. Aunque realmente al calentar una muestra el residuo total llamado sólidos totales, es de contenido mineral y orgánico, siendo en las aguas domésticas del orden de 1000 mg/lt., mientras que en los desechos industriales, alcanza valores hasta de 7000 mg/lt. Si la muestra de los residuos totales se sigue calentando, la parte que se volatiliza, es la materia orgánica y el residuo que ahora queda es el residuo fijo, formado únicamente por la parte mineral.

El contenido mineral de las aguas negras domésticas es prácticamente el mismo que el de las aguas naturales, diferenciándose en su contenido de materia orgánica que es mayor que en aquéllas. Sin embargo en los desechos industriales, el contenido de minerales es aumentado considerablemente según el tipo de la industria.

En el siguiente cuadro, se detalla en forma breve el contenido mineral de las aguas negras industriales con las propiedades que las caracterizan:

C O N T E N I D O . M I N E R A L

P R O P I E D A D E S

Sales	Calcio y Magnesio	Bicarbonato .....	Alcalinidad, dureza
		Carbonato .....	Alcalinidad, dureza
		Sulfato .....	Dureza
		Cloruro .....	Dureza, corrosión de calderas.
	Sodio	Bicarbonato.....	Alcalinidad, efecto suavizante.
		Sulfato.....	Formación de espuma en los generadores de vapor.
		Fluoruro .....	Actúa sobre el esmalte de los dientes.
		Cloruro .....	Gusto.
		Oxido de hierro .....	Gusto, dureza, agua rojiza, corrosión de metales.
		Oxido de Manganeso .....	Aguas negruzcas o pardas.

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

La materia orgánica es de naturaleza animal o vegetal y se presenta en forma muy variada, siendo derivada de los elementos H, O, C, N, S, cuando se convierten en desechos, formándose compuestos ternarios y quaternarios.

Dentro de las aguas en descomposición, sobre todo cuando empieza, se producen gases nocivos, irritantes y venenosos como  $SH_2$ ,  $NH_3$  y otros gases inertes como  $CO_2$ . Esta transformación constituye la putrefacción, produciendo nuevos cuerpos, con propiedades diferentes a base de los mismos elementos, en la siguiente forma:

C O N T E N I D O

P R O P I E D A D E S

GASES

Oxígeno .....	Corrosión de metales
Bióxido de carbono .....	Corrosión de metales, acidez
Sulfhídrico .....	Olor a huevos podridos, acidez.
Nitrógeno .....	Corrosión de metales.

CARACTERES FISICOS

Para estudiar los caracteres físicos de las aguas, se hará bajo los siguientes aspectos:

Turbidez

Color

Olor

Temperatura

Estabilidad

TURBIDEZ

Es una medida de la opacidad que presenta la materia suspendida al paso de la luz; esta materia en suspensión la forman más que todo la arcilla, limo, arena fina, sustancias terrosas, materia orgánica finamente dividida y los organismos microscópicos.

La turbidez no depende únicamente de la cantidad del material en suspensión, sino que también del tamaño de las partículas que forman ese material.

OLOR

Es debido a las materias orgánicas y minerales. Entre las orgánicas están las de origen vegetal en descomposición, como los tanatos, galatos ácidos orgánicos; entre los minerales está el hierro en forma de sales.

La coloración de las aguas, es provocada por los cuerpos en estado coloidal o en solución.

Al observar la coloración en una muestra, se puede apreciar en una forma aproximada, las condiciones en que se encuentra la laguna; por ejemplo, el color verde fuerte da una idea de haber buenas condiciones aeróbicas durante el día; un color oscuro, indicará sin lugar a dudas, condiciones anaeróbicas.

El color es inofensivo y su intensidad en una laguna tiene que ver tanto con la cantidad de albuminoide, como del oxígeno consumido. Los desechos industriales pueden contener tinturas y otras sustancias colorantes de varios matices, que no se puede medir por una prueba standard para color.

### OLOR

Es producido por sustancias volátiles asociadas con materia orgánica, organismos vivientes principalmente algas y gases, tales como el sulfuro de hidrógeno que le dá un color característico e irritante a las aguas negras.

Los organismos vivientes microscópicos, como se dijo antes, producen olores característicos y en base a eso se puede conocer su especie. La medida de su intensidad, se verifica diluyendo la muestra en agua libre de olor. El problema de su medida radica en que varía según la observación personal, por lo que puede variar de persona a persona y también depende de la fatiga de los nervios olfatorios en el mismo observador y por tal razón, la medida del olor no tiene mucho significado, ya que el aumento de temperatura hace que exista un desprendimiento de gases, con lo que el olor se vuelve más fuerte y ofensivo.

### TEMPERATURA

La energía calorífica que poseen las aguas negras la proporcionan la luz solar, las capas terrestres que están bajo las aguas y también el aire, pero en menor cantidad. Para profundidades relativamente pequeñas los cambios de temperatura son grandes; por ejemplo, para un metro de profundidad, hay variaciones hasta de varios grados centígrados.

El agua aumenta su temperatura durante el día y en la noche la disminuye, transmitiendo su calor con mayor facilidad a la superficie.

Por otra parte, el oleaje y el viento ayuda a que el agua superficial se mantenga a una temperatura casi constante. La medición de la temperatura es importante, por estar ligada con la magnitud de la densidad, viscosidad, presión de vapor y tensión superficial de las aguas, así como las actividades químicas y biológicas tales como la corrosión, el DBO, el crecimiento y extensión de microorganismos.

### ESTABILIDAD

Es una propiedad que poseen las aguas de conservar ciertas cualidades por cierto tiempo, sin que aparezcan otras diferentes. En una laguna debe tratarse que vuelva el agua a su estabilidad, por que cuando son descargadas en ella, se presentan con un contenido de materia orgánica y microorganismos que son los causantes de fermentaciones putrescibles; pero cuando existe oxígeno libre en el agua, se alivia la putrefacción de la materia orgánica; por lo tanto, en las lagunas de estabilización, debe procurarse que exista siempre oxígeno disponible (OD) para que las aguas logren cierto grado de estabilidad, según el fin a que se destinen; a ello se debe el nombre de "Lagunas de Estabilización".

### CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS

Todos los cambios, tanto físicos, como químicos que hasta ahora se han expuesto, son originados por los organismos vivientes microscópicos que habitan en la materia orgánica y al hallar en éstas, condiciones adecuadas, la relación para su nutrición en una cantidad que depende del medio ambiente; todo esto significa que también el contenido de microorganismos en las aguas, están relacionados con la estabilización de las lagunas; luego, conviene hacer un breve análisis de las aguas negras, desde un punto de vista biológico. Los microorganismos en las lagunas de estabilización, son los mismos que se estudian en otros procesos de tratamiento; la cantidad de las diferentes especies de microorganismos depende, tanto de las condiciones de carga como del diseño físico de la laguna; por ejemplo; una laguna de estabilización con una carga orgánica baja, poseerá un predominio diferente de ciertas especies que la que tiene una carga orgánica alta. Lo mismo sucederá con una laguna que tenga una distribución de carga casi uniforme, que una que no la posea.

### PROCESO BIOLOGICO

Anteriormente se expuso que en las aguas negras, las especies vivas, a pesar de ser de dimensiones pequeñísimas, desempeñan un importante papel en su purificación y en el caso de las lagunas de estabilización, dicha importancia es mayor por tratarse de una autopurificación natural, siendo conveniente describir el contenido biológico de las aguas negras.

Los microorganismos son clasificados por lo general, en dos grandes grupos: Flora y Fauna. La Flora comprende: Bacterias, algas, hongos y virus. La fauna: Protozoarios, rotíferos y crustáceos; es os dos últimos están clasificados como microscópicos.

## FLORA. BACTERIAS

Es el grupo de más importancia en Ingeniería Sanitaria, en lo que a depuración de aguas se refiere. Algunas dañan a los vegetales superiores y a los animales; pero también son de mucho beneficio en las plantas de tratamiento para estabilizar la materia orgánica. Por su enorme importancia, a continuación, se mencionan algunas de sus características: las bacterias son la unidad básica de los vegetales, o sea, la más simple forma de vida vegetal. Se dice que la bacteria es planta, aún cuando generalmente se encuentran dificultades en creer que lo sea, debido al hecho que la vida vegetal siempre va ligada con el concepto de fotosíntesis y con la clorofila; pero a pesar de no poseer clorofila, se dice que las bacterias son vegetales por su misma estructura y por la manera como toman sus alimentos.

Para saber porqué la bacteria estabiliza los desechos en los compuestos orgánicos y como lo hace, y aun más, como usar estos conocimientos en el tratamiento de aguas, es importante conocer y entender la función de cada porción de la célula bacteriana.

### Clasificación

En efecto, por su forma las bacterias se clasifican en 3 grupos: unos que tienen forma redondeada y su nombre técnico es COCCUS; otros que son como cilindros y se les llama BACILLUS y otros que son como especie de filamento en forma de espiral y se les llama ESPIRILLUM.

De todas estas formas la más común es la forma de cilindros y se observa agrupada en 3 formas diferentes:

- a) Células individuales, b) Células aparcadas y c) Cadena de células.

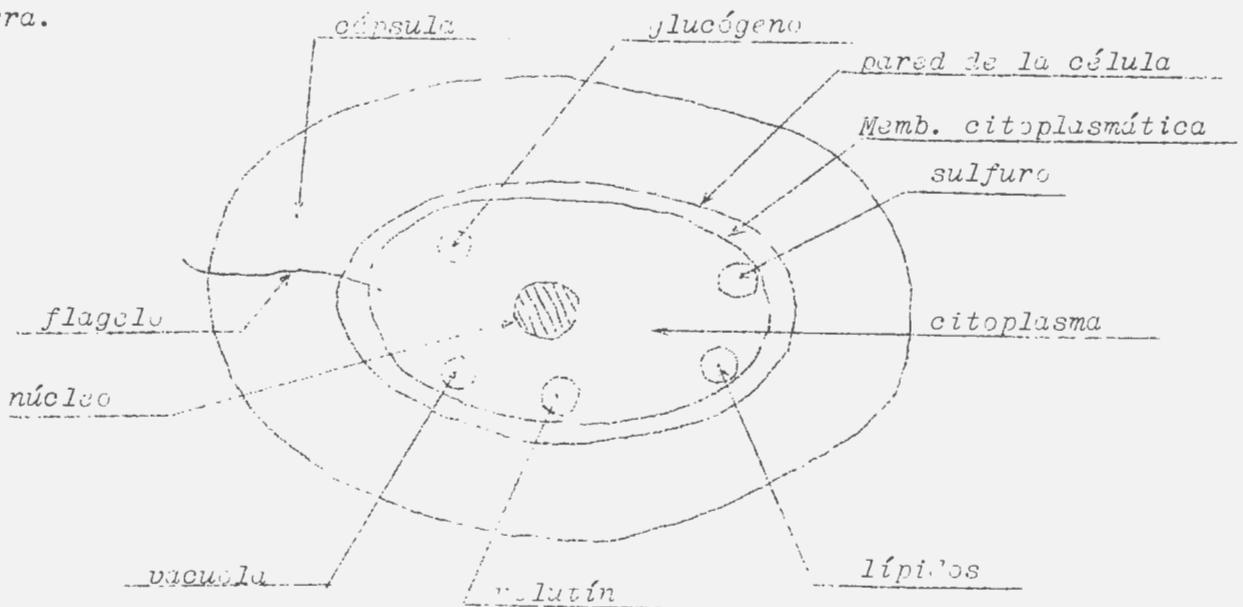
Las dos primeras formas son las que se observan normalmente.

### Reproducción

Para reproducirse lo hacen generalmente por fisiparidad o sea división de una célula en dos y así en una forma sucesiva. Algunas especies se reproducen por esporulación o sea que de una célula madre se va desprendiendo poco a poco una nueva célula; se dan casos también en que la unión es sexual.

### Estructura

El siguiente esquema presenta una bacteria típica en forma de barra.



De estos elementos los que más interesan en nuestro estudio son: la membrana citoplasmática, el citoplasma y el núcleo, por influir considerablemente en la estabilización de la materia orgánica.

### Membrana citoplasmática:

Está bajo la pared de la célula. Su composición química consiste en un complejo lipoproteínico y controla la entrada y salida de todas las sustancias, control que es acompañado por protección física y por cargas de tipo eléctrico.

### Citoplasma

Es una suspensión coloidal formada por proteínas, lípidos y carbohidratos. Casi todas las reucciones químicas que se estudiarán posteriormente, ocurren dentro del citoplasma, en la superficie coloidal.

Esta fase acuosa, es una fase móvil, en donde los productos químicos solubles, están en constante movimiento. Los productos finales del metabolismo son abonados desde la superficie coloidal, dentro de la fase acuosa, para luego eliminarlos de la célula.

### Núcleo

Representa la parte más vital de la bacteria. Su composición química lo forman las nucleoproteínas, las cuales son las responsables de todas las reacciones químicas que ocurren dentro de la célula; tanto es así, que las enzimas, que tienen su origen en el núcleo, son las encargadas de catalizar todas las reacciones químicas dentro de la célula. Es de tal importancia el núcleo, porque mientras permanezca intacta la bacteria puede, sin problema, continuar su función.

### Composición química de las bacterias

Un estudio de diferentes tipos de bacterias, que crecen en distintos medios, da un promedio de composición, de un 80% de agua y un 20% de materia seca. Esta última tiene alrededor de un 90% de materia orgánica y un 10% de inorgánica; de la parte orgánica un 50% es carbono; un 30%, oxígeno; un 10%, nitrógeno y un 10%, hidrógeno, con una fórmula empírica aproximada de  $C_5 H_7 O_2 N$ ; en cambio la parte inorgánica, nos da un promedio de un 50% de ácido fosfórico, un 5% de óxido de potasio, un 12% de óxido de sodio, un 8% de óxido de magnesio, un 10% de óxido de calcio y un 15% de  $SO_3$ . La bacteria, en efecto, debe recibir sus elementos básicos para el protoplasma, por medio del líquido que los

rodea, que en este caso son las aguas negras; pero si este medio ambiente es deficiente o carece de algunos elementos químicos, la bacteria se desarrollará de acuerdo a su deficiencia química.

### Metabolismo bacterial

Determina la habilidad de la bacteria, para crecer en el medio ambiente que la rodea, el cual deberá proporcionarle, además de los elementos químicos para el protoplasma, la energía necesaria para sintetizarlo; de modo que la bacteria recibe energía de la luz solar y de la oxidación de los compuestos químicos.

La materia orgánica de los desechos, es metabolizada por las bacterias y una porción de éstas son oxidadas en busca de energía.

Para obtener la máxima energía, la bacteria debe de haber disuelto oxígeno, lo que significa que la razón de metabolismo, está limitada tanto por la materia orgánica, como por el oxígeno disponible.

### ALGAS-FOTOSINTESIS

Realmente no hay una definición muy clara sobre las algas, siendo la más simple, la de plantas microscópicas que llevan a cabo la verdadera fotosíntesis. Casi todas son acuáticas, encontrándose en todos los estanques de agua expuestos a la luz solar.

El gran interés de las algas estriba en su producción de oxígeno, de olores y de sabores; además de eso, influyen en el pH, en el color y en la turbidez. La producción de oxígeno por las algas está relacionado con la demanda de oxígeno de las bacterias, relación que es tan importante, para estabilizar los desechos, en todo sistema de tratamiento, especialmente en la laguna de estabilización. Por consiguiente, las algas no dependen de la existencia de la materia orgánica, sino que son ellas la que desarrollan por evolución el oxígeno, durante su crecimiento.

La identificación de las algas, es posible por la presencia de pigmentos fotosintéticos, (pigmento interno de color verde) que le da la cualidad de poder combinar  $H_2O$  con  $CO_2$ , para elaborar almidón y desprender así el oxígeno, proceso que realizan en presencia de la luz solar.

Esta propiedad que se llama FOTOSINTESIS es cualidad sólo de las plantas verdes; pero tanto las plantas como los animales, tienen en común un proceso llamado respiración, que consiste en un intercambio de gases a la inversa de la fotosíntesis. Todo esto nos llevaría a pensar en un ciclo balanceado; pero, desafortunadamente, la velocidad de la fotosíntesis es mucho mayor que la respiración, lo que significa, que las algas liberan más oxígeno del que consumen y absorben más  $CO_2$ , del que expulsan. También los animales absorben oxígeno del medio ambiente y desprenden bióxido de carbono. De modo que, de la velocidad de la fotosíntesis con respecto a la respiración, es que depende la cantidad existente de oxígeno y del bióxido de carbono en el medio ambiente.

El oxígeno que desprenden las algas durante el día, sirve para la respiración de los animales; también estimula la vida de las bacterias aerobias, evitando la putrefacción; asimismo el pH aumenta con la acción fotosintética de las algas, lo que significa que en el día, es alto el pH y en la noche disminuye.

### CLASIFICACION

Una clasificación de mucho interés para el Ingeniero Sanitario es la siguiente:

- a) Algas verde-azules: Existen como células individuales, en cadena o en agrupaciones grandes y se pueden desarrollar en cantidades tan numerosas, que bien pueden cubrir gran parte de la su-

perficie del agua. Los olores que le transmiten a las aguas, son más que todo, herbáceo, pudiendo también darle un olor a corral de cerdos

Su estructura interna es sencilla y exteriormente están cubiertas por una capa viscosa; su producción es mayor en el verano, sobre todo cuando las superficies del agua permanece cálida,. Como ejemplo tenemos, la *OSCILLATORIA LIMOSA*, *ANACIPTIS*, Y *DESMONEMA*.

b) Algas verdes: El olor que le imparten al agua es generalmente a pescado y en algunas ocasiones olor herbáceo; así como las verdeazules, se procrean más en la estación seca. Su color está entre el verde céspea y el verde amarillento; ejemplos de este tipo de algas son: *LA CILORELLA*, *SPIROGYRA* y *VOLVOX PERGLOBATOR*.

c) Diatomeas: Su color es fundamentalmente el amarillo verdoso; tienen en sus paredes impregnado el sílice, en formas más o menos regulares. Un ejemplo de gran acumulación de diatomeas, lo constituyen los lagos en épocas geológicas antiguas, donde formaban grandes depósitos, de los que llamamos ahora, tierra de diatomeas. Los aceites expulsados por éstas, le dan al agua un olor a pescado.

Ejemplos de éstas son: *LA CYCLOTELLA*, *ASTERIONELLA* y *MELOSIRA*.

d) Flagelados pigmentados: En esta clase se encuentran todas las algas que poseen flagelos. Su color es verde o pardo, entre las que se encuentran la *ENGLEMA* y *SYNURA*.

#### METABOLISMO

Esta propiedad consiste en que las algas deben permanecer activas y en capacidad de producir nuevas células.

Con la acción de la energía solar, las algas transforman los productos inorgánicos en orgánicos, para el protoplasma. La habilidad de las algas para formar oxígeno, es de gran importancia en el estudio de las lagunas de estabilización, siendo necesario repetir, que las algas liberan el oxígeno, mientras están sintetizando a la materia orgánica.

SIMBIOSIS (Dependencia entre algas y bacterias).

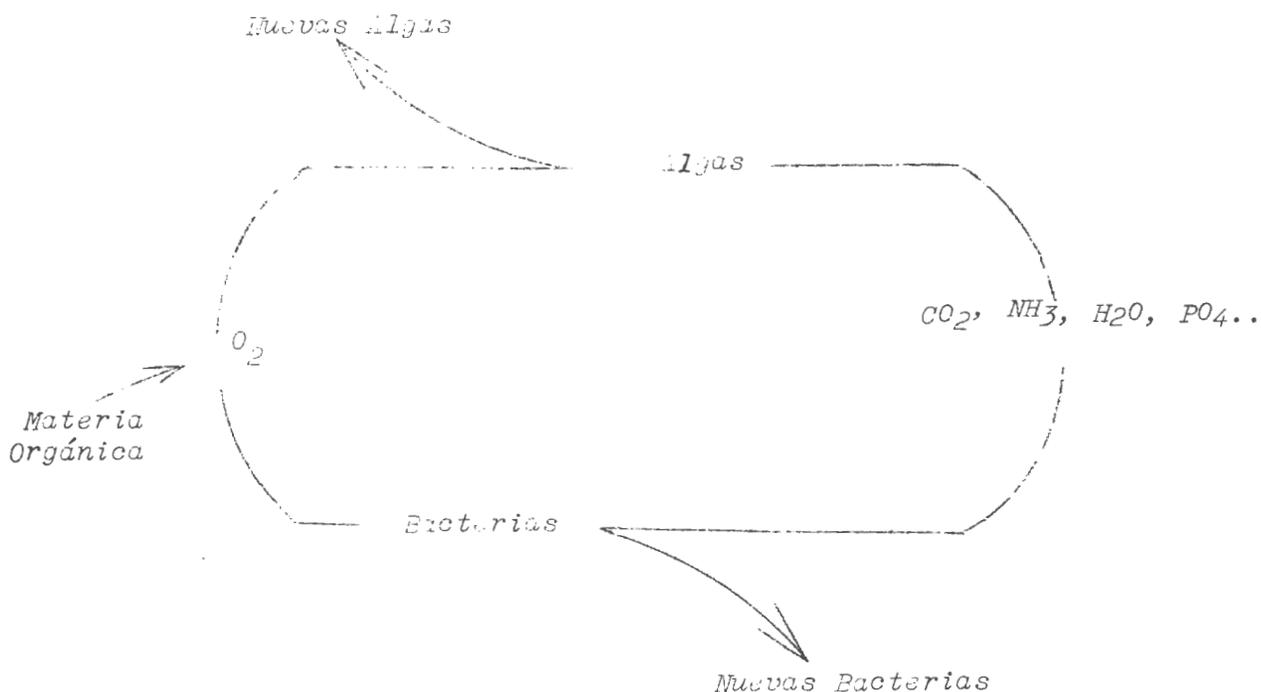
Las algas y bacterias, a pesar de estar en las aguas negras, no rivalizan para tomar sus alimentos y muy al contrario, fuera de perjudicarse, dentro de sus actividades dependen las unas de las otras.

Las bacterias metabolizan la materia orgánica en condiciones aeróbicas, produciendo bióxido de carbono y agua; mientras que las algas, ocupan el bióxido de carbono y abandonan el oxígeno. Por consiguiente, la relación de bióxido de carbono y oxígeno, define la relación de algas y bacterias.

Finalmente, un estudio concienzudo de los fenómenos químicos que resultan, indica que las bacterias metabolizan sustancias orgánicas, con la presencia del oxígeno, para la producción de nuevas células, bióxido de carbono, agua, amoníaco y otros productos inorgánicos. Las algas aprovechan el bióxido de carbono, el amoníaco y otros productos inorgánicos, para convertirlos en nuevas células.

El oxígeno es liberado en esta reacción. Este fenómeno que ocurre es llamado SIMBIOSIS.

El siguiente esquema muestra la dependencia entre algas y bacterias.



### H O N G O S:

Son parecidos a las bacterias, aunque realmente, las bacterias entrarían a formar parte de los hongos; pero debido a su gran importancia, es que se estudia por separado. Otros microorganismos que también se han considerado aparte de los hongos, son las levaduras y el moho.

Por hongos se comprende a todas las plantas no fotosintéticas y para excluir a las bacterias, se debe agregar en la definición, el requisito de ser multicelulares. Ahora bien, como no existen los pigmentos fotosintéticos en los hongos, estos usan la materia orgánica para abastecerse de energía. Poseen dos ventajas bien marcadas sobre las bacterias que son las de desarrollarse en regiones de baja humedad y en soluciones de pH bajo.

Los hongos son aerobios, lo que significa que no son de importancia para la digestión anaerobia y solamente se presentan en los sistemas

erobios; aunque aparentemente, dan la impresión de ser de naturaleza anaeróbica, por la razón de generar productos finales propios de metabolismo anaeróbico, según la cantidad de oxígeno disponible, ya que si no existe el oxígeno necesario para metabolizar completamente la materia orgánica, una parte de ésta es oxidada por los hongos, descomponiéndose en óxido de carbono y agua.

Su forma de reproducción es por la formación de esporas y precisamente es otra manera de diferenciarse con las bacterias, que se reproducen de esa misma manera, como un recurso último para sobrevivir.

Los hongos en su reproducción, aumentan grandemente su número, que por suerte, en su mayoría no son de carácter patógeno.

Analizando el contenido químico entre hongos y bacterias, se observa una diferencia básica en cuanto al contenido de nitrógeno, ya que los hongos constituyen el protoplasma normal casi con una mitad del nitrógeno necesitado por las bacterias; de esto se observa la predominancia de los hongos sobre las bacterias en condiciones donde haya poca cantidad de nitrógeno.

### F a u n a

#### Protozoarios:

Son animales de célula única que se reproducen por fisión binaria.

Casi todos los animales microscópicos se alimentan de plantas microscópicas, pero a su vez son comidos por animales superiores. Este proceso es de importancia para los sistemas de tratamiento biológicos de los desechos.

Son reconocidos con facilidad por las características físicas; sus tamaños están entre 10 y 100 micras, así que es fácil saber si tienen una o muchas células. Todos están provistos de movimientos.

Metabolismo:

Los protozoarios que nos interesan son los aeróbicos, cuyo metabolismo es semejante a todos los microorganismos fotosintéticos. Su energía la obtienen por medio de la oxidación de la materia orgánica, y su actividad metabólica va encaminada a la producción de protoplasma, el cual tiene fórmula química definida, aunque lo cierto es que no se ha investigado mucho sobre su estructura química.

Rotíferos:

Solamente pueden existir en un medio aeróbico; se alimentan principalmente de bacterias y son encontrados en aguas que tienen contenido orgánico bajo; puede entonces, darnos una buena idea de las aguas de baja polución.

Crustáceos:

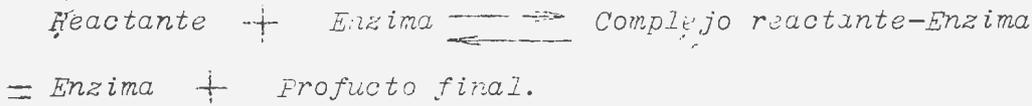
Son multicelulares, pueden habitar únicamente en medios aeróbicos, siendo sus alimentos las bacterias y las algas. En las lagunas de Estabilización tienen la gran importancia de clarificar los efluentes cargados de algas. Solamente habitan en corrientes estables y en lagos, debido a su gran complejidad en su metabolismo. Siendo fácilmente reconocibles por su estructura de concha rígida.

ENZIMAS: Son proteínas de carácter complejo que tienen por finalidad acelerar la oxidación de los compuestos simples y la hidrólisis de los compuestos orgánicos más complicados.

Cómo actúan las Enzimas

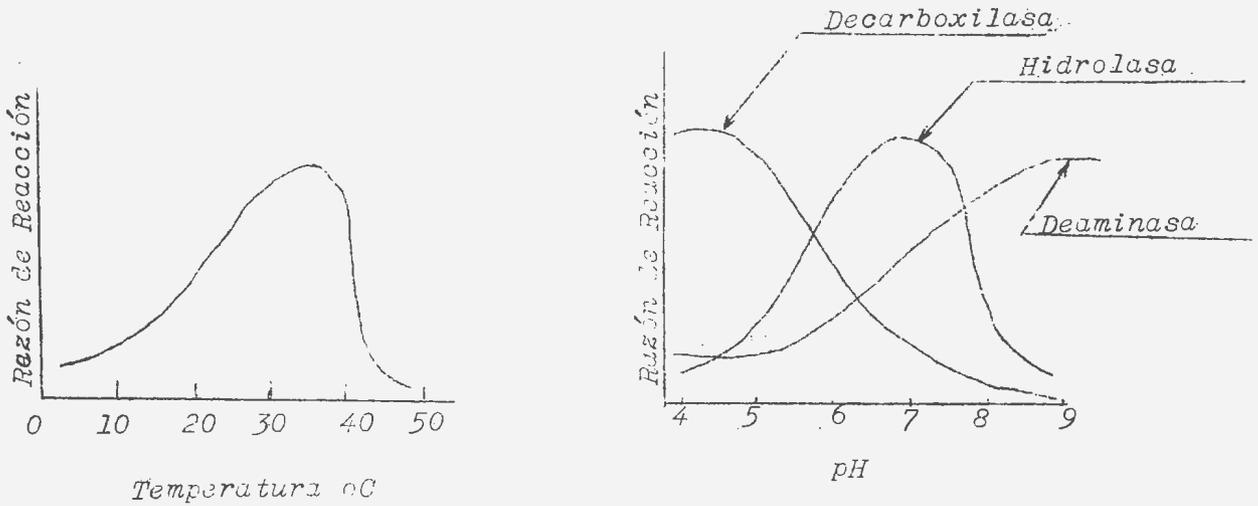
Las reacciones enzimáticas son reacciones químicas reversibles que actúan e nforme disminuye la energía, así que, tanto la concentración de los reactantes, como la concentración de las enzimas y la del producto final, afecta en sí la reacción.

La Reacción básica de la Enzima es:



De aquí puede observarse, que la enzima es regenerada, no así el reactante que se transforma a un producto final. Si no existiera la continúa: regeneración de las enzimas, los microorganismos gastarían todas sus energías para crear nuevas enzimas.

Dos factores físicos que tienen un efecto importante en la reacción enzimática son: la temperatura y el pH.



Las gráficas anteriores detallan el efecto de la temperatura y el pH sobre las reacciones en la enzima. Como se observa, el efecto del pH cambia según el tipo de enzima, la disminución de la actividad de las enzimas en un alto o bajo pH, depende tanto de la disociación de los grupos clave, como de la desnaturación de las proteínas.

En resumen, hasta ahora se ha escrito sobre la composición y las características de las aguas negras y se ha hablado sobre los agentes y factores que hacen posible la depuración de las mismas, proceso que se representa en el esquema siguiente.



En la primera reacción se puede observar que se trata de una oxidación aerobia de la materia orgánica muerta hecha por las bacterias; también se deduce que la demanda de oxígeno (DBO) es importantísima para que se lleve a cabo tal reacción, significando que si mantenemos la cantidad adecuada de bacterias, la cantidad de materia orgánica muerta que se oxide dependerá del oxígeno disponible; por eso, para estabilizarla en el menor tiempo se debe suplir oxígeno a una alta velocidad.

Además se puede observar la disminución del estado putrescible de las aguas, al desprenderse el  $\text{CO}_2$  que facilite la 2a. reacción.

En la segunda reacción se observa que la demanda de oxígeno es suplida por la fotosíntesis realizada por las algas; asimismo puede notarse que la formación de  $\text{O}_2$  está limitado por el  $\text{CO}_2$  y la acción de la luz solar.

Del análisis de las dos reacciones anteriores se puede concluir que para mantener un régimen que metabolice las aguas negras, se deberán satisfacer los niveles necesarios de oxígeno, gas carbónico, luz y organismos microscópicos asociados.

No debe descartarse la importancia en este proceso, del oxígeno proveniente del intercambio con la atmósfera, porque estudios experimentales han demostrado la insuficiencia del oxígeno proporcionado por las algas, para el proceso que realizan las bacterias.

## CAPITULO VII

### FACTORES DE DISEÑO

Al diseñar una laguna, conforme las condiciones en que se desea que trabaje y los resultados que se pretenden alcanzar, se debe de tomar en cuenta una serie de factores que regirán su funcionamiento dependiendo de ellos especialmente, la obtención de los resultados previstos. Estos factores son:

*Calidad y cantidad del influente.*

*Selección de una tasa de trabajo adecuada.*

*Precipitación del lugar.*

*Evaporación del agua de la superficie.*

*Percolación o filtración del agua a través del fondo y diques de la laguna.*

*Cantidad e intensidad de la luz solar.*

*Temperatura del agua y del aire, así como la presión del vapor de agua y la humedad relativa.*

*La velocidad y dirección del viento.*

*El período de retención.*

*La calidad del efluente. La dilución.*

### CANTIDAD Y CALIDAD DEL INFLUENTE

Es obvio que las dimensiones de una laguna de estabilización están regidas por la cantidad de agua negra que reciben en un tiempo da

do, o sea el caudal del influente. De la misma manera, estará influenciada por la carga orgánica diaria a que va a ser sometida, es decir, por la calidad del influente.

La cantidad depende casi exclusivamente de la población servida y de la dotación diaria por persona, siendo necesario, cuando se trate de un sistema de alcantarillado que evacúa aguas domésticas e industriales a la vez, expresar la dotación en términos de una población equivalente. Por ejemplo, una ciudad con cierta industrialización, puede tener una dotación diaria de 500 lts./persona de la cual sólo una parte es usada para los usos domésticos, (unos 200 lts./persona correspondiendo el resto a los destinados al uso industrial; sin embargo, la dotación diaria se expresa en lts./hab./día, considerando la influencia de la industrialización, en el consumo de cada habitante.

Por esta razón, a mayor industrialización de una ciudad, mayor será la dotación diaria por habitante como en el caso de ciudades de E.U., Japón y Europa que tienen dotaciones del orden de 750 y 800 lts./Hab/día.

Conociendo la dotación asignada por Hab/día y la población para la que se proyecta que servirá la laguna, se puede encontrar la cantidad de agua diaria que recibe la laguna (influyente diario) y que puede expresarse en  $M^3/día$ , de la siguiente manera:

$$Q = p \times d$$

Donde  $Q$  = cantidad de aguas negras.

$p$  = población servida

$d$  = dotación diaria en lts./hab./día.

Así, para una población servida de 10.000 hab. y una dotación de 150 **Lts/hab./día** tenemos:

$$Q = 10.000 \times 150 = 1.5 \times 10^6 \text{ lts./día} = 1500 \text{ M}^3/\text{día}.$$

Interesa conocer, para el cálculo de la tubería del influente, no sólo el caudal promedio diario, sino los caudales máximos correspondientes a las horas punta . (Las horas punta representan las horas del día en que se producen los máximos consumos de agua, siendo regido por las actividades domésticas e industriales).

En cuanto a la calidad del influente, ésta dependerá del grado de contaminación que hayan recibido las aguas según el uso a que fueron destinadas.

Al tratarse de aguas negras domésticas, puede adoptarse una carga bastante acertada sin necesidad de análisis, ya que ésta es prácticamente la misma en casi todas las poblaciones variando con la diferencia de hábitos y actividades de una y otra, recomendándose cargas del orden de 55 a 90 grs. de DBO/hab./día, para el diseño de lagunas que reciben aguas negras domésticas exclusivamente.

La carga diaria producida, se obtiene de la siguiente forma:

$$C = p.q. \text{ siendo:}$$

$P$  = población servida

$C$  = carga de DBO/día

$q$  = Carga de DBO/pers./día

Pero cuando se trata de aguas negras industriales, se hace difícil asumir una carga adecuada por la gran diversidad de residuos que se obtienen de un proceso industrial, haciéndose necesario practicar

análisis de muestras de dichas aguas, en distintas condiciones para determinar su DBO, el NMP de coliformes, así como las sustancias tóxicas, que pueden dañar la tubería y entorpecer todo buen tratamiento que se les quiera dar. Por esta razón no pueden agregarse directamente a las aguas negras domésticas, debiendo las aguas negras industriales de recibir un tratamiento preliminar.

### SUSTANCIAS TOXICAS

La presencia de estas sustancias perjudica en gran escala, al crecimiento de las algas, afectando considerablemente al proceso depurativo.

Aunque en la gran cantidad de lagunas diseñadas y construídas no se ha presentado todavía este problema, debido a la poca experiencia sobre el mismo, se debe de analizar conforme lo siguiente: las bacterias vivas no sólo son sensibles a los cambios ambientales, sino que también pueden ser envenenadas con facilidad por muchas sustancias químicas. Así tenemos, como la sal común, los álcalis, los ácidos, el cloro, el yodo, el bromo y otras sustancias, son capaces de destruir a las bacterias. Debemos de considerar la concentración de los agentes químicos que ejercen una gran influencia en esta destrucción.

En resumen, al poder determinarse las cargas producidas y la cantidad de agua procedente de instalaciones industriales, ya se puede hacer un cálculo más ajustado para lograr un tratamiento adecuado de las citadas aguas.

TASA DE TRABAJO O INTENSIDAD DE CARGA

En el Capítulo II, se definió la tasa de trabajo o intensidad de carga, como la cantidad de materia orgánica putrescible, expresada en kg. de DBO, que se aplica por unidad de superficie en una laguna de estabilización.

Se nota que de este factor depende en gran parte el tamaño de la laguna, el cual está regido a su vez, por las condiciones locales, (temperatura, luz solar, viento, latitud, etc.) variando de un lugar a otro, así como varían en un mismo lugar, según se requiera que las condiciones del proceso, sean aeróbicas o anaeróbicas.

La tasa de trabajo debe ser de tal magnitud, que permita una operación satisfactoria de las lagunas y que proporcione un efluente en el cual la remoción de DBO y bacterial NMP, sea alta.

Sobre las tasas de trabajo que se recomiendan hay una gran discrepancia, debiéndose más que todo al factor climatérico y al criterio de las personas que han llevado a cabo las investigaciones.

Las lagunas generalmente se diseñan en base a la carga orgánica expresada en Kg. de DBO/Ha./día, o bien en número de habitantes servidos por hectárea.

Algunas tasas de trabajo, que se han usado en diferentes partes, son las siguientes:

En los primeros diseños de lagunas en las Dakotas, EE.UU., se ocuparon intensidades de carga de 50 kg. de DBO/día/ha.

En Virginia, EE.UU., se diseñaron lagunas con 100 kg. DBO/día/ha.

El Servicio de Salud Pública de EE.UU. ha estudiado experimentalmente lagunas en Fayette, Missouri y Lebanon, Ohio., llegando a la conclusión de que pueden operar satisfactoriamente con carga de 150 kg. de DBO/día/Ha

En India e Israel, se han diseñado lagunas para 250 kg. de DBO/día Ha. sin que se haya presentado ninguna molestia.

En Costa Rica, se han diseñado lagunas de estabilización para 150 kg. de DBO/día/Ha., las cuales han funcionado satisfactoriamente. Experimentalmente se ha sobrecargado una laguna por varios meses a 239 kg., de DBO/día/Ha., lográndose una operación sin problemas y con una remoción de la DBO del 93% y una remoción de coliformes del 97%.

#### Efecto de la tasa de trabajo

Las lagunas de estabilización, operan en condiciones aeróbicas cuando se han diseñado en base a una tasa de trabajo adecuada, volviéndose anaeróbicas cuando son sobrecargadas.

Las lagunas anaeróbicas, dan un rendimiento mayor que las aeróbicas, pues se les aplica una carga por unidad de área mucho mayor. Así por ejemplo en Redmond, Estado de Washington, existe una laguna anaeróbica que recibe 700 kg. de DBO/día/Ha.

En relación con las intensidades de carga o tasas de trabajo a usar en el diseño de lagunas de estabilización, el criterio que sigue predominando para su selección, es de tipo experimental o empírico.

En el caso de nuestro país, puede ser de gran valor la experiencia lograda en Costa Rica, en donde se han mantenido condiciones aeróbicas en lagunas sometidas a tasas de trabajo que oscilan entre

150 y 250 kg. de DBO/día/Ha.

En cuanto a las cargas orgánicas producidas por personas por día, el Departamento de Salud de EE.UU., recomienda que se tomen entre 0.12 a 0.20 libras de DBO/pers./día a los 5 días o sea entre 55 y 90 gramos de DBO/pers./día aproximadamente.

Cuando se requiera diseñar una laguna bajo condiciones anaeróbicas, la tasa de trabajo es aún menos definida, ya que ésta también se ve afectada por la profundidad de la laguna, cosa que no sucede en las lagunas aeróbicas.

Por último podemos mencionar que las lagunas de estabilización, constituyen una técnica relativamente reciente y que posiblemente tendrán que transcurrir muchos años de investigación, para llegar a adquirir un mejor criterio sobre cuales son las tasas de trabajo que conviene aplicar.

PRECIPITACION. La precipitación de aguas de lluvia, ejerce una gran influencia en el funcionamiento de una laguna, por lo que se hace necesario considerarla durante el diseño, dejando en los diques cierto margen de tirante libre para que la laguna pueda alojar las lluvias intensas, a fin de evitar el rebalse que entorpecería el funcionamiento adecuado.

Para este efecto, se tiene un registro de las cantidades de lluvia que caen en los distintos lugares del país, llevado a cabo por el Servicio Meteorológico Nacional, que dispone de una red de pluviómetros y pluviógrafos distribuidos en todo el territorio nacional y que serán muy valiosos al diseñar lagunas para diferentes poblaciones del país.

La siguiente tabla tomada del Almanaque del Servicio Meteorológico Nacional, correspondiente al año de 1966, contiene los datos de lluvia, registrada en las correspondientes estaciones pluviométricas.

EVAPORACION. El fenómeno de la evaporación tiene lugar en la superficie del agua, debido, a que bajo la acción de la luz solar, se produce una diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y la capa de aire inmediata, ante la cual las moléculas de agua escapan hacia los puntos de menor temperatura, con la consiguiente evaporación.

En los países tropicales, debido a la intensidad de la luz solar, las pérdidas causadas por la evaporación son considerables, por lo que es necesario la determinación de los volúmenes de agua evaporada para diseñar adecuadamente una laguna de estabilización.

Para tal efecto se ocupará la siguiente fórmula ya que no se dispone de suficientes evaporímetros para obtener directamente dichos datos:

$$Em = 15 (Vw - V) \left( 1 + \frac{W}{16} \right) \text{ (fórmula de Meyer)}$$

Donde:

$Em$  = Evaporación mensual en mm.

$Vw$  = Presión del vapor a la temperatura del agua en mm. de Hg.

$V$  = Presión del vapor a la temperatura del aire x humedad relativa en mm. de Hg.

$W$  = Velocidad del viento en Km./hora.

Las tablas siguientes contienen los datos de temperaturas medias mensuales del agua y del aire, la velocidad y dirección del viento y la humedad relativa, así como una tabla que relaciona la presión con la temperatura.

TABLA No. 12

PROMEDIOS DE LAS SUMAS MENSUALES Y ANUALES DE LUBVIA DE  
EL SALVADOR  
(en milímetros)

	Enev.	Ener.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma Año
San Jerónimo	490	1	2	9	32	170	299	247	216	297	152	21	4	1450
Metapán	465	0	4	14	49	184	300	252	233	316	172	18	8	1550
Texis Junction	400	2	2	8	58	196	315	313	295	354	184	27	8	1762
Santa Ana	645	1	2	6	63	210	325	331	324	374	188	32	6	1862
Coatepeque	840	2	1	5	50	199	336	310	306	328	192	31	6	1766
Chalchuapala	705	2	4	4	49	210	386	331	338	396	208	35	14	1977
Atiquizaya	625	1	3	3	43	178	332	310	300	350	203	29	8	1760
Ahuachapán	755	2	2	4	41	166	364	353	341	385	219	34	7	1918
Sonsonate	225	2	3	6	46	190	335	308	299	367	311	35	8	1911
Icajutla	5	1	1	4	49	172	303	279	264	325	274	43	4	1719
Iteso	470	2	1	6	52	158	274	289	272	304	150	30	5	1543
Sitio del Niño	450	3	1	5	56	168	278	304	257	304	164	34	4	1578
San Andrés	475	7	3	8	58	199	290	338	274	308	166	45	7	1703
Santa Tecla	955	4	4	7	54	154	321	334	313	393	237	46	8	1875
La Toma (Cajalares)	305	4	5	10	56	218	343	371	334	392	196	36	8	1973
Apopa	435	4	3	8	56	(220)	345	365	347	362	223	37	8	1978
San Salvador Obs.	680	5	5	9	54	187	322	316	298	319	229	41	10	1795
San Salvador FES	635	4	4	10	51	173	314	(311)	298	308	220	40	10	1743
Guyapango	620	3	3	7	50	174	333	337	295	356	239	42	7	1846
San Rafael Cedros	725	5	3	8	45	207	372	355	325	371	249	48	5	1993
Cajutepaqu	800	3	2	8	42	199	379	390	350	369	266	46	8	2062
Zacatecoluca	170	2	2	7	40	248	398	348	343	469	362	65	10	2298
Molinos	595	4	8	7	49	176	317	334	292	363	257	55	7	1869
San Vicente	425	3	3	4	43	216	365	354	334	396	280	46	6	2049
Tehuacán	350	3	1	6	43	202	380	326	315	400	301	59	6	2042
Santa Cruz Porrillo	30	1	1	6	30	178	289	285	258	356	287	54	4	1749
San Marcos Lempa	20	1	1	4	24	174	308	310	295	405	328	56	5	1911
Valle San Juan	50	0	2	4	27	163	346	297	285	376	358	53	3	1914
Jiquilisco	50	0	2	4	28	186	338	300	286	406	328	72	4	1954
Usulután	70	1	1	4	22	195	361	301	282	403	350	56	6	1982
Batres	50	1	0	5	23	182	313	281	288	437	368	69	4	1971
San Miguel FICÁ	105	1	0	3	22	207	301	249	252	374	289	45	7	1750
Olomega	65	1	1	2	21	211	308	218	241	414	324	46	3	1790
Cutuco	5	1	1	6	28	245	357	191	246	449	331	52	6	1913

TABLA No. 13

Promedios mensuales de la temperatura (oc)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Acajutla	25.7	26.4	27.3	28.3	28.1	27.1	26.9	26.9	26.4	26.4	25.9	26.8	
Santa Cruz Porrillo	26.1	26.4	27.4	28.1	27.9	26.9	26.9	26.8	26.3	26.1	25.1	25.9	26.7
San Miguel	26.2	27.0	28.3	28.9	28.3	26.6	25.9	26.9	25.9	25.0	25.7	25.7	26.9
Chorrera del Guayabo	26.4	27.6	28.9	29.3	27.3	25.2	25.8	25.0	25.5	25.8	26.0	26.1	26.3
Tzalco	23.4	23.7	24.7	25.4	25.0	24.4	24.5	24.6	24.0	24.1	24.0	23.8	24.3
San Andrés	22.6	23.5	24.7	25.6	25.2	24.4	24.2	24.4	24.0	23.6	22.9	22.3	24.0
Itopango	22.0	22.6	23.7	24.3	24.0	23.2	23.1	23.2	22.8	22.7	22.3	21.8	23.0
San Salvador	21.8	22.6	23.7	25.3	23.9	23.0	22.9	23.1	22.6	22.5	22.2	21.9	22.9
Santa Ana	21.5	22.4	23.5	24.2	23.9	22.8	22.9	23.1	22.7	22.6	22.0	21.5	22.8
Santiago de María	21.4	22.0	22.3	24.2	22.9	22.1	22.5	22.6	21.7	21.7	21.5	21.3	22.1
Santa Tecla	19.5	20.1	21.1	21.9	21.8	21.4	21.4	21.7	20.9	20.9	20.3	19.7	20.9

1  
8  
8  
1

TABLA No. 14

Humedad Relativa Media del Aire (en %)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Acajutla	69	70	70	73	76	81	79	78	82	81	74	69	75
Santa Cruz Porrillo	64	65	65	69	75	80	78	80	83	81	74	67	73
San Miguel	59	58	58	61	70	78	76	77	82	81	74	64	70
Chorrera del Guayabo	60	60	53	61	70	80	75	79	82	78	70	63	70
Izalco	71	71	71	74	79	83	81	82	82	85	82	76	77
San Andrés	69	68	68	70	77	83	82	81	85	82	76	72	76
Ilopango	66	66	66	70	77	84	82	82	86	81	76	69	75
San Salvador	62	63	64	68	75	82	80	80	84	79	72	65	73
Santa Ana	64	64	63	65	70	80	76	76	80	77	71	67	71
Santiago de María	65	64	65	69	77	82	76	78	84	81	74	67	74
Santa Tecla	71	72	72	76	82	86	82	82	87	83	77	73	78

31

TABLA No. 15

Rumbo dominante y Velocidad media y máxima absoluta del Viento (en "metros/segundo")

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
<u>San Salvador (promedio de 13 años)</u>													
Rumbo dominante	N	SW	SW	SW	SW	SW	N	SW	SW	N	N	N	N y SW
Velocidad media	3.2	2.8	2.8	2.4	2.0	1.7	1.8	1.8	1.7	2.1	2.7	3.2	2.4
Veloc. máx. absoluta	20.7	20.7	13.4	20.7	8.7	11.8	14.2	14.8	25.6	12.3	16.7	16.7	25.6
<u>San Andrés (promedio de 5 años)</u>													
Rumbo dominante	N	N	N	W	N	W	W	N	N	W	W	W	N
Velocidad media	1.6	1.7	2.0	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.3	1.3
<u>Ilopango (promedio de 8 años)</u>													
Rumbo dominante	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N y S
Velocidad media	4.3	3.7	3.5	3.5	3.3	2.7	3.0	3.0	2.7	3.2	3.8	4.5	3.4
<u>Santa Ana (promedio de 8 años)</u>													
Rumbo dominante	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
Velocidad media	2.7	2.6	2.8	2.5	2.1	1.7	1.8	1.8	1.7	2.1	2.4	2.7	2.2

*Para tener una idea del efecto de la evaporación, se mencionará que a veces es tan grande, que lleva a evaporarse hasta el 20% del influente diario.*

#### VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO

*La laguna debe de ser orientada de modo que la dirección de los vientos dominantes nunca sean a lo largo del flujo, para evitar los corto-circuitos de los desechos, desde la entrada a la salida y la retardación del flujo normal. Deben de evitarse los obstáculos que impiden la circulación del aire. El viento ayuda considerablemente en la obtención del oxígeno, ya que induce en la laguna un oleaje y corrientes superficiales que son muy útiles para estimular la oxidación.*

*Cuando los vientos tienen velocidades excesivas, pueden causar la erosión de los taludes del dique, debiendo por consiguiente protegerse como se detallará más adelante.*

*Cuando no se tienen datos a la mano, los vecinos del lugar pueden dar una valiosa información de cómo se producen los vientos.*

*Las observaciones, sin embargo, deben de hacerse por un período bastante largo, a fin de contar con datos adecuados para futuros diseños.*

*Por otro lado, como las condiciones del viento local son afectados por ciertos factores, incluyendo la temperaruta, la altura de la vegetación etc., se hace difícil hacer una generalización concerniente a los obstáculos en la vecindad inmediata de la laguna, por lo que*

se recomienda disponer de un espacio libre mínimo de 100 mts., aproximadamente, sin ningún obstáculo que impida conseguir un oleaje adecuado.

### Aereación artificial

El bajo costo de las lagunas de estabilización, que no necesitan prácticamente de ninguna ayuda mecánica, es un factor que vuelve al sistema muy adecuado para conseguir el buen desarrollo de pueblos y comunidades. Sin embargo donde se disponga de facilidades económicas, varios medios de aereación artificial puede usarse para inducir circulación y oleaje y con ello la absorción del oxígeno. Este medio también puede usarse para volver aeróbica, una laguna que por alguna razón, es anaeróbica; o para aumentarle capacidad a las facilidades existentes, cuando el problema de que una laguna se vuelva anaeróbica, es inmediato; o bien, cuando no se dispone de terreno para la construcción de lagunas adicionales.

Bajo este método, se coloca en la base de la laguna una bomba que suministra aire a un sistema de tubería perforada. Al surgir las burbujas de aire, inducen una ligera circulación, incrementándose se la absorción de oxígeno.

Una compañía americana de Ingenieros, ha instalado un sistema utilizando una bomba de 10 HP. la cual libera aire a la razón de 150 pies<sup>3</sup>/min. usando 7500 pies de tubería plástica, colocada paralelamente y espaciadas de 10 a 30 pies ;el sistema tiene una capacidad potencial para 600 hogares(aproximadamente 3000 personas.) Otros sistemas incluyen agitación de la superficie de la laguna por atomizado res de agua.

Otra forma de incrementar la aereación, incluye cambios de niveles a través del uso de una serie de pasos a nivel en el influente o el uso de una serie de lagunas pequeñas, cada una más baja que la anterior.

La práctica de aereación artificial en las lagunas, sin embargo, no debe sobreestimarse. Una aereación por muy intensa que sea, no sustituye el proceso natural que realizan algas y bacterias, además, donde sea posible, las lagunas deben de ser diseñadas para funcionar sin aereación artificial.

#### LUZ SOLAR

La importancia de la luz solar es manifiesta por las razones siguientes:

- a) En una localidad determinada, las condiciones de la radiación solar a través del año, varían con la latitud, elevación y estado atmosférico, determinando el comportamiento de una laguna de estabilización que se construya en ella.
- b) La penetración de la luz incidente, determina que porcentaje del volumen de la laguna, participará en la producción de oxígeno.
- c) Los cambios operados en la radiación solar diaria, que suceden en las diferentes estaciones, nos dan una idea de las dificultades que se pueden presentar en cada época del año.

La intensidad de la luz solar y su penetración en una laguna de estabilización, determina la eficiencia de la fotosíntesis.

En cuanto a la penetración de la luz solar, se puede ver afectada por la turbidez producida por las mismas algas.

La capa que absorbe el 99% de la luz incidente es considerada en cualquier masa de agua como la zona en que se lleva a cabo toda la fotosíntesis apreciable. Al tratarse de lagunas de estabilización, esta capa indica el porcentaje de volumen que produce el oxígeno por fotosíntesis. Sin embargo, de la luz que penetra en las aguas, no toda se aprovecha en la fotosíntesis, ya que hay un límite crítico más allá del cual ya no se utiliza ningún exceso de la luz solar.

Tal límite se llama Intensidad de Saturación (Is.) el cual depende de la clase y edad de las algas.

La relación entre la luz incidente (Ii) y la de saturación (Is) está dada por el coeficiente (f), que indica el aprovechamiento de la luz solar

$$f = \frac{Ii}{Is}$$

Para medir la penetración de la luz solar, se hace por medio de un aparato que tiene una célula fotoeléctrica con una sensibilidad comprendida entre 4200 y 7000 Å<sup>0</sup>, la cual es introducida en el Agua. Estas longitudes de onda corresponden a una gama de colores comprendida entre el violeta y el rojo carmín que son los perceptibles por el ojo humano.

De la luz solar incidente sobre la superficie de una laguna, según el ángulo de incidencia, parte es reflejada y parte refractada, como puede apreciarse en la figura siguiente:

$I_i$  LUZ INCIDENTE

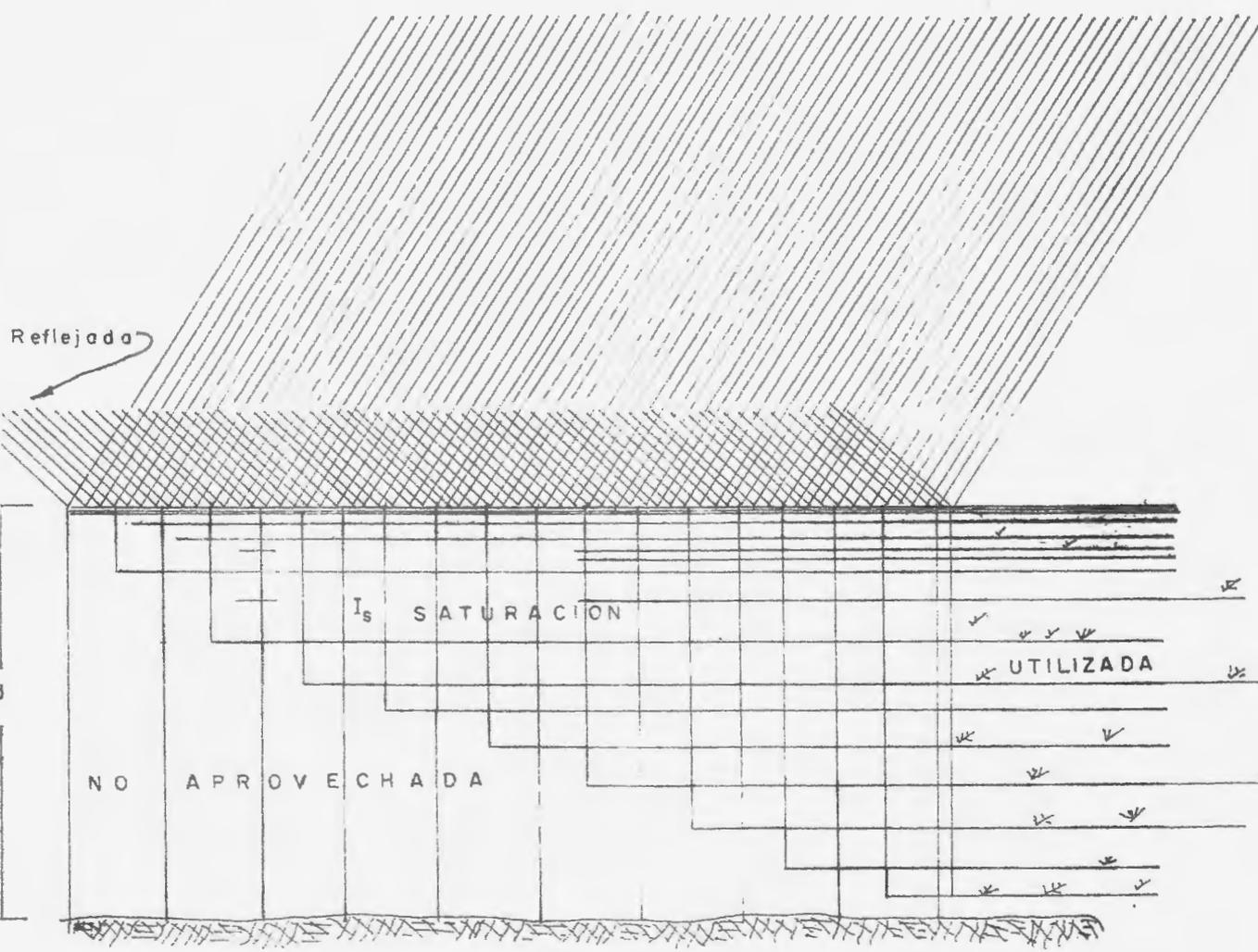


DIAGRAMA ESQUEMATICO QUE INDICA EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ SOLAR.-

## TEMPERATURA

### Presión del vapor de agua, humedad relativa.

El principal efecto de la temperatura en el proceso de la estabilización, se debe a su influencia en la reacción de DBO; por ejemplo, una DBO que podría ser satisfecha en 4 días a 30° C, requerirá 13 días a 5° C.

La oscilación entre la temperatura máxima y la mínima, disminuye al aumentar la profundidad, de modo que en los tiempos calurosos, se estimula el proceso depurativo considerablemente.

### Presión del vapor de agua

Influye considerablemente en el fenómeno de la evaporación, el cual como se puede notar en la fórmula de Meyer, viene dado en función de la diferencia que existe entre la presión del vapor a la temperatura del agua y la presión del vapor a la temperatura del aire multiplicada por la humedad relativa.

Todos estos factores dependen de las condiciones que reinan en el medio ambiente en un momento dado; pero para efectos de determinar los volúmenes de agua evaporados ocuparemos los valores mensuales promedios.

PERCOLACION. El problema ocasionado por la percolación es delicado; primero, porque surge el peligro de contaminar la capa freática, cuando se encuentra demasiado cerca del fondo de la laguna; y segundo, porque bajo ciertas condiciones la pérdida del líquido puede ser tan grande, que el nivel del agua retenida baje tanto que impida lograr un buen funcionamiento. La percolación depende exclusivamente,

del tipo de suelo del piso o fondo de la laguna.

PRUEBA DE PERCOLACION. Antes de seleccionar el sitio definitivo, conviene practicar pruebas de percolación que permitan un cálculo estimado de la pérdida inicial del líquido y el peligro relativo de contaminación de aguas freáticas próximas. Las pruebas deben de practicarse a la profundidad de la laguna proyectada. Para este fin es necesario excavar una zanja, excepto en las depresiones naturales hasta donde se extiende el fondo de la laguna. Un hoyo cuadrado del pie de lado debe excavarse hasta una profundidad de 1'6" bajo el nivel propuesto para el fondo de la laguna. El hoyo de prueba se llena con agua hasta una profundidad conocida (6"-12"); después que el nivel tiene una baja sensible el hoyo se llena de nuevo hasta el mismo nivel y se anota el tiempo de absorción. El tiempo, medido en minutos, se divide entre la profundidad que ha bajado el nivel del agua, expresada en pulgadas, para encontrar la absorción del suelo expresada como el tiempo que transcurre para que el nivel del agua descienda 1 pulgada.

Así por ejemplo: si el cambio de nivel durante la prueba es de  $2\frac{1}{2}$ " , y el tiempo transcurrido durante la misma es de 150 minutos, el suelo tiene un período de absorción de  $T = 150/2.5 = 60$  min. que indica absorción lenta y conforme la tabla siguiente se puede clasificar al suelo como arcilla limosa o arcilla arenosa.

La prueba de percolación descrita, se repite en varios puntos del lugar seleccionado, especialmente en aquéllos donde los cambios en las características del suelo son evidentes. Los factores de absorción obtenidos son entonces promediados para asumir un solo fac-

tor de diseño.

Debe de notarse que los lodos que se depositan muy lentamente en el fondo de la laguna, reducen las pérdidas en suelos relativamente permeables, hasta un punto despreciable; por ejemplo, la experiencia indica que una pérdida por percolación tan alta como de 6" por día, disminuye gradualmente hasta una cantidad tan pequeña como 1/4" a 3/4" por día, debido a que la acumulación de los lodos en el fondo de la laguna tienden a sellarla.

La siguiente tabla indica un medio rústico de clasificación de los suelos, por una identificación visual y táctil, aunque los valores dados no deben de usarse para propósito de diseño; para ello hay que practicar pruebas de percolación como la que describimos anteriormente.

Tabla para pruebas de absorción relativa .

Tiempo (en minutos), requerido para que el nivel del agua baje 1"	Razón de absorción relativa.	Clasificación del tipo de suelo.
0 - 3	Rápida	Arena cuarteada o grava.
3 - 5	Media	Arena fina o limosa
5 - 30	Lenta	Arcilla, limo o arcilla con arena.
30 - 60	Semi-impermeable	Arcilla densa
60 y más	Impermeable	Roca o estratos duros

Observaciones ; los primeros dos tipos de suelo no son adecuados cuando se propone construir una laguna de estabilización, debiendo recubrirse el fondo y los diques de la misma, con una capa impermeabilizante que impida la percolación o que permita un mínimo de cantidad de agua percolada; para ello exponemos a continuación algunas mezclas impermeabilizantes.

### 1. Bentonita

Es una arcilla, que tiene la propiedad de expandirse cuando se moja, llenando los vacíos o grietas en suelos agrietados. Puede aplicarse en capas de 1 a 2 pulgadas de espesor, o bien mezclarse con otros suelos en una proporción que dependerá de las características del suelo local.

Cuando se dispone de suelo suelto en el lugar, se puede reducir el gasto de la bentonita por difusión en aquél, lo que resulta en una solución económica.

### 2. Suelo-Cemento

Es una mezcla que tiene la propiedad de ser muy poca expansiva y en muchas ocasiones, resulta ser el mejor medio para prevenir la percolación por un período de tiempo relativamente largo. El cemento se mezcla con una capa de suelo de 6 a 12 pulgadas de espesor. Usando una mezcla limpia y seca para prevenir la porosidad, mezclada y apisonada debidamente, se puede obtener un resultado satisfactorio.

La proporción de cemento en relación al volumen de tierra, se determina en el sitio, según la naturaleza del suelo; sin embargo, un rango probable es entre 4 y 8%.

Cuando no se disponga de un suelo adecuado, tal como grava, se hará necesario transportar el suelo desde otro sitio.

Entre las ventajas del suelo-cemento como material impermeabilizante, podemos citar su resistencia a la erosión y el hecho de que es una de las pocas mezclas de suelo que permiten trabajar (remoción de lodos), sin averiarse.

### 3. Asfaltos

Se dispone también de varios tipos de asfaltos los cuales, mediante una buena aplicación son excelentes impermeabilizantes, pero su costo es mucho más alto que los otros materiales que se han descrito, por lo que se recomienda el empleo de cualquiera de los anteriores.

### 4. Material sintético

Se fabrican ahora una variedad de materiales plásticos, los cuales pueden ser usados para forrar el fondo de las lagunas, tales como: el Polietileno que es muy resistente a la luz del sol pero requiere cuidado para colocarse; el Polivinilo-cloride (PVC), y el PVC acetato, que son muy resistentes a ser pinchados pero resultan demasiado caros; ciertos compuestos incluyendo hojas forradas de PVC asfáltico, que se han desarrollado por haber encontrado ciertas objeciones en los otros plásticos y rejillas a base de fibras de vidrio, que han sido usadas frecuentemente para prevenir la erosión sobre los diques.

### PERIODO DE RETENCION

Aún no está claro cual es el período de retención más conveniente, ni se ha encontrado una relación directa entre el período de re-

tención y la eficiencia del proceso de purificación.

Debe sin embargo, determinarse el período de retención mínimo para conseguir la reducción de DBO, de modo que permita la descarga del efluente en una corriente natural o en un sistema de riego.

En los países tropicales el período de retención es relativamente pequeño, en comparación a los países de clima frío, pero no debe ser menor de 20 a 25 días.

Un período de retención práctico se basa en la razón del flujo balanceado (influyente-efluente) contra una eficiencia mínima y un tamaño de la laguna que procure una mayor economía. El sistema puede llamarse balanceado cuando el caudal de entrada o influyente es casi igual al volumen del líquido perdido por percolación y evaporación, de modo que el nivel de la laguna se mantenga dentro de ciertos límites sin que se produzca ningún caudal de salida o efluente.

Cuando se desee que una laguna se comporte como balanceada, algunas veces se puede planear el tamaño de la misma dentro de un límite razonablemente flexible para lograr este fin; en este caso, operar una laguna como balanceada durante la estación seca y permitir una salida del efluente, dentro del período de retención deseado, durante la estación lluviosa, es una de las formas en que se puede operar una laguna en los países tropicales.

El período de retención se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$T = \frac{V}{q}$$

Donde:

$T$  = Período de retención en días

$V$  = Capacidad de la laguna en  $Mts^3$

$q$  = Caudal del influyente en  $Mts^3/día$

El tiempo de retención en síntesis depende tanto de la carga orgánica como de la carga hidráulica; así al bajar la carga de DBO/Ha/día aumenta la capacidad de la laguna permitiendo con ello, un mayor período de retención y consecuentemente, una mayor reducción de DBO y NMP de coliformes.

### CALIDAD Y CANTIDAD DEL EFLUENTE

El efluente es el volumen de aguas que una vez sometidas a una depuración aceptable, es conducida de una laguna a una corriente natural o destinada a otros fines tales como irrigación, instalaciones industriales, etc.

Su calidad estará regida para los fines a que se piense destinar, ya que después de que las aguas son parcialmente depuradas, aún cuando proceden de plantas de tratamiento convencionales, no necesariamente se encuentran libres de organismos patógenos y pueden requerir un tratamiento adicional o una desinfección.

Si el efluente no es desinfectado por algún medio, su uso se restringe a la irrigación de cultivos no comestibles (no es apta para legumbres, hortalizas etc.)

El grado de contaminación del efluente debe de revisarse periódicamente y de su calidad dependerá el uso a que se destine.

#### Cantidad

El monto mensual promedio de la descarga del efluente de una laguna, viene definido por la ecuación del Balance Hidráulico:

$$e = (A + P) - (E + F)$$

Donde:

*e* = efluente mensual

*A* = Aguas negras recibidas

*P* = Precipitación

*E* = Evaporación

*F* = Infiltración

Conociendo el volumen que sale de la laguna, conforme la fórmula anterior, se puede determinar el caudal diario promedio y con ella, calcular la tubería de salida, debiendo disponer de un vertedero para revisar los caudales (ver detalle de estructura de salida en el siguiente capítulo).

#### Eliminación del efluente

El efluente puede eliminarse por dilución, por irrigación o por infiltración en las capas sub-superficiales.

Cuando se haga por dilución, dependerá de las características de las masas de agua receptoras, así como de la cantidad y calidad del efluente, de que continúe la depuración del mismo.

Por irrigación se ocupará para sacar provecho del contenido de materia orgánica que aún posea y el cual estimulará la producción de los cultivos.

La disposición en capas sub-superficiales no conviene cuando se tienen áreas densamente pobladas ya que causa la contaminación del agua subterránea, volviéndola inadecuada para el consumo.

Es conveniente, algunas veces, para ciertos procesos industriales, el reuso del agua de desecho que haya sido depurada, sobre todo si se necesitan fuertes cantidades, lo cual hace que no se sobre-exploten las aguas aptas para el uso doméstico.

CAPITULO VIII

ELEMENTOS DE DISEÑO

Los diferentes elementos, que deben determinarse previamente a la construcción de una laguna de estabilización, son los siguientes:

- a) Selección del sitio
  - b) Estructura de entrada
  - c) Forma de la Laguna
  - d) Profundidad, Volumen, Area.
  - e) Diques
  - f) Estructura de salida
  - g) Cercas y señales
- Operación y Mantenimiento

Selección del sitio

Al seleccionar el terreno donde se ubicará la instalación, debe revisarse que el nivel del mismo, sea más bajo que el del sistema colector que conduce las aguas negras, con el objeto de evitar el gasto ocasionado por un equipo de bombeo y su mantenimiento, en caso de que el nivel de la laguna sea más alto que el del sistema colector.

Asimismo es conveniente verificar un análisis del suelo donde se piensa construir una laguna, a fin de ejercer un buen control sobre el nivel del agua retenida que pudiera descender demasiado como con-

secuencia de la excesiva percolación a través del fondo y diques, siendo necesario en este caso, recubrir con una capa impermeabilizante que impida que dicho fenómeno se presente o que aún cuando suceda, no cause alteraciones en el tirante del agua diseñado.

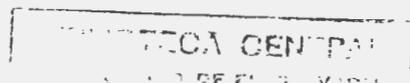
Para evitar que la laguna cause cualquier molestia a la población, se recomienda contruirlas a una distancia mínima de 400 mts. sobre todo si la laguna se ha diseñado para funcionar bajo condiciones anaeróbicas. Para este mismo efecto hay que tomar en cuenta la dirección del viento, ya que éste puede constituirse en un vehículo adecuado para la propagación de malos olores que pueden desprenderse de la laguna; una vez conocida la dirección del viento, deben de limpiarse los alrededores del terreno para evitar que los árboles u otros obstáculos, impidan la acción adecuada del mismo, para la aereación de la superficie de la laguna, que ayuda considerablemente en la obtención de oxígeno, estimulando el proceso depurativo.

Se debe de tomar en cuenta, la topografía del sitio, ya que de ello depende en gran parte el costo del proyecto, sabiendo aprovechar las elevaciones y depresiones que presente, a fin de reducir el volumen de tierra a mover.

#### Estructura de entrada

Puede ser de muy diversas formas, pero generalmente se acostumbra construirla en la forma siguiente:

Se aconseja que la tubería se lleve hasta el centro de la laguna cuando ésta sea pequeña, o bien unos 15 mts. de la orilla, en el caso de lagunas grandes y medianas, con el objeto de conseguir una mejor uniformidad del agua retenida y evitar acumulaciones de los sólidos.



dos sedimentados o lodos, cerca de la orilla, que entorpecerán el buen funcionamiento.

También se debe disponer, precisamente en el punto donde el influente es descargado, de un plato de concreto cuyas dimensiones aparecen en la Fig. 4, cuyo objeto es para facilitar la remoción de los lodos en caso de que se proceda a la limpieza de la laguna; para retener los sólidos suspendidos (piezas de cartón, papel, hojas, etc.) el influente debe de pasar por una rejilla de barras de  $\frac{1}{2}$ " separadas unos 10 cms.

Conviene proteger la tubería de entrada, con alambre de espigas (alambrón) u otro similar, para evitar que personas o animales puedan causar averías en la misma, reduciendo su vida útil y aumentando por consiguiente los gastos.

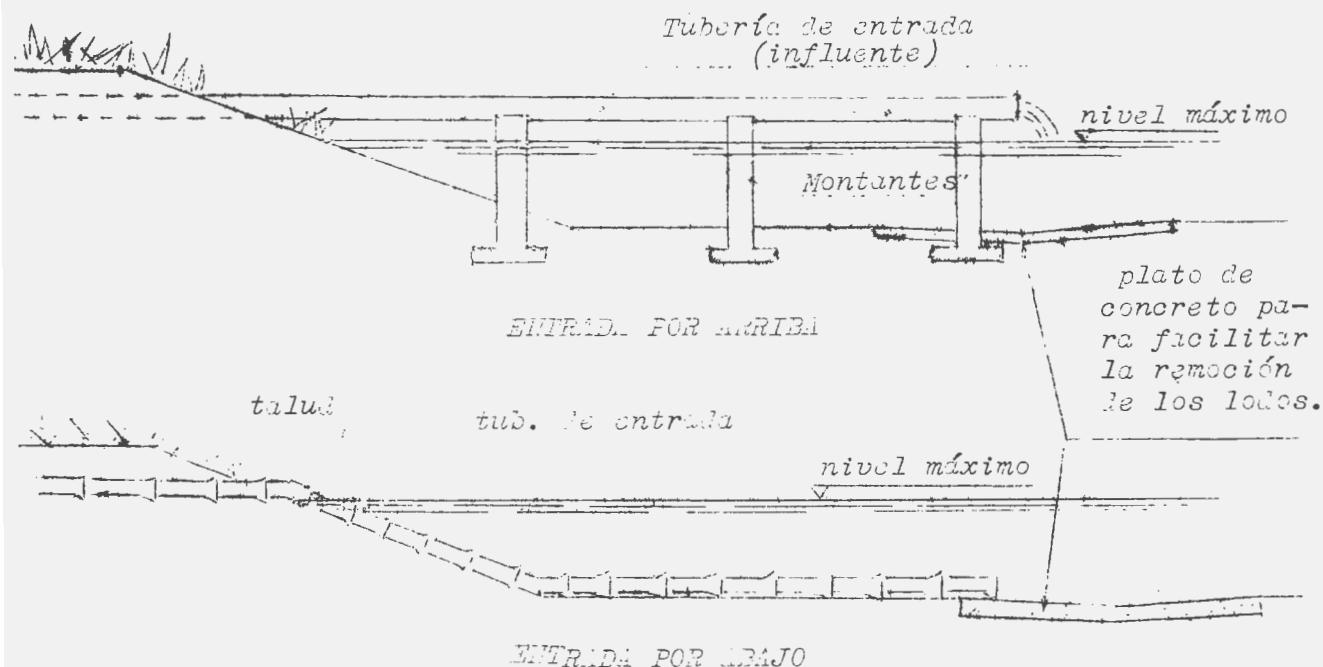


FIG. 4

Conociendo el desnivel entre el sitio seleccionado y la salida del sistema colector, así como la distancia entre ambos, podemos encontrar la pendiente de la tubería, chequeando que se encuentre dentro del rango necesario a fin de controlar la velocidad del influente y la pérdida por fricción dentro de la tubería para evitar un mal funcionamiento. Asimismo, si la tubería es de cemento y se ha previsto que trabajará como canal, deben conocerse los caudales máximos en las horas punta, para evitar que se produzcan presiones que la tubería no pueda resistir.

Para evitar que en la época lluviosa, haya un aporte de agua llovada por infiltración, es necesario impermeabilizar, las juntas de los tubos de cemento, ya que de lo contrario se produciría un aumento en el caudal del influente, con las consiguientes consecuencias de hacer peligrar la tubería por un lado y alterar la capacidad de la laguna por el otro.

#### Forma de la laguna

Desde el punto de vista económico, la forma de la laguna no tiene mayor importancia ya que debe buscarse aquella que conforme la topografía del lugar, requiera la menor terracería.

Sin embargo, deben de evitarse las irregularidades para que no haya acumulación de materias flotantes que obstaculicen la acción del viento y de las corrientes de convección, para lograr una mezcla efectiva de los componentes. Este mezcleo, puede evidenciarse por la uniformidad de los resultados obtenidos al analizar muestras tomadas en diferentes puntos de la laguna simultáneamente.

Para garantizar la libre acción del viento, es necesario que las dimensiones sean tales, que el lado menor de la laguna sea en la dirección que el viento tiene en ese lugar, orientándose a la vez de modo de proveer la máxima cantidad de luz solar.

Una buena eficiencia, mediante una construcción sencilla, es lograda cuando las lagunas tienen forma rectangular con una relación largo a ancho igual a 3, dejando las esquinas redondeadas para evitar la acumulación de lodos.

Al tratarse de formas extremadamente irregulares, es posible que los embancamientos de lodos en las irregularidades, pueden causar una descomposición anaeróbica en estas zonas, debido a una circulación insuficiente, por lo que deben de evitarse.

#### Area

Es conveniente que el área de la laguna sea extensa para lograr una mayor exposición al sol, una mejor acción de los vientos y con ello propiciar una depuración fácil y efectiva de las aguas, en condiciones aeróbicas.

En cuanto a la luz solar, se comprende que como la acción de las algas y bacterias se ve estimulada mediante una mayor cantidad de luz, éste factor es muy importante en la producción de oxígeno.

De la acción de los vientos, también depende la obtención del oxígeno de la atmósfera, mediante la aereación, siendo mayor cuanto más extensa es la laguna.

Sin embargo, el área de una laguna depende más que todo de la tasa de trabajo adoptada conforme la posición geográfica y las condi

ciones ambientales. Por ejemplo, en Africa se ha operado satisfactoriamente con un área de 1 hectárea por cada 1500 a 2500 personas aproximadamente. Además de expresar la tasa de trabajo en función de la población servida por unidad de superficie, conviene expresarla en función de la carga de DBO por día que se le puede aplicar por unidad de superficie, sin que se produzca condiciones anaeróbicas.

El área de una laguna cuando se conoce o se ha asumido una tasa de trabajo adecuada y la carga diaria producida, es la siguiente:

$$A = \frac{\text{Carga producida (Kg. de DBO/día)}}{\text{Tasa de trabajo (Kg. de DBO/Ha/día)}}$$

#### PROFUNDIDAD

Con el objeto de lograr una operación efectiva, la profundidad del agua en la laguna debe variar entre 2 y 6 pies. Cuando se dispone de un tirante mínimo de 2 a  $2\frac{1}{2}$  pies, la vegetación que crece en el fondo dificulta el proceso depurativo.

En los países tropicales como el nuestro, la luz solar penetra lo suficiente en el agua como para recomendar profundidades de 3 a 6 pies. La experiencia lograda en varios lugares de Africa, indica que una profundidad de 4 pies es generalmente satisfactoria.

En cuanto a la reducción de la profundidad por la sedimentación y acumulación de lodos, se estima que forman una capa de unos pocos milímetros al año lo cual no afecta prácticamente la profundidad de diseño. Cuando las lagunas se hayan diseñado como anaeróbicas, generalmente se tendrán profundidades mayores, siendo esto aconsejable cuando se trata de terrenos relativamente caros.

### CAPACIDAD DE LA LAGUNA

Depende de dos factores principales:

- De la población servida
- De la tasa de trabajo adoptada en el diseño.

Para lograr un buen funcionamiento de una laguna mediante un diseño adecuado, la población servida, debe estimarse para un tiempo futuro, conforme la tendencia de la curva de crecimiento.

Determinando la población que se pretende servir con una laguna, se obtiene la carga (DBO) total, asumiendo la carga orgánica/Ha./ día.

$DBO \text{ total} = \text{Población servida} \times DBO/\text{persona}/\text{día}.$

Si a la vez, se ha asumido, conforme lo explicado anteriormente, una tasa de trabajo adecuada, o sea, la DBO que se puede aplicar por unidad de área se encontrará el área de la laguna, que multiplicada por la profundidad, dará la capacidad de la misma:

$$A = \frac{\text{Carga diaria aplicada (Kg. de DBO/día)}}{\text{Tasa de trabajo recomendable (Kg de DBO/Ha./día)}}$$

$$V = A \times h$$

Donde:

$$A = \text{Area en mts}^2$$

$$h = \text{Profundidad en mts.}$$

$$V = \text{Capacidad en mts}^3$$

Conviene mencionar que el período de retención también influye en la capacidad de la laguna. Deben de tomarse en cuenta los niveles máximos y mínimos que se van a producir en una laguna, ya que de su control dependerá en gran parte el éxito de su aplicación.

Esto requiere un cuidadoso estudio de los datos de lluvia y temperatura de la región. Debe de prevenirse el hacer un ajuste adecuado de la capacidad de la laguna, debido a los aportes que tenga durante la estación lluviosa y mantener un nivel mínimo adecuado durante la estación seca que es cuando usualmente ocurre la máxima evaporación. En resumen, el volumen o capacidad de la laguna, debe determinarse considerando además de la cantidad de aguas negras a tratar, los aportes del agua precipitada y las pérdidas por evaporación o percolación, por esta razón, es conveniente elaborar una gráfica en donde se combinen estos factores a fin de conocer los máximos y mínimos volúmenes que la laguna va a tener en el transcurso del año.

#### D I Q U E S

Limitan a la laguna y sirven para contener el agua sometida a tratamiento, permitiendo además el acceso, hacia la instalación para su inspección y mantenimiento.

La altura es determinada por la profundidad normal del agua y la capacidad de la laguna, debiendo tener una altura libre sobre el nivel del agua, para prevenir los niveles máximos que se pueden producir, la cual debe ser del orden de 3 pies; de modo que la altura del dique puede variar entre 6 y 9 pies.

En cuanto a la inclinación o pendiente, depende más que todo del tipo de suelo y debe ser la que garantice la estabilidad de los mismos. Por lo general con una pendiente en una razón vertical a horizontal de 1 : 3 se tiene un rango que permite estabilidad y fomenta la acción de las ondas, sin reducir considerablemente la capacidad de la laguna.

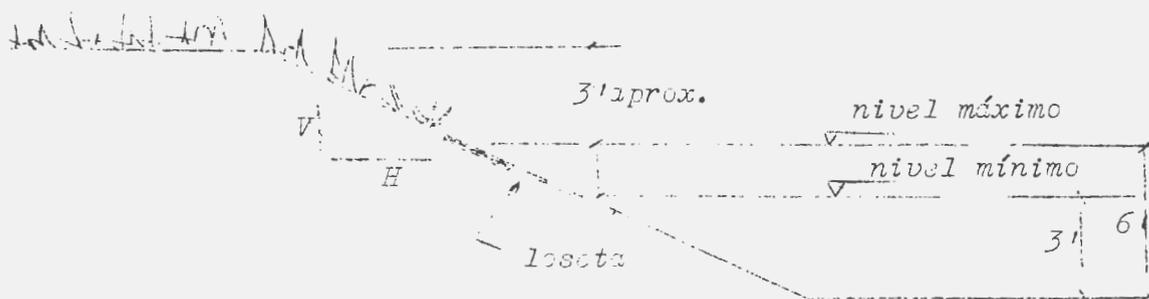
La cresta o corona de los diques debe de ser lo suficientemente ancha, para facilitar el uso de equipo de mantenimiento y el libre acceso a través de los mismos, sobre todo cuando se trata de un sistema de varias lagunas, recomendándose un ancho mínimo de 8 pies.

Para lograr una mayor economía en la construcción de una laguna es recomendable que el material de corte se ocupe para la construcción de los diques o embancamientos,. Debe de removerse la vegetación y escombros que haya en el lado del dique que está en contacto con el agua para prevenir la cría de larvas y otros insectos.

Asimismo es conveniente, como ya se dijo antes, evitar la pérdida por percolación a través de los diques, lo cual se puede conseguir mediante una buena compactación del suelo, el empleo de suelos mixtos, o bien mediante una capa impermeabilizante de los tipos descritos en el capítulo anterior, debiendo de empezarse por remover todo el material orgánico.

Cuando el nivel alcanzado por la superficie del agua o la erosión puedan causar una pérdida por escorrentía, los diques deben disponer de un vertedero triangular que permita controlar la cantidad de agua que tiende a escaparse.

Para prevenir la erosión, se hace necesario además de la compactación del suelo, que se engramen los taludes de los embancamientos, así como se puede disponer de una línea de bloques de piedra o losetas de concreto prefabricadas, en la arista que forme el agua con el dique.



D I Q U E



$$Q = f(H)$$

vertedero triangular para determinar el caudal de salida o efluente.

FIG. B

### ESTRUCTURA DE SALIDA

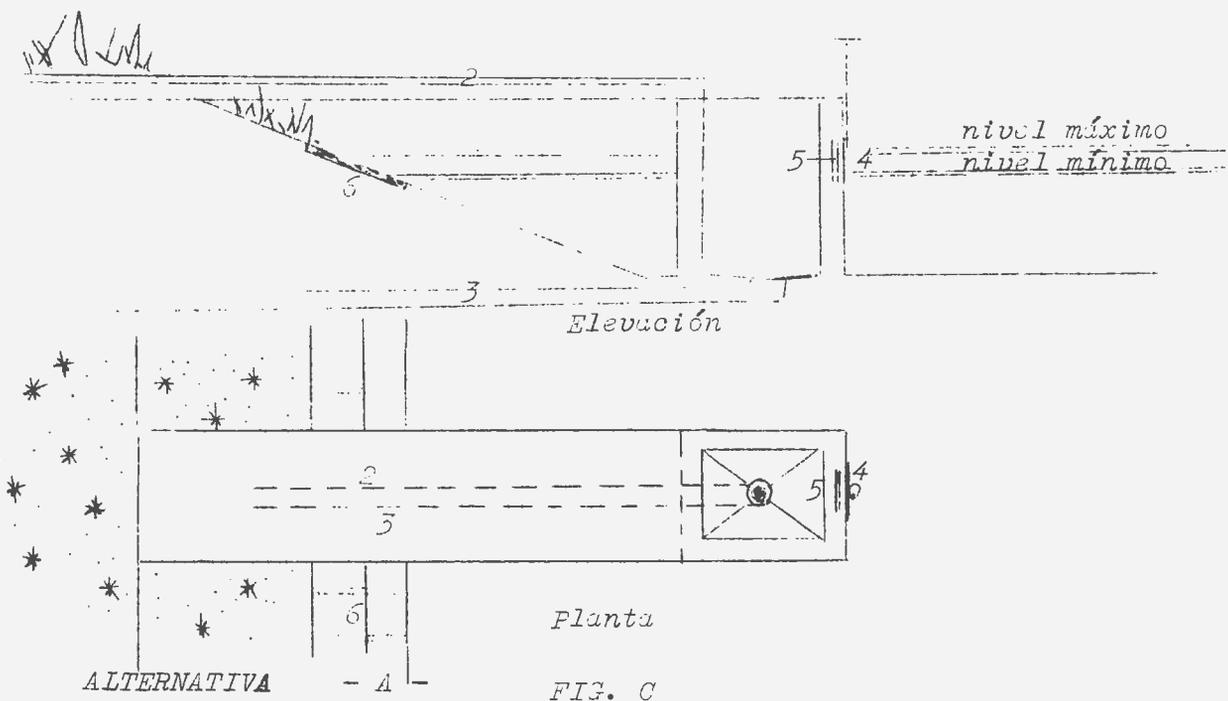
Debe de ubicarse cerca de una de las orillas y lo más lejos posible de la estructura de entrada, para evitar que se produzcan cortocircuito que impidan el buen funcionamiento de la laguna.

Es conveniente de que se disponga de un vertedero de salida que regule el nivel de la laguna y el caudal del efluente, el cual debe de tener una malla metálica que detenga todos los materiales sólidos y flotantes como papeles, hojas, espumas, etc., para evitar la obstrucción de la tubería de salida.

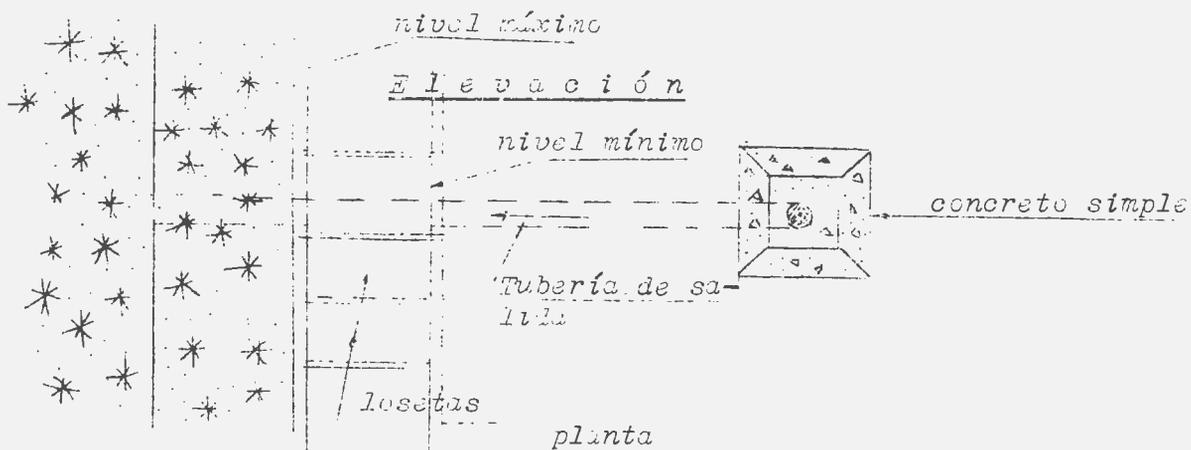
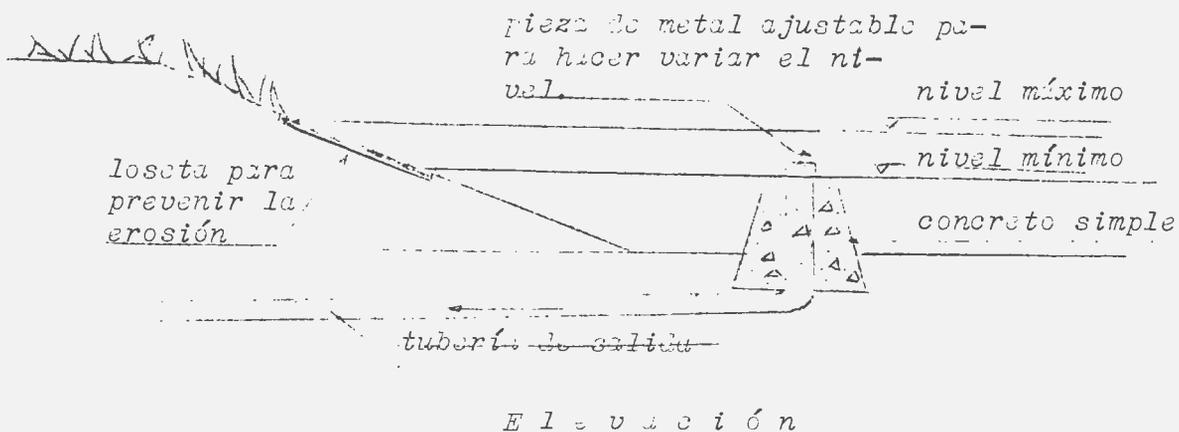
Es aconsejable que a lo largo de la tubería del efluente que va

desde la estructura de salida, hasta la corriente receptora, se disponga de pozos de visita, cuya separación no exceda de 100 m., a fin de poder realizar inspecciones periódicas, lo mismo que para la tubería que conduce al influente que va desde el sistema colector a la laguna.

Estructura de salida



1. Nivel del agua
2. Acceso a la estructura de salida
3. Tubería de salida (influyente)
4. Tabla para ajustar el nivel del agua
5. Vertedero
6. Losetas para prevenir la erosión



ALTERNATIVA - B -

FIG. D

### CERCAS Y SEÑALES

Con el objeto de proteger los distintos elementos que forman una laguna, es recomendable cercarla, de modo que sólo se disponga de una entrada ancha que permita hasta el acceso de vehículos.

Cuando se tenga válvulas de control, deben de disponerse en una caja de protección, con una tapadera móvil, para evitar que se averíen.

Las cercas sirven para impedir que el ganado que se pasta en los alrededores, u otros animales, penetren a la instalación con peligro para ellos mismos y para la estructura de la laguna, así como también para evitar que personas que desconocen la naturaleza de las aguas, puedan hacer uso de ellas, especialmente niños, que puedan

llegar incluso hasta bañarse, debiendo poner rótulos o señales que prohiban acercarse, indicando el peligro de tales aguas.

### OPERACION Y MANTENIMIENTO

Cuando se trata de una laguna o sistemas de lagunas que funcionan por gravedad, su mantenimiento se vuelve sencillo; revisiones periódicas deben ser hechas por alguna persona capaz de leer y anotar la profundidad de la laguna extrayendo muestras para determinar la calidad del influente y efluente y regular el caudal en su sistema de lagunas múltiples, haciéndose a la vez inspecciones en los diques para ver si no han sufrido averías, por efecto de la erosión, observando posibles grietas.

La operación, en efecto, debido a que la labor depurativa la lleva a cabo la naturaleza misma, es sencilla limitándose la intervención del hombre, a eliminar cualquier fenómeno perturbador que afecta el desarrollo del proceso.

Conforme lo estudiado en los capítulos anteriores se deduce que para que las lagunas realicen satisfactoriamente su acción purificadora, necesitan de lo siguiente:

- a) Mantener un nivel de operación adecuado.
- b) Lograr una buena exposición a la luz solar eliminando los obstáculos que impidan la penetración de la misma.
- c) Eliminar las sustancias extrañas que puedan afectar el normal desarrollo del proceso estabilizador.
- d) Revisar constantemente que la carga orgánica aplicada no exceda las tasas de trabajo recomendables.

*De la misma manera vamos a resumir las indicaciones que deben de seguirse para dar una buena operación y un buen mantenimiento a una laguna de Estabilización.*

- 1) Mantener los diques libres de hierbas y malezas que permitan la presencia de mosquitos y otros insectos.*
- 2) Deshierbar continuamente los terrenos adyacentes a la instalación, para lograr el propósito anterior y darle al lugar un aspecto agradable.*
- 3) Cuidar las cercas y señales que se pongan en los linderos del terreno ya que al deteriorarse éstas puede haber acceso de personas y animales a la instalación.*
- 4) Practicar una oscilación periódica en el nivel del agua de la superficie para mantener control sobre los insectos que moren en la orilla de la misma.*
- 5) Aplicar insecticidas si se hace necesario para la eliminación de larvas o insectos.*
- 6) Evitar obstrucciones en las estructuras de entrada y de salida.*
- 7) Eliminar los cuerpos flotantes en la superficie, que puedan estorbar la acción de la luz solar. Las colonias de algas que perjudiquen el proceso estabilizador, deben de removerse continuamente con un rastrillo, cuando su crecimiento sea excesivo.*
- 8) Determinar el caudal del influente, la carga orgánica aplicada y la remoción lograda con el tratamiento de DBO y NMP de coliformes.*

b) CUANDO SE PRESENTAN PROBLEMAS ESPECIALES

Los problemas que pueden presentarse son:

- 1) Tendencia de la laguna a secarse por infiltración excesiva.
- 2) Producción de malos olores.
- 3) Problemas con los diques.
- 4) Dificultades al iniciar la operación cuando el caudal de entrada o influente es menor que el previsto en el diseño.

1) Tendencia de la laguna a secarse:

Cuando una laguna de Estabilización que ha sido puesta en operación llegue a secarse puede ocasionar muchos problemas tales como la presencia de malos olores ya que la laguna se convertiría en un lecho de secado de lodos sin digerir así como el surgimiento de plantas en el fondo de la laguna que pueden ser difíciles de eliminar, este problema puede generalmente presentarse cuando en la etapa de diseño no se analizaron bien las características del material empleado en la construcción de los diques y del terreno donde se construyó la laguna; la solución de este problema está en la impermeabilización del fondo y diques de la laguna mediante una tela de material impermeable (vinil o similar) arcilla, suelo cemento u otros.

Cuando la infiltración se produzca a través de grietas lo recomendable es proceder a cerrar las grietas con arcilla. Para realizar cualquiera de los trabajos de impermeabilización indicados anteriormente es necesario secar previamente la laguna, pero para evitar malos olores es recomendable que el secado se haga despúes de haber mantenido la laguna sin recibir aguas negras por un período mayor de un mes a fin de que se hayan digerido los sóli-

dos sedimentables durante este período previo al secado debe de mantenerse el nivel de operación sustituyendo las pérdidas de agua con agua de relativa buena calidad procedente de alguna fuente cercana; a veces será necesario recurrir a bombeo. Un sistema de lagunas facilitaría resolver un problema de este tipo.

## 2) Producción de algas

Este problema suele presentarse por diversas circunstancias:

- a) Presencia de materiales flotantes que al impedir el paso de la luz solar reducen la producción de oxígeno por el proceso fotosintético y se debe generalmente a un descuido en la operación de la laguna. Se puede resolver mediante una continua limpieza de la superficie y luego enterrando las materias recogidas.
- b) Población escasa de algas porque el líquido cloacal es muy ácido, muy alcalino o que no tenga los nutrientes necesarios para la procreación de las algas.

Este problema comunmente se presente en lagunas donde se tratan desechos industriales; se recomienda agregar los nutrientes que faltan para resolverlo principalmente, nitratos y fosfatos y cal para controlar la acidez.

## 3) Problema con los Diques

Asentamiento o tendencia a fallar por tubificación se presenta cuando la construcción de los diques ha sido defectuosa o el diseño inadecuado. El problema de asentamiento se resuelve agregando el material necesario para darle la forma original. La tendencia a fallar por tubificación se presenta cuando las dimensiones de los diques no son las correctas, en este caso la solución puede estar en la construcción de

pared impermeabilizante en el centro de los diques o su reconstrucción adecuada.

4) Dificultades al iniciar la operación cuando el caudal afluente es menor que el previsto en el diseño.

Cuando una laguna de Estabilización inicia su vida, se tienen pérdidas por filtración, que son mayores al principio y menores al final, debido a que al comenzar el funcionamiento el terreno absorbe mucha agua mientras logra saturarse, además que hay una tendencia a que la permeabilidad vaya disminuyendo con el tiempo debido al efecto de los sólidos que trae el agua negra. Si no se toman medidas para lograr de alguna manera obtener el nivel de operación adecuado, se pueden presentar algunos problemas tales como el nacimiento de plantas en el fondo de la laguna las cuales a veces es difícil eliminar y se tendrían malos olores si la laguna se llegara a secar por completo. Para evitar estos inconvenientes existen dos posibles soluciones:

Tener una fuente adicional de agua en exceso de agua cloacal.

Tener varias lagunas en vez de una sola.

Esto permite utilizar al principio una área proporcional a la carga que se está recibiendo. Por ejemplo, si una ciudad de 5.000 habitantes necesita una laguna de 2 Hectáreas, pero al entrar a operar la red de alcantarillado solo hay 2.500 personas tributando a la misma, sería muy difícil lograr con el caudal sanitario procedente de una población de 2.500 habitantes, mantener el nivel de operación normal en una sola laguna de 2.0 hectáreas. Pero en cambio si se hubieran construido varias lagunas en vez de una sola

*sería mucho mas fácil lograr dicho nivel en una de las lagunas (de 1.0 hectáreas), que trabajaré sola en esta etapa inicial.*

*Las ventajas de tener varias lagunas en vez de una sola son notorias, máximo en los casos en que hay que hacer reparaciones, pues si la reparación demanda secar la laguna se puede enviar el caudal sanitario a otras lagunas mientras una de ellas se seca para ser reparada.*

CAPITULO IX

LAGUNA DE OXIDACION

ESCUELA NORMAL RURAL DE SAN ANDRES

GENERALIDADES

Se escogió el cálculo de una laguna de Estabilización para la Escuela Normal Experimental de San Andrés, ya que por no disponer todavía de una instalación para evacuar los desechos que se producirán en ella, no ha entrado en servicio a pesar de haberse terminado la construcción de los edificios desde el año pasado, lo que representa una pérdida considerable para el Ministerio de Educación, dada la escasez de edificios adecuados para impartir la docencia.

La construcción de una instalación de este tipo se hace conveniente por dos razones principales:

1) Para resolver en una forma económica el problema de la evacuación de los desechos provenientes de la escuela, evitando la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales próximas; y

2) Porque tenemos la oportunidad de iniciar en nuestro país una experiencia con este sistema, que sería de gran valor para intensificar su construcción en distintas poblaciones del país.

Para efectos de cálculo, se estima que la población escolar inicial será de unos 600 alumnos, previéndose un aumento de población para los próximos años, haciéndose necesario que la construcción comprenda

2 etapas: la primera calculada para la población inicial y la segunda cuando se crea conveniente su construcción en vista del aumento de población; ambas funcionarán en paralelo.

Ubicación: La Escuela Normal Experimental de San Andrés, se ha construido a unos 200 m. de la carretera Panamericana que une San Salvador y Santa Ana a la altura del Km. 29 cerca del Regimiento de Caballería, en el Valle de Zapotitán. Sus coordenadas cartográficas son:

latitud  $13^{\circ} 47.3'$  Norte

longitud  $89^{\circ} 24.5$  Oeste

Localización de la laguna: Tomando en cuenta las consideraciones expuestas en el Cap.VIII, Pág. 95 se tiene lo siguiente: La laguna se ha ubicado en un nivel que difiere 6 Mts. aproximadamente del nivel del sistema colector de modo que obtenemos una pendiente aproximada del 0.5% que está dentro del rango promisible.

La laguna se ha ubicado a una distancia aproximada de 1000 m., en terrenos propiedad del Ministerio de Agricultura y Ganadería como puede verse en el plano adjunto.

La Dirección de los vientos dominantes es hacia el oeste lo cual nos favorece en este sentido por ser en dirección a una zona despoblada.

### 3. Características del terreno

La topografía es plana con un nivel freático bastante superficial y por las características de la vegetación del lugar, se supone que es un suelo con bastante materia orgánica, lo cual nos indica que para lograr un buen funcionamiento se debe impermeabilizar el fondo y diques e la laguna a fin de evitar la percolación excesiva, y con ello una aja sensible en el tirante diseñado, además de evitar la contaminación el manto acuífero.

El manto acuífero es bastante supervicial (2 met.aprox.) y en la estación lluviosa sube tanto el nivel freático que el terreno se vuelve pantanoso.

#### 4. Condiciones Meteorológicas

Debido a que en el diseño de la laguna no solamente interviene el influente o flujo de entrada sino también la precipitación del lugar, la evaporación del agua de la superficie de la laguna, la velocidad del viento, la percolación y otros, se hace necesario conocer estos datos que se encuentran en el informe del servicio Meteorológico Nacional, y lo cual permite hacer un mejor diseño y con ello preveer un mejor funcionamiento.

#### 5. Diseño

El diseño de una laguna de Estabilización debe de llevarse a cabo considerando los siguientes aspectos:

- a) Población servida
- b) Naturaleza de los desechos (D.B.O.)
- c) Selección del sitio
- d) Forma de la laguna
- e) Area
- f) Profundidad
- g) Diques
- h) Estructura de la entrada
- i) Estructura de la salida
- j) Período de retención
- k) Cercas y señales.

Habiendo seleccionado el sitio, tenemos que determinar las dimensiones geométricas de la laguna, en base de los cuales asumiremos la forma definitiva de la misma.

Cálculo

Para proceder a calcular y con ello a dimensionar la laguna se enen los siguientes datos:

Población servida: 600 habitantes

Dotación : 150 litros/hab./día

D.B.O. : 60 gr/hab/día: 400 mg/lit.

(Carga recomendada por ATD - Sewage Lagoons)

Carga de trabajo: 150 kg/Hab./día (de D.B.O.) \*

(Depende de las características del lugar, estableciéndose compa-  
ativamente con lugares en condiciones similares a las **nuestras**).

Profundidad: se recomienda de 3 a 4 pies (0.90 a 1.20 m)

con estos datos se determinará:

Caudal Caudal diario promedio  $\overline{Qd}$

$$Qd : 600 \times 150 = \frac{90.000 \text{ Lts./día}}{86.400} = 1.04 \text{ Lts./seg.}$$

Carga (D.B.O.) carga diaria promedio (Cd)

$$Cd : 400 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} \times 90.000 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 36 \times 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{día}} = 36 \text{ kg/día (D.B.O.)}$$

Area Si la tasa de trabajo es de 150 kg/ha./día y la laguna recibe una carga diaria de 36 kg/día el área (A) de la laguna viene dada por:

$$A = \frac{36 \text{ kg/día}}{150 \text{ kg/ha/día}} = 0.24 \text{ Ha.} = \underline{2400 \text{ M}^2}$$

Volumen: Asumiendo una profundidad promedio de 1.00 m. el volumen o capacidad de la laguna es:  $V: A.d = 2400 \times 1.00 = \underline{2400 \text{ M}^3}$

Período de retención (t), viene dado por:

$$t = \frac{V}{Qd} = \frac{2400 \text{ M}^3}{90 \text{ M}^3/\text{día}} = \underline{27 \text{ días}}$$

Hay que considerar variaciones en el volumen por efectos de precipitación, evaporación e infiltración. Los datos de precipitación los encontramos en el informe meteorológico y los datos de infiltración, de-

penden del tipo de suelo.

Las crecidas y bajadas de volumen por los factores expuestos se pueden regular mediante un vertedero triangular de concreto, situado en la salida y que también regula el caudal del efluente.

\* Con esta carga de trabajo se ha experimentado en Costa Rica, obteniéndose resultados satisfactorios.

F O R M A: Adoptaremos una forma rectangular por ser la más recomendada, con una relación largo a ancho de 3 a 1 o sea; como se necesita un área de 2400 Mts<sup>2</sup>. Podemos asumir una laguna de 30 m x 80 m.

Diques: Deben hacerse en una forma tal, que su mantenimiento y limpieza sea fácil. Las orillas de las lagunas deben estar siempre libres de hierbas y malezas.

Los diques se impermeabilizarán y en la parte superior tendrán un ancho de 2 a 3 Mts. La altura del dique será tal, que la cresta estará por lo menos 0.70 m. más alta que el nivel máximo del agua. En nuestro caso asumiremos una altura de 2.00 m. entre el fondo de la laguna y la cresta del dique y un ancho en la corona de 2.00 m.

Período de Retención: Ya se encontró anteriormente que el período de retención para la laguna en cuestión, era de 27 días; por otra parte, la experiencia ha demostrado que una laguna de Estabilización funciona adecuadamente con un rango bien amplio que va desde los 10 hasta 150 días. Todo ello depende de la carga aplicada y de los otros factores que se han considerado.

Cercas y señales: Se hace necesario instalar cercas y señales prohibiendo el paso o entrada a la laguna, para evitar que las personas del vecindario confundan la laguna de tratamiento, con una laguna corriente.

Las cercas tienen por objeto, evitar que personas y animales penetren a la laguna, lo cual sería nocivo tanto para ellos como para la estructura misma.

EFLUENTE: Hasta aquí, se ha hecho un breve análisis y descripción de los elementos que componen la laguna, faltando por hacer un ajuste del volumen de la misma considerando la precipitación, evaporación y percolación para determinar las variaciones de niveles y las variaciones del efluente en las distintas épocas del año, según las estaciones.

Para ello habrá que tomar en cuenta lo siguiente: "El monto anual de la descarga ocurrida en el efluente de una laguna es definido por la ecuación del balance hidráulico":

$$e = (A + P) - (E + F) \quad \text{donde:}$$

$e$  = Efluente

$A$  = Aguas negras recibidas

$P$  = Precipitación

$E$  = Evaporación

$F$  = Infiltración o percolación

7. Cálculo de Evaporación: Para calcular la evaporación se ocupará la fórmula de Meyer; (del curso sobre lagunas de Estabilización celebrado en Managua, Nicaragua).

$$Em = (Vw - v) \left(1 + \frac{W}{16}\right) \times 15$$

$Em$  = Evaporación mensual en mm.

$Vw$  = Presión de vapor a la temperatura del agua en mm. de Hg.  
(asumiremos una temperatura de 28 °C)

$v$  = Presión de vapor a la temperatura del aire multiplicada por la humedad relativa en mm. de Hg.

$W$  = Velocidad del viento en Km/h.

Se encontrarán mediante la fórmula expuesta, las pérdidas por evaporación durante los 12 meses del año.

Para ello ocuparemos la siguiente tabla:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
medios mensuales de la Temperatura en °C.	22.6	25.5	24.7	25.6	25.0	24.4	24.5	24.6	24.0	24.1	24.0	23.8
humedad relativa (%)	69	69	68	70	77	83	82	81	85	82	76	72
velocidad del viento (Km/h)	5.8	6.1	7.2	6.5	4.7	4.0	3.6	3.6	3.6	4.0	4.0	4.7

TABLA DE VARIACIONES DE LA PRESION DE VAPOR DE AGUA  
CON LA TEMPERATURA

temperatura	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
presión	4.58	4.75	5.20	5.63	6.10	6.54	7.10	7.60	8.15	8.70	9.21
temperatura	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
presión	9.90	10.65	11.35	12.05	12.80	13.75	14.65	15.60	16.55	17.50	
temperatura	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
presión	18.80	20.00	21.30	22.55	23.80	25.40	27.00	28.60	30.20	30.80	
	Temperatura en °C Presión en mm. de Hg.										

Enero:

$$Ene = 15(Vw-V) \left(1 + \frac{w}{15}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.69 \times 20.80 = 14.40$$

$$W = 5.8$$

$$E. \text{ Enero} = (28.60 - 14.40) 15 \left(1 + \frac{5.8}{15}\right) = 15 (14.20) (1.36) = 290 \text{ mm.}$$

$$E. \text{ Febrero} = 15 (Vw-V) \left(1 + \frac{w}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.68 \times 21.90 = 14.30$$

$$W = 6.1$$

$$E. \text{ Feb.} = 15 (28.60 - 14.30) \left(1 + \frac{6.1}{16}\right) = 15 (13.70) (1.38) = 284 \text{ mm.}$$

Marzo:

$$E. \text{ Marzo} = 15 (Vw - V) \left(1 + \frac{w}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.68 \times 23.40 = 15.90$$

$$W = 7.2$$

$$E. \text{ Marzo} = 15 (28.60 - 15.90) \left(1 + \frac{7.2}{16}\right) \\ = 15 (12.70) (1.45) = 278 \text{ m.}$$

Abril:

$$E. \text{ Abril} = 15 (Vw - V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.70 \times 24.75 = 17.30$$

$$W = 6.5$$

$$E. \text{ Abril} = 15 (28.60 - 17.30) \left(1 + \frac{6.5}{16}\right) = 15 \times (11.30) (1.41) = 240. \text{ mm.}$$

Mayo:

$$E. \text{ Mayo} = 15 (Vw - V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.77 \times 23.30 = 18.35$$

$$W = 4.7$$

$$E. \text{ Mayo} = 15 (28.60 - 18.35) \left(1 + \frac{4.7}{16}\right) = 15 (10.25) (1.29) = 200 \text{ mm.}$$

Junio:

$$E. \text{ Junio} = 15 (Vw - V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.83 \times 23.05 = 19.2$$

$$W = 4.0$$

$$E. \text{ Junio} = 15 (28.60 - 19.20) \left(1 + \frac{4.0}{16}\right) = 15 (9.40) (1.25) = 176 \text{ mm.}$$

Agosto:

$$E. \text{ Agosto} = 15 (Vw - V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.81 \times 23.30 = 18.85$$

$$W = 3.6$$

$$E. \text{ Agosto} = 15 (28.60 - 18.85) \left(1 + \frac{3.6}{16}\right) = 15 (9.75) (1.22) = 178 \text{ mm.}$$

Septiembre:

$$E. \text{ Septiembre} = 15 (Vw-V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.85 \times 22.55 = 19.20$$

$$W = 3.6$$

$$E. \text{ Septiembre} = 15 (28.60 - 19.20) \left(1 + \frac{3.6}{16}\right) = 15 (9.40) (1.22) = 172 \text{ mm.}$$

Octubre:

$$E. \text{ Octubre} = 15 (Vw-V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.82 \times 22.57 = 18.60$$

$$W = 4.0$$

$$E. \text{ Octubre} = 15 (28.60 - 18.60) \left(1 + \frac{4.0}{16}\right) = 15 (10.00) (1.25) = 188 \text{ mm.}$$

Noviembre:

$$E. \text{ Noviembre} = 15 (Vw-V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.76 \times 22.55 = 17.15$$

$$W = 4.0$$

$$E. \text{ Noviembre} = 15 (28.60 - 17.15) \left(1 + \frac{4.0}{16}\right) \\ = 15 (11.45) (1.25) = 215 \text{ mm.}$$

Diciembre:

$$E. \text{ Diciembre} = 15 (Vw-V) \left(1 + \frac{W}{16}\right)$$

$$Vw = 28.60$$

$$V = 0.72 \times 22.30 = 16.05$$

$$W = 4.7$$

$$E. \text{ Diciembre} = 15 (28.60 - 16.05) \left(1 + \frac{4.7}{16}\right) = 15 (12.55) (1.29) = 242 \text{ mm.}$$

### 3. Precipitación

Promedios mensuales de lluvia en San Andrés (milímetros de lluvia)

M E S E S	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic
Milímetros de lluvia	7	3	8	58	199	290	338	274	308	166	45	7

Tanto los aportes como las pérdidas las daremos en M<sup>3</sup>/mes para ver en que forma varía el volumen de la laguna y como se puede controlar.

Resumiendo:

$$\text{Area} = 2400 \text{ M}^2$$

$$\text{Volumen Sanitario} = 600 \times 150 \times 10^3 = 90 \text{ M}^3/\text{dia} = 2700 \text{ M}^3/\text{mes}$$

$$\text{Afluencias V. Precipitación} = 2400 \times hp$$

$hp$  = altura de lluvia caída cada mes en Hts.

$$\text{Afluencias Volumen sanitario} = 2700 \text{ M}^3/\text{mes}$$

Volumen precipitación

$$\text{Enero} = 2.400 \times 0.007 = 16.8 \text{ M}^3 \approx 17 \text{ M}^3$$

$$\text{Febrero} = 2.400 \times 0.003 = 7.2 \text{ M}^3 \approx 7 \text{ M}^3$$

$$\text{Marzo} = 2.400 \times 0.008 = 19.2 \text{ M}^3 \approx 19 \text{ M}^3$$

$$\text{Abril} = 2.400 \times 0.058 = 140.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Mayo} = 2.400 \times 0.199 = 478.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Junio} = 2.400 \times 0.290 = 700.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Julio} = 2.400 \times 0.338 = 810.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Agosto} = 2.400 \times 0.274 = 660.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Septiembre} = 2.400 \times 0.308 = 740.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Octubre} = 2.400 \times 0.166 = 400.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Noviembre} = 2.400 \times 0.045 = 108.0 \text{ M}^3$$

$$\text{Diciembre} = 2.400 \times 0.007 = 16.8 \text{ M}^3 \approx 17 \text{ M}^3$$

$$\text{Efluencias V. Evaporación} = 2400 \times hev$$

$hev$  = altura de agua evaporada cada mes en m.

$$\text{V. Percolación} = 2.400 \times hf$$

$hf$  = altura de agua filtrada en m.

Volumen evaporación

$$\text{Enero} = 2.400 \times 0.290 = 700 \text{ M}^3$$

$$\text{Febrero} = 2.400 \times 0.284 = 680 \text{ M}^3$$

$$\text{Marzo} = 2.400 \times 0.278 = 670 \text{ M}^3$$

$$\text{Abril} = 2.400 \times 0.240 = 575 \text{ M}^3$$

$$\text{Mayo} = 2.400 \times 0.200 = 480 \text{ M}^3$$

$$\text{Junio} = 2.400 \times 0.176 = 420 \text{ M}^3$$

$$\text{Julio} = 2.400 \times 0.178 = 430 \text{ M}^3$$

$$\text{Agosto} = 2.400 \times 0.178 = 430 \text{ M}^3$$

$$\text{Septiembre} = 2.400 \times 0.172 = 410 \text{ M}^3$$

$$\text{Octubre} = 2.400 \times 0.188 = 450 \text{ M}^3$$

$$\text{Noviembre} = 2.400 \times 0.214 = 515 \text{ M}^3$$

$$\text{Diciembre} = 2.400 \times 0.242 = 580 \text{ M}^3$$

Se ha considerado conveniente no tomar en cuenta el volumen perolado por el hecho de tener que impermeabilizar la laguna y también porque esta varía considerablemente en cada estación, pudiendo significar pérdidas en la estación seca cuando baja la tabla de agua y aporte en la estación lluviosa.

#### 0. Características del río Belén (Dilución)

Tiene un caudal mínimo (crítico) de 0.052 M<sup>3</sup>/seg. - 4500 M<sup>3</sup>/día medido, en el mes de enero de 1967 (dato proporcionado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería).

Conforme a esto la dilución es del orden de 1/50.

El área de la sección transversal en que se aforó el río es de 0.145 M<sup>2</sup>. De modo que la velocidad es:  $v = \frac{Q}{A} = \frac{0.052}{0.145} = 0.36 \text{ m/seg.}$

#### 1. Recomendaciones:

##### Previas a la construcción de la laguna

Correr un perfil conforme al trazo hecho en la optativa (1) que se adjunta, para definir la pendiente de la tubería.

Construir pozos de visita o cajas de registro a distancia no mayores de 100 m. y en los puntos donde la tubería cambie de dirección o pendiente.

Impermeabilizar los tubos que conducirán al influente desde la toma del sistema colector hasta la laguna, para evitar infiltraciones en la estación lluviosa.

##### Para la construcción de la laguna:

Hacer la excavación hasta un 1 m. de profundidad, aprovechando el material de corte, para construir los diques o taludes y dándole una buena compactación que facilite la impermeabilización.

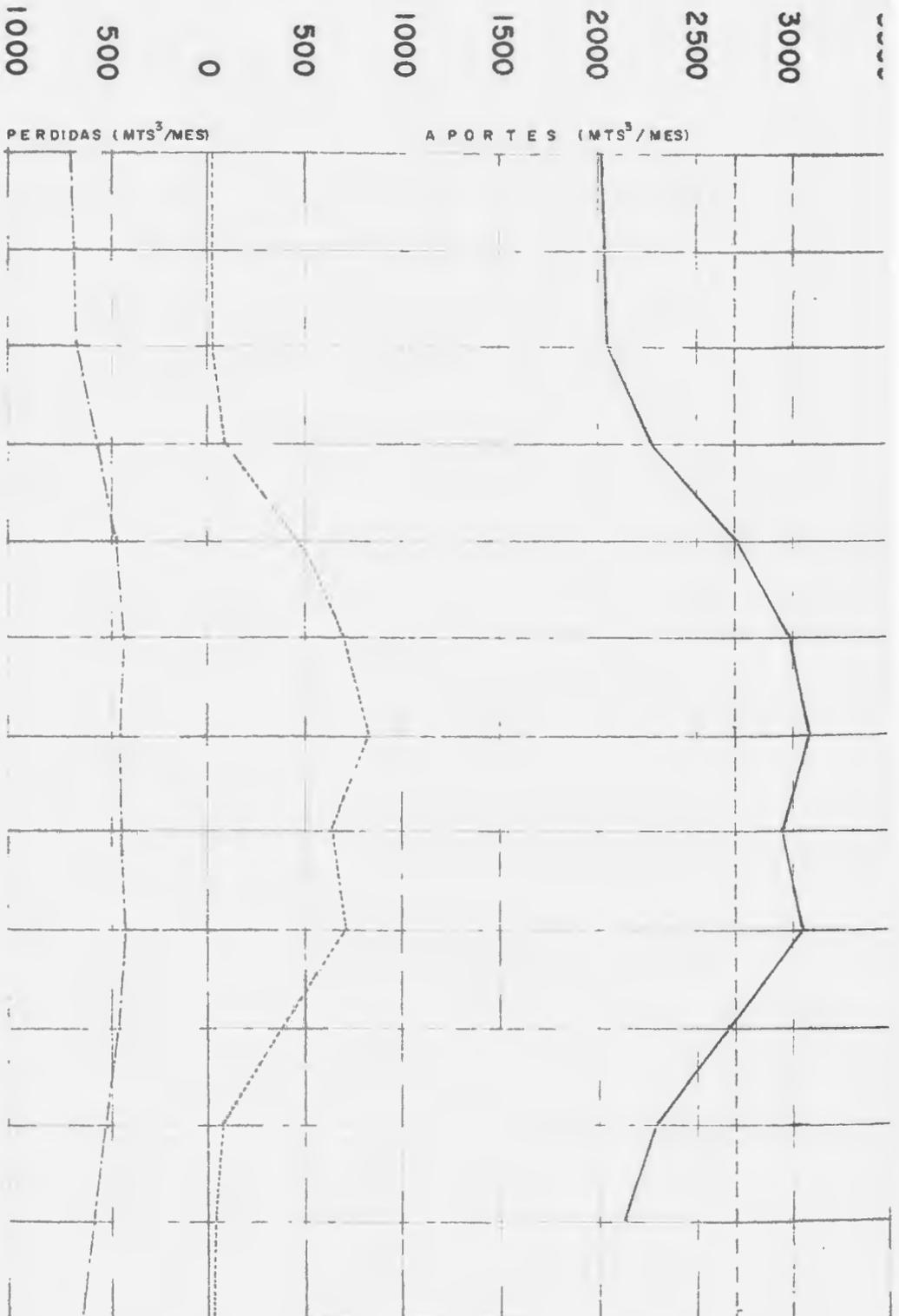
Impermeabilizar el fondo de la laguna y los diques con una mezcla de cal y arcilla o suelo cemento, en la proporción que nos garantice mejor dicho propósito. Engramar los taludes del dique para evitar los daños causados por la erosión y conservar la inclinación requerida para la estabilidad del mismo.

Para el funcionamiento de la laguna.

Llenar previamente la laguna con agua limpia, al hacerla trabajar por primera vez a fin de alcanzar el nivel de operación deseado.

Solicitar a la Dirección General de Salud, que practique continuamente pruebas de DBO, BHP de coliformes etc. a fin de tener un récord del funcionamiento de la laguna.

Atender todas las sugerencias hechas a fin de lograr un buen funcionamiento lo cual serviría como una experiencia valiosísima que estimularía el empleo intenso de este método para la depuración de las aguas servidas.

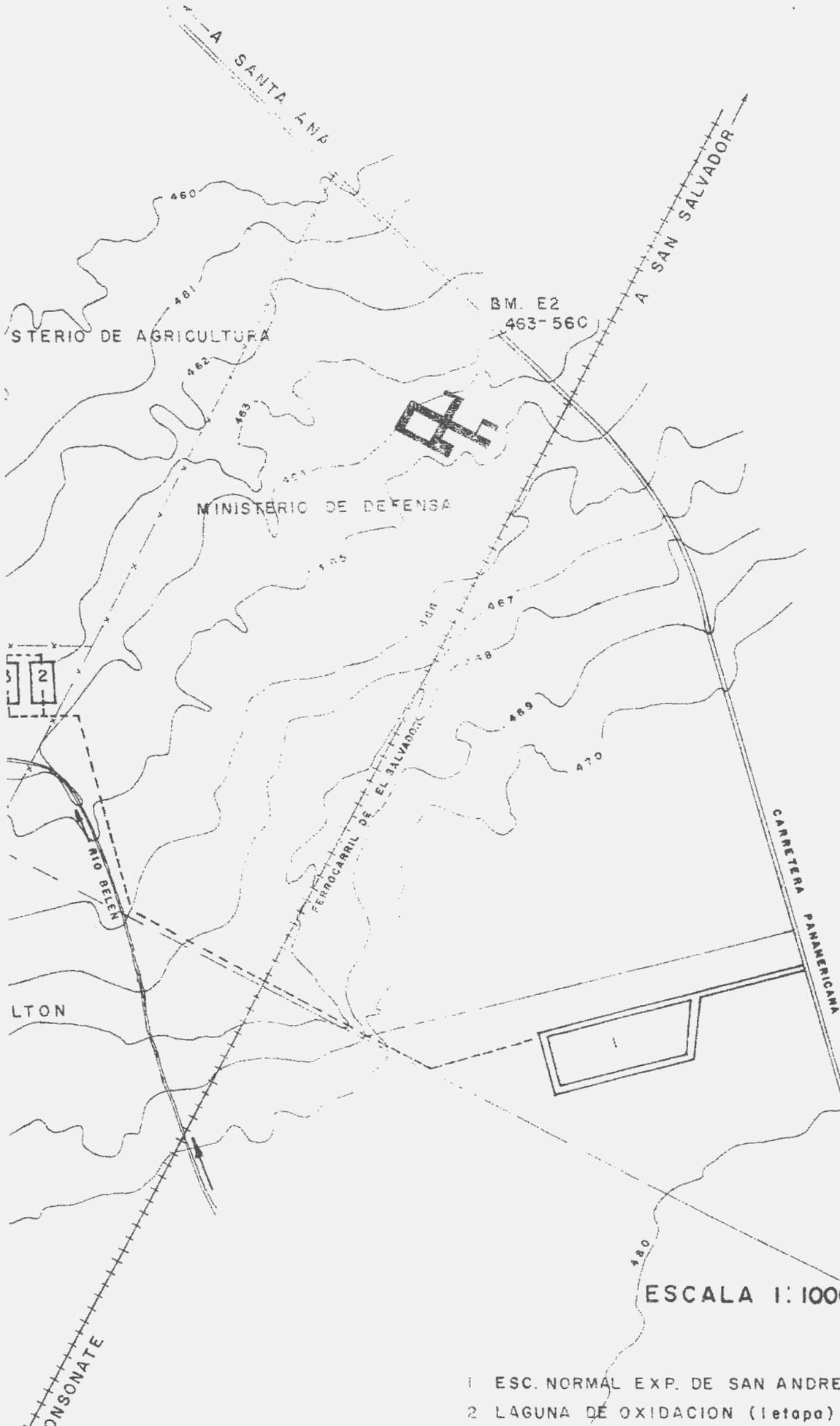


ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	DICIEMBRE	
2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	A
17	7	19	140	478	700	810	660	740	400	108	17	17	P
700	680	670	575	480	420	430	430	410	450	515	580	580	E
2017	2027	2049	2265	2698	2980	3080	2930	3030	2650	2293	2137	2137	e

$$e = A + P - E$$

AREA = 2400 M<sup>2</sup>

- A = AGUAS NEGRAS RECIBIDAS
- P = PRECIPITACION
- E = EVAPORACION
- e = EFLENTE



ESCALA 1: 10000

- 1 ESC. NORMAL EXP. DE SAN ANDRES
- 2 LAGUNA DE OXIDACION (1 etapa)
- 3 LAGUNA DE OXIDACION (2 etapa)

MINISTERIO DE AGRICULTURA

MINISTERIO DE DEFENSA

BM. E2  
463-560

SONSONATE

CARRERA A BELEN

FERROCARRIL DE EL SALVADOR

CARRERA A SAN SALVADOR

CARRERA PANAMERICANA

460

461

462

463

464

465

466

467

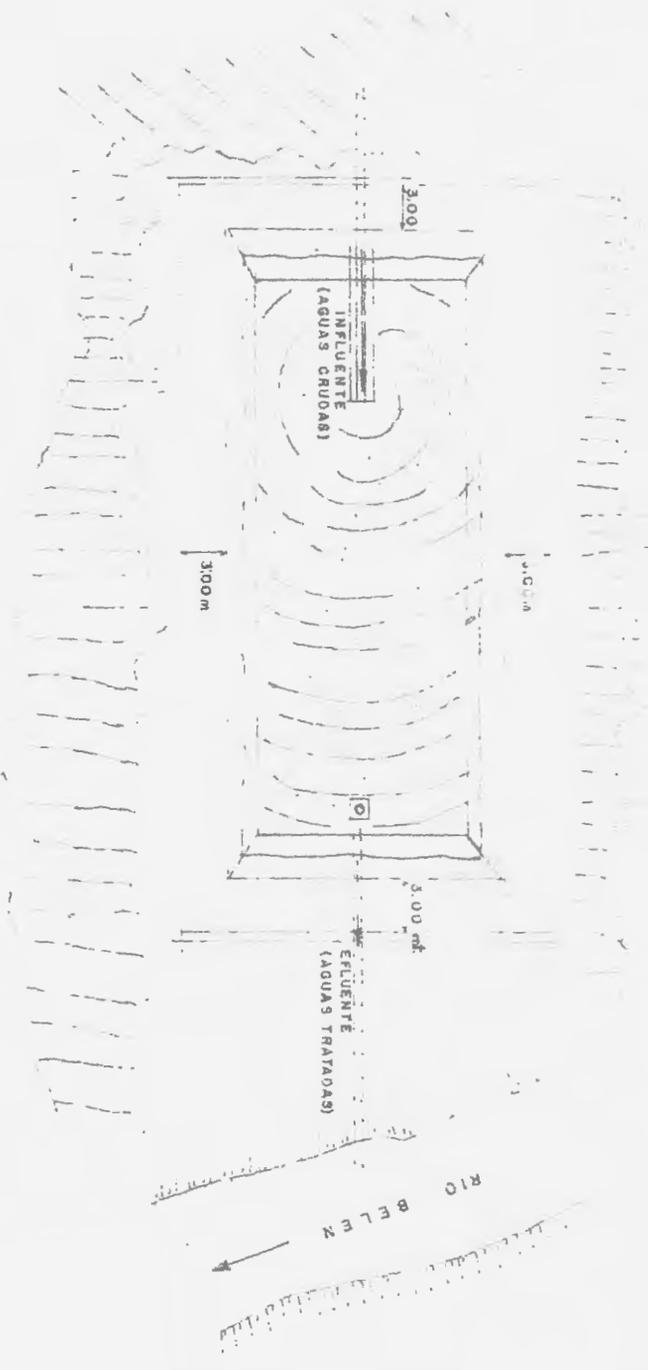
468

469

470

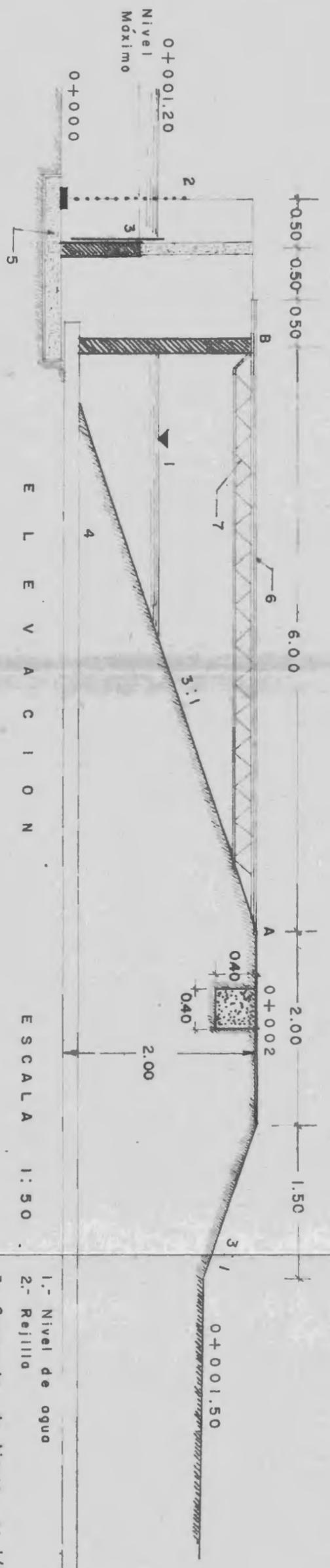
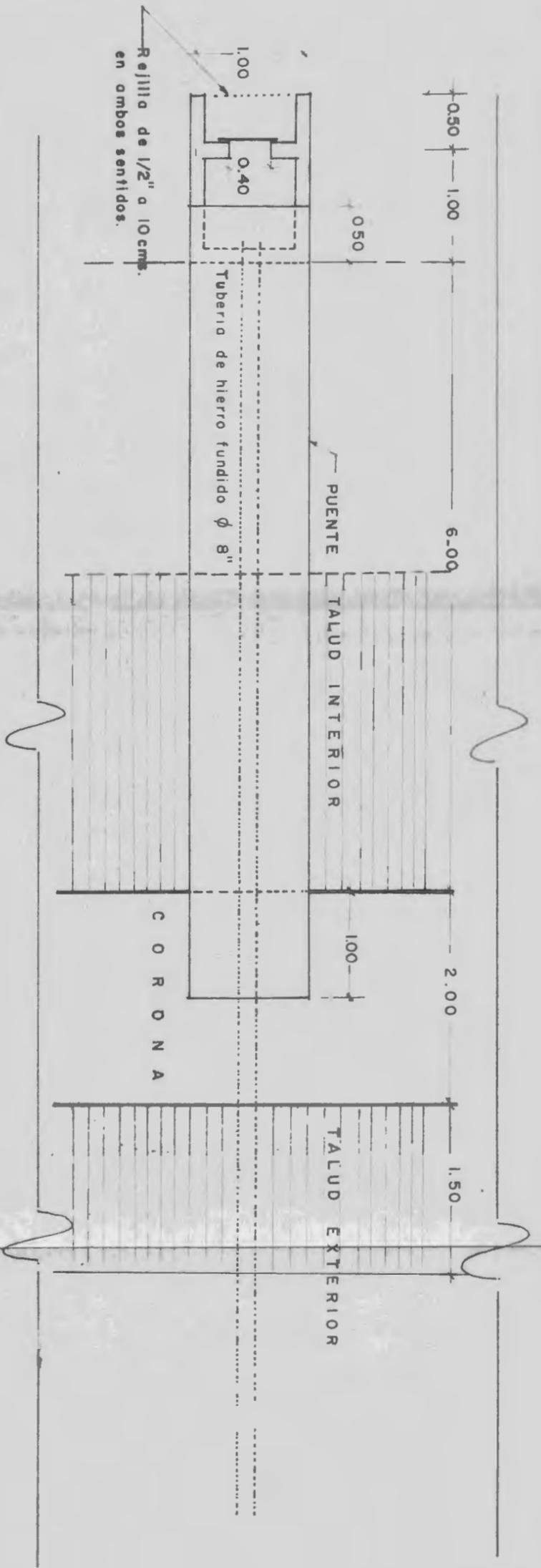
480

PLANTA DE LA LAGUNA



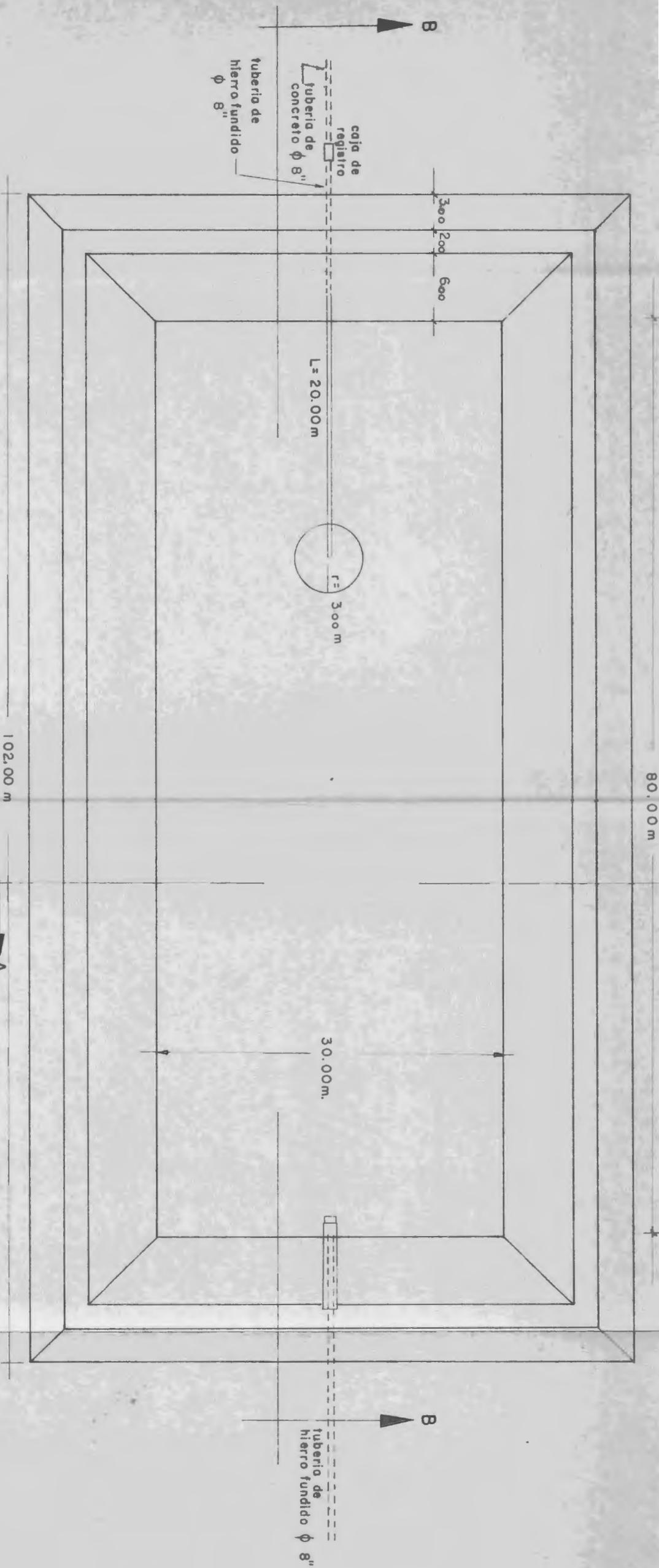
RIO BELEN

E S T R U C T U R A      P L A N T A      E S C A L A 1:50



- 1.- Nivel de agua
- 2.- Rejilla
- 3.- Compuerta de hierro e: 1/4"
- 4.- Tubería de hierro φ 8"
- 5.- Fundacion
- 6.- Plafón
- 7.- Viga macomber

PROYECTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL RURAL DE SAN ANDRES



PLANTA DE LAGUNA

ESCALA: 1:400



SECCION DE LAGUNA B-B

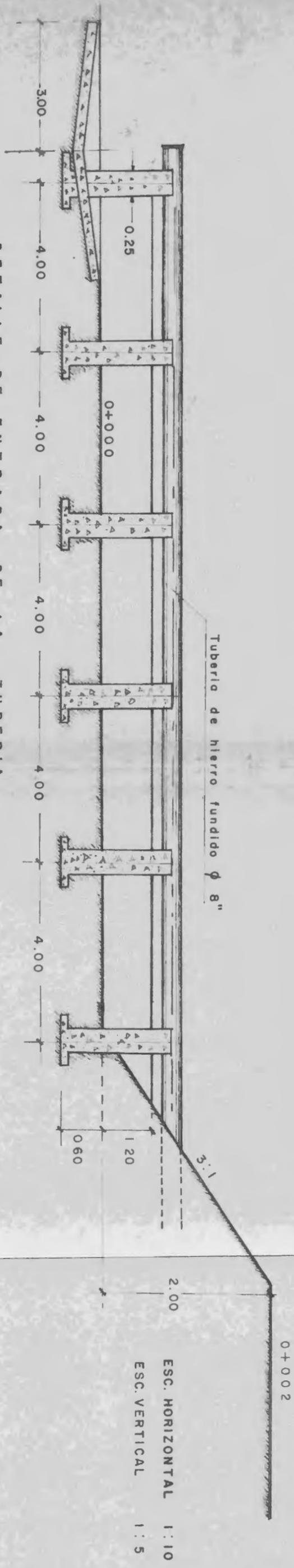
ESCALA VERTICAL: 1:100

ESCALA HORIZONTAL: 1:400

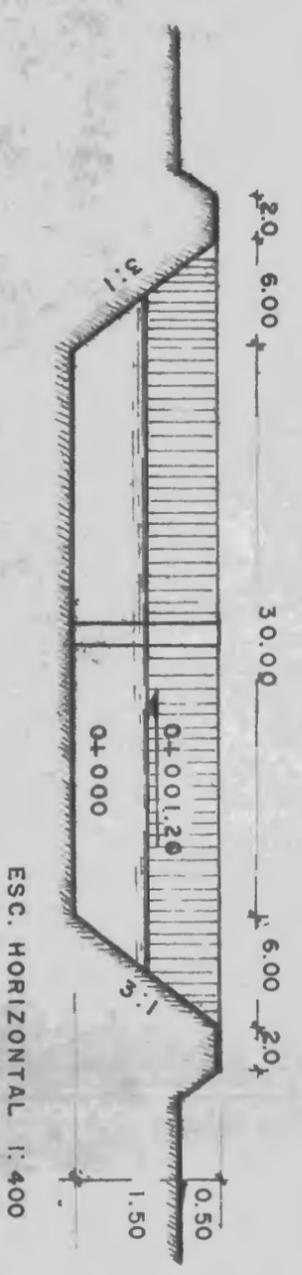
PROYECTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL RURA DE SAN ANDRES

PLANTA Y SECCION LONGITUDINAL

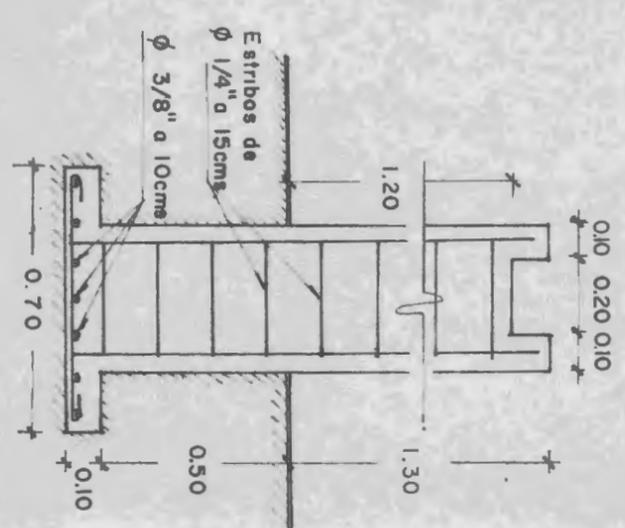
1/5



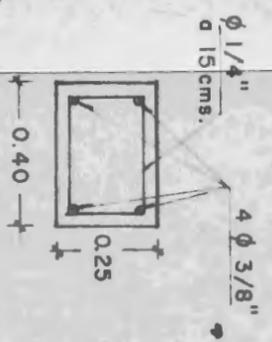
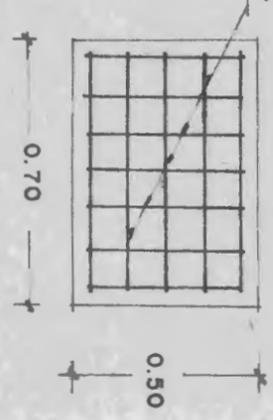
DETALLE DE ENTRADA DE LA TUBERIA



SECCION DE LAGUNA A-A



Parrilla de 3/8" a 10cms en ambos sentidos.

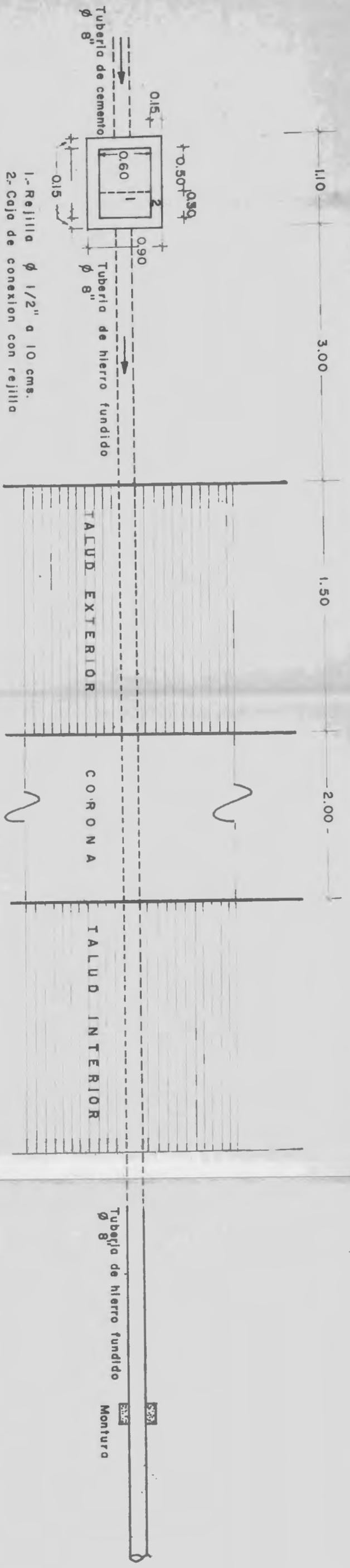


SECCION DE MONTURA

ELEVACION DE MONTURA

PROYECTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL RURAL DE SAN ANDRES

ESTRUCTURA DE ENTRADA Y SECCION TRANSVERSA



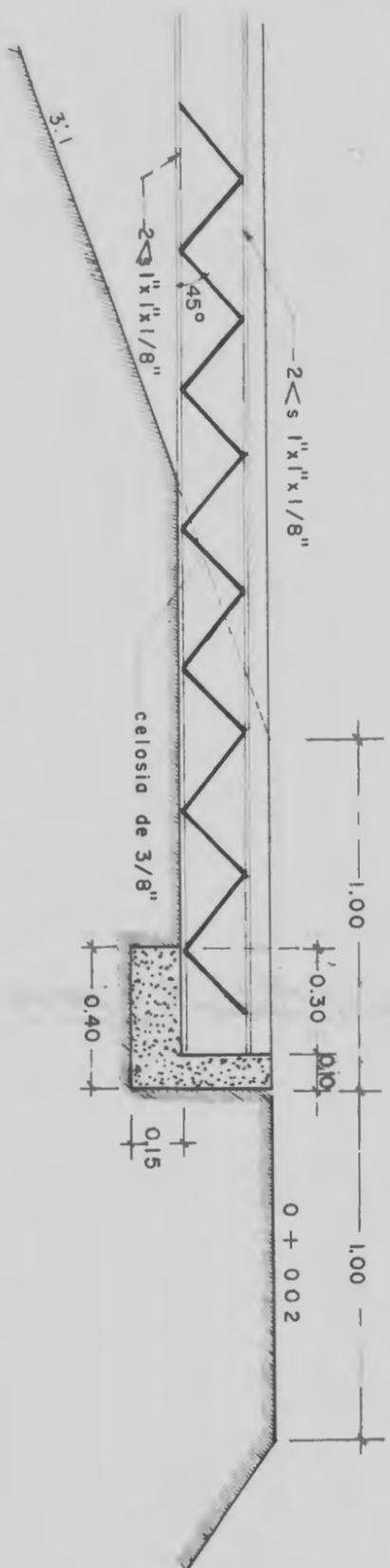
E L E V A C I O N

E S C A L A 1 : 5 0

E S C A L A 1 : 5 0

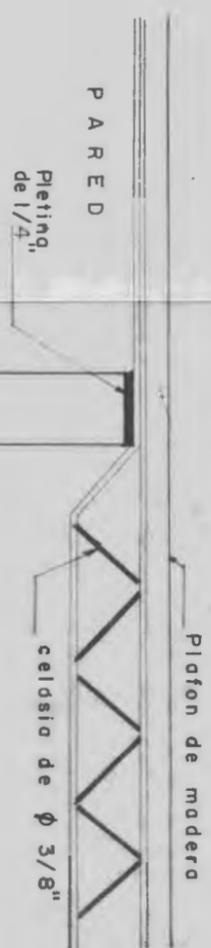
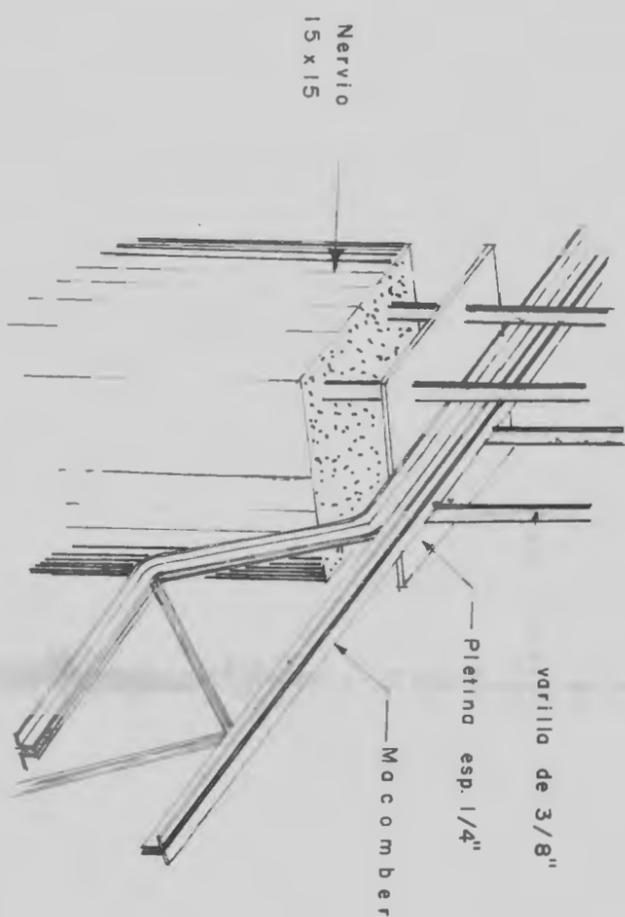
PROYECTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL RURAL DE SAN ANDRES

ESTRUCTURA DE ENTRADA PLANTA Y ELEVACION



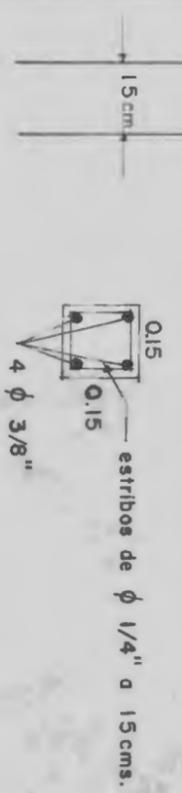
DETALLE "A"

ESCALA 1:20



DETALLE "B"

ESC. 1:20



PROYECTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION PARA LA ESCUELA NORMAL I IR DE SAN ANDRES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resumiremos las conclusiones de nuestro trabajo en la siguiente forma: El problema de la contaminación de nuestras aguas superficiales y subterráneas es manifiesto, debiéndose más que todo a que las aguas negras provenientes de las distintas poblaciones o industrias, se vierten crudas a las corrientes receptoras.

Nuestro país, tiene en este aspecto, características especiales como es la cosecha de café y de la caña de azúcar, que producen durante su proceso, fuertes cantidades de aguas mieles, con altos contenidos de materia orgánica, lo que hace más difícil, conseguir una solución adecuada del problema.

Por otro lado, nuestros ríos, cuyos caudales son muy reducidos, están sujetos al régimen de lluvia que tenemos, lo que hace que sus caudales varíen desde un máximo en el invierno, hasta un mínimo, a veces nulo, en el verano. Esto hace que la dilución también varíe desde un máximo hasta un mínimo, coincidiendo desafortunadamente, las temporadas del café y de la caña de azúcar con los caudales mínimos de los ríos.

Otro hecho que agrava el problema de la contaminación de las fuentes de agua naturales es el desarrollo de la industrialización, sobre todo en la capital, de donde se obtienen diversidad de desechos, que causan la degradación de las mismas.

La densidad y distribución de nuestra población así como la escasez de recursos económicos, son factores que vuelven más difícil la solución de este problema y con ello el de salud pública, ya que son muchos los habitantes que por ignorancia o necesidad, hacen uso de estas aguas.

Todo esto nos hace pensar en buscar una solución adecuada a fin de lograr un ambiente sano y agradable, así como un mejor aprovechamiento de nuestros recursos hidráulicos y siendo que una de las causas de esta situación es el hecho de que las aguas negras provenientes de las distintas poblaciones, fábricas, etc. no reciben ningún tipo de tratamiento, se deduce que si les damos un tratamiento aceptable, estaremos logrando aliviar el problema, en una forma más efectiva, cuando más se intensifique.

Al señalar las conveniencias del método de las lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas negras, se han expuesto los diferentes sistemas que pueden emplearse, concluyéndose que este método es el más adecuado, dadas las características de nuestra población y la escasez de recursos económicos.

Para este efecto, se ha creído conveniente, hablar de la historia y experiencia lograda en diferentes partes del mundo con las lagunas de estabilización, para notar como se ha intensificado su uso y como se ha ido obteniendo un mejor criterio, para su diseño, construcción, operación y mantenimiento.

La razón por la que se escogió el cálculo de una laguna de Estabilización para la Escuela Normal de San Andrés, fue para solucionar el problema de tratamiento de aguas negras e iniciar en nuestro país, la construcción de lagunas de Estabilización y conocer su comportamiento para diseñar mejor las futuras instalaciones que se construyan.

#### RECOMENDACIONES

Conforme lo expuesto anteriormente recomendamos:

- 1) Someter los desechos provenientes de las poblaciones, fábricas etc.,

a una forma de tratamiento aceptable, para garantizar la conservación de los recursos naturales.

- 2) Hacer una revisión del Código y Reglamentos que sobre este aspecto, tiene la Dirección General de Salud, sobre todo en lo que respecta a su aplicación, ya que por su desactualización, resulta inadecuado e ineficaz.
- 3) Tratar los desechos domésticos e industriales, con el método de las lagunas de estabilización, por las ventajas que presenta en cuanto a su costo, operación y mantenimiento, así como por considerarlo el más conveniente para resolver este problema.
- 4) Atender las medidas o reglas que para la operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización, se expusieron en el desarrollo del tema, a fin de lograr un buen funcionamiento.
- 5) Destinar el efluente que se obtenga de las lagunas, para fines de riego o procesos industriales, ya que en el primer caso, el contenido de materia orgánica de estas aguas, estimula los cultivos y en el caso de procesos industriales, por que generalmente demandan grandes cantidades de agua sin importar, en determinadas industrias o partes del proceso, la calidad de las mismas; aunque el beneficio más grande que se obtendría del tratamiento de las aguas residuales sería en el aspecto de salud pública, al mejorar las condiciones ambientales y la calidad de las aguas superficiales, garantizando la salud de los habitantes.
- 6) Debido a que la enseñanza de la Ingeniería Sanitaria en nuestra Facultad es más que todo teórica, sugerimos que ANDA, repare y done en buenas condiciones de funcionamiento, la planta de tratamiento que está cerca de la Ciudad Universitaria, para facilitar la enseñanza

de la cátedra mencionada en lo que a disposición de aguas residuales se refiere.

- 7) Cuando se construyan las primeras lagunas de Estabilización en nuestro país, debe de llevarse un control periódico de su comportamiento, para determinar los factores de diseño adecuados para las que se sigan construyendo, sobre todo determinar las tasas de trabajo que convienen para cada caso.
- 8) Que este control sea llevado a cabo por ANDA y por la Dirección General de Salud, colaborando con ellos las autoridades de cada Municipio, a fin de lograr una buena coordinación en sus actividades.
- 9) Que la Dirección General de Salud practique pruebas de DBO y NiP de coliformes, para chequear si las aguas del efluente que sale de una laguna de estabilización, han alcanzado el grado de depuración deseado.

Al proceder en esta forma, estaremos logrando mejores condiciones ambientales con la consiguiente disminución de las enfermedades y por ende de la morbilidad; un mejor aprovechamiento de las corrientes de agua naturales, en obras de riego, baño, lavado, pesca., y a veces hasta en la dotación de las poblaciones, recuperando al mismo tiempo, la belleza del paisaje.

B I B L I O G R A F I A

MANUAL DEL CURSO SOBRE LAGUNAS DE ESTABILIZACION :  
Oficina Sanitaria Panamericana.  
Organización Mundial de la Salud.

MICROBIOLOGY FOR SANITARY ENGINEERS :  
Ross E. McInney.

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS :  
Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.

ABASTECIMIENTO DE AGUAS Y ALCANTARILLADO :  
E. W. Steel.

MATER SUPPLY AND WASTE WATER DISPOSAL :  
Fair and Geyer.

POLUCION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL SALVADOR :  
Ing. Alirio Américo Bernal  
Ing. Rafael Ignacio Pacheco.

SEWAGE LAGOONS FOR DEVELOPEMENT COUNTRIES :  
A. I. D.

REVISTAS DE AIDIS.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-