

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería Sanitaria

El Empleo de las Lagunas de Estabilización en el Tratamiento de Desagües

TOMO I

Tesis de Bachiller y Grado

Para obtener los títulos de

Bachiller e Ingeniero Sanitario

ANA BOYANOVICH G.

LUIS SIERRALTA Z.

Promoción 1966

Julio 1969

PROGRAMA

EL EMPLEO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION EN EL TRATAMIENTO DE DESAGUES

	Pág.
1.- INTRODUCCION AL TEMA.....	1
2.- OBJETIVOS.....	5
<u>PARTE I</u>	
<u>AGUAS</u>	
3.- CARACTERÍSTICAS DE LAS NEGRAS.....	7
3.1.- Características Físicas.....	7
3.1.1.- Temperatura	
3.1.2.- Olor	
3.1.3.- Color	
3.1.4.- Turbidéz	
3.2.- Características Químicas.....	8
3.2.1.- Sólidos	
3.2.2.- Oxígeno	
3.2.3.- Nitrógeno	
3.2.4.- Cloruros	
3.2.5.- Grasas	
3.2.6.- Gases	
3.2.7.- Acidos volátiles	
3.2.8.- Alcalinidad	
3.3.- Características Biológicas	14
4.- LAGUNAS DE ESTABILIZACION (Introducción).....	16
4.1.- Historia de las Lagunas de Estabilización.....	16
4.2.- Tipos de Lagunas	21

4.2.1.- Lagunas Aeróbicas	
4.2.2.- Lagunas Anaeróbicas	
4.2.3.- Lagunas Facultativas	
4.3.- Empleo de las Lagunas de estabilización	25
4.3.1.- Clases de desechos tratados	
4.3.2.- Limitaciones en el empleo de las Lagunas	
4.4. Aplicaciones del efluente	30
5.- BIOLOGIA DE LAS LAGUNAS	35
5.1.- Principios	35
5.1.1.- Desarrollo de los organismos	
5.2.- Algas.....	47
5.2.1.- Estructura de las células algáceas y agrupamien- to de las mismas.	
5.2.2.- Tipos de algas	
5.2.2.1.- Algas en Lagunas de Estabilización	
5.3.- Bacterias	67
5.3.1.- Estructura de las bacterias	
5.3.2.- Características de las bacterias	
5.3.3.- Metabolismo de las bacterias	
5.3.4.- Acción de los agentes físicos y químicos sobre las bacterias	
6.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA LAGUNA.....	83
6.1.- Factores físicos	83
6.2.- Factores químicos	99

	Pág.
6.3.- Factores biológicos.....	108
7.- DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.....	114
7.1.- Criterio de Neel.....	114
7.2.- Criterio de Gotaas-Oswald-Golueke.....	114
7.3.- Criterio de Gloyna.....	116
7.4.- Criterio de Marais.....	124
8.- ASPECTOS ECONOMICOS DE LAS LAGUNAS.....	130
9.- BIBLIOGRAFIA.....	140

PARTE II

10.- ANTEPROYECTO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.....	142
---	-----

PARTE III

INVESTIGACION EN LAGUNA EXPERIMENTAL

11.- SUMARIO.....	160
12.- INTRODUCCION.....	161
13.- OBJETIVOS.....	162
14.- ZONA EXPERIMENTAL.....	162
14.1.- Descripción de la planta.....	163
14.2.- Clima.....	163
15.- DESCRIPCION DE LA INVESTIGACION.....	167
15.1.- Operación.....	167
15.1.1.- Calidad del desagüe	
15.1.2.- Cargas orgánicas aplicadas	

15.1.3.- Profundidad	
15.2.- Trabajo realizado.....	169
15.2.1.- Trabajo de campo	
15.2.2.- Trabajo de laboratorio	
16.- RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	170
16.1.- Experimento N° 1.....	171
16.2.- Experimento N° 2.....	174
16.3.- Experimento N° 3.....	177
16.4.- Experimento N° 4.....	180
16.5.- Experimento N° 5.....	182
16.6.- Experimento N° 6.....	185
17.- ACUMULACION DE LODOS.....	187
18.- DISCUSION GENERAL.....	190
19.- CONCLUSIONES.....	202
20.- BIBLIOGRAFIA.....	205

P R O L O G O

Este trabajo que significa un pequeño aporte para suplir las necesidades, en cuanto a sistemas de tratamiento de desagües se refiere, va dirigido a la juventud, a esa juventud capaz de producir cambios de acuerdo a la especialidad de cada uno de ellos.

Los problemas que se presentan en el diseño son solucionados muchas veces de manera que se justifica técnicamente pero no económicamente, sea esto por el uso de parámetros importados; uso de plantas denominadas compactas que en la mayoría de los casos, dado el deficiente mantenimiento, resultan un fracaso; ó el empleo de equipo importado, ya sea obligado por los llamados préstamos "Ligados" ó por ignorancia. Todo esto se hace sin meditar que nuestro país, como todo país en vías de desarrollo, debe sustituir sus importaciones y buscar en la solución de sus problemas el ingenio nacional, entiéndase por esto "El empleo de soluciones nacionales para un problema nacional" y no el trasplantar soluciones extranjeras que no encajan en nuestra realidad. No con esto pretendemos pecar de "Chauvinistas", pero si no pensamos con el criterio Perú y por el Perú nunca llegaremos a nada.

Es por esto que la investigación aplicada (sin descuidar la pura, muy importante por cierto) es tan neces-

ria. Se dice que la investigación es un "proceso de pre-inversión" y no cabe la menor duda que es así; si pensamos que las obras de infraestructura, son obras no reproductivas a corto plazo y representan fuerte inversión :al erario nacional podemos ver la importancia que representa el que por medio de la investigación se puedan abaratar costos empleando personal, datos de diseño y materiales nacionales.

No pretendemos con este prólogo sentar cátedra de nacionalismo, pero tampoco podemos dejar de hacer oír nuestra voz, sobre todo en este momento, que es el de las definiciones.

1.- INTRODUCCION AL TEMA

Los seres vivos estan rodeados de seres materiales y energías que constituyen su ambiente y mediante los cuales satisfacen sus necesidades vitales, siendo por ello insoslayable su estrecha relación con cuanto lo rodea. Así como el protoplasma, constituyente esencial de todo ser viviente es asiento de un inmenso dinamismo y requiere un continuo intercambio de materia y energía; del mismo modo todo organismo precisa para conservar la vida de un continuado aporte de materia y energía, que solo puede realizar se mediante el intercambio material y energético del medio que lo rodea. Ningún animal ni vegetal puede vivir aislado por completo, sino que, por el contrario necesita:

- 1° Incorporar energía del medio
- 2° Incorporar diferentes materiales
- 3° Eliminar productos residuales

La acción del ambiente no está limitada al simple suministro de materia y energía a los seres vivos para colmar sus necesidades vitales, sino que, también pueden proporcionar sustancias nocivas o medios desfavorables.

Es por eso que, para que un organismo pueda desarrollarse normalmente, el ambiente deberá reunir dos condiciones:

1° Proporcionar un mínimo de requisitos indispensables para la vida.

2° No contener ninguna condición desfavorable para aquella.

El medio puede no contener condiciones desfavorables al organismo, que este mismo se los crea mediante la eliminación de sus productos residuales. En la naturaleza todo organismo tiende a alejarse o a alejar de sí a los productos de eliminación.

Para el hombre, organismo mas perfectamente desarrollado, constituye un principal problema la evacuación de sus productos de desecho, reunidos en lo que comunmente se llama aguas negras, desagues o aguas cloacales.

Aparte de las sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas que el hombre elimina, arroja también ciertos organismos muy pequeños, parásitos patógenos que conllevan la posibilidad de transmisión a otro ser humano, de la disentería, las fiebres Tifoidea y Paratíficas, el cólera, la Anquilostomosis, las diarreas infantiles, la escariasis, la bilhariosis y otras infecciones intestinales o infestaciones parasitarias análogas. En el mundo, la tasa de mortalidad que presentan el cólera, la fiebre Tifoidea y la Disentería, oscila entre 0 y 50 por 100,000. Las grandes diferencias, representan el grado de eficiencia de la evacuación de excretas. Estas últimas enfermedades, son tras

mitidas por ingestión de alimentos contaminados con aguas cloacales; pero otras como la Bilhariasis, se adquieren por contacto de la piel con aguas contaminadas, si se toma un baño en ellas; y otras como la filariasis urbana se transmiten por la picadura de un insecto vector que se cría en aguas contaminadas.

También algunas sustancias químicas que contienen las aguas residuales, o que se producen en ellas, pueden ser causa de enfermedades de tipo intoxicaciones.

Además de constituir un problema para la salud humana, las aguas negras crean problema de orden estéticos; los olores fétidos que despiden, y el color grisáceo que adquieren las aguas sin tratar, las hacen repulsivas. Es interesante notar que en muchos casos el control de la contaminación por aguas cloacales, ha sido motivada: por la sensibilidad estética del hombre.

Todavía no se ha comprobado que los malos olores afecten directamente a la salud humana, por lo que ellos solamente se consideran dentro de las razones de orden estético.

Aparte de la influencia directa que tienen las aguas negras con la salud del hombre, y la estética que lo rodea, existen otras interrelaciones indirectas, tal es la del perjuicio que ocasionan las aguas cloacales, al verse en una fuente de agua que sea criadero de peces, u o

tras formas de vida acuática que requieren de O_2 para su desarrollo. La materia oxidable que lleva consigo un desague, absorbe el O_2 disuelto del curso de agua, privando de este vital elemento a los animales acuáticos, y por ende provocando su extinción.

Si se usan aguas negras en el regadío, especialmente de hortalizas, éstas se contaminan, constituyen un vehículo de transmisión de patógenos al hombre. Igual problema sucede si las aguas negras ingresan a abrevaderos de animales que se crían para el consumo humano.

Finalmente los terrenos por los cuales cruzan aguas contaminadas, sufren una depreciación, por este mismo hecho.

Por todo lo anteriormente expuesto se deduce la necesidad de tratar los desagues para protección de la vida humana y acuática que representan ambas un capital incalculable. Dada la abundancia de terreno, especialmente en nuestra costa, las Lagunas de Estabilización se hacen las más indicadas como medio de disposición final de las aguas servidas, económico y de fácil aplicación en nuestro medio.

2.- OBJETIVOS

El presente trabajo fija los siguientes objetivos:

- 1.- Recopilar la bibliografía referente a las lagunas de estabilización como solución al tratamiento de desagués.
- 2.- Elaborar un anteproyecto de Normas para el diseño de lagunas de estabilización.
- 3.- Realizar una investigación en una laguna experimental.

El presente trabajo ha sido dividido en tres partes, para cumplir con cada uno de los objetivos.

P A R T E I

3.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NEGRAS

Para un mejor estudio de las características de las Aguas negras se separan en tres grupos:

Características: Físicas, Químicas, Biológicas.

3.1.- CARACTERISTICAS FISICAS

Dentro de ellas se considera, la temperatura, olor, color y turbidez.

3.1.1- Temperatura

La temperatura de los desagües, es generalmente un poco mayor que la del agua de abastecimiento. Si a la inversa, la temperatura del desagüe es menor que la del agua, quiere decir que hay infiltración de aguas subterráneas o superficiales.

Si la temperatura es mayor de lo normal, indica que hay descargas de residuos industriales calientes. Conforme va aumentando la temperatura, la viscosidad disminuye y por consiguiente se eleva la eficiencia en la sedimentación de las partículas presentes en el desagüe.

3.1.2.- Olor

Cuando las aguas negras domésticas están frescas, tienen un olor a moho, que no es desagradable. Conforme se van haciendo sépticas, aparece un olor a ácido sulfhídrico y a otras sustancias de descomposición. Tratándose de de-

sagues industriales, las sustancias químicas presentes las pueden dar olores característicos.

3.1.3.- Color

De ordinario, un desagüe doméstico fresco tiene un color grisáceo; si presenta un color negro, es índice que está alterado o en estado séptico; esto especialmente si despiden olor a ácido sulfhídrico.

3.1.4.- Turbidez

Normalmente las aguas negras domésticas tienen alta turbidez y las partículas en suspensión, se ven a simple vista. En algunos casos es posible correlacionar la turbidez con la demanda bioquímica de oxígeno.

3.2.- CARACTERISTICAS QUIMICAS

Dentro de la composición química de las aguas se encuentra material orgánico e inorgánico.

El material inorgánico, está formado por la arena y la materia mineral proveniente del agua de abastecimiento, de infiltraciones de la napa subterránea y de desagües industriales.

Esta materia mineral está formada por carbonatos, cloruros y otras sales de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Hierro, compuestos que casi no se alteran a través del tratamiento de desagues; así, cuando se encuentra una variación de los cloruros, es que ha habido dilución o eva-

poración.

El material orgánico, está formado principalmente por Carbohidratos, proteínas, azúcares, grasas, jabones, celulosa, que al descomponerse dan N,C,O,H,P,S y otros elementos que pueden contener los residuos industriales.

Un análisis químico sanitario de las aguas negras, investiga solamente los compuestos y elementos que tienen importancia en la fuerza y en la descomposición de las aguas negras, así como a través de su tratamiento. Los siguientes son los normalmente investigados:

3.2.1.- Sólidos

Al residuo de la evaporación se llama sólidos totales, dentro de los cuales, hay fijos y volátiles; los fijos representan la materia inorgánica, de poca importancia para el tratamiento de desagues. La materia orgánica está representada por los sólidos volátiles y es sobre esta porción de los sólidos, que incide el tratamiento, ya que es la materia susceptible de entrar en putrefacción.

Tanto los sólidos volátiles como los fijos, pueden estar en suspensión y en solución, siendo los suspendidos separables por filtración; en este caso, los sólidos volátiles disueltos, son los que revisten mayor importancia, ya que son los que mas facilmente entran en putrefacción y los mas difíciles de eliminar.

También hay materia coloidal dentro de las aguas negras, pero no se conoce ningún método tipo para su determinación; ella se incluye dentro de la materia en solución.

Otra medida de sólidos, importante, es la de los sedimentables, cuya cantidad sugiere la capacidad de las instalaciones, para tratar los lodos.

3.2.2.- Oxígeno

Se le investiga bajo diversas formas, ya que es el elemento de mayor importancia durante el tratamiento de désagües, pues la materia orgánica, necesita para descomponerse, de la presencia de Oxígeno.

La medida del oxígeno disuelto no tiene mucha significación, ya que su contenido en las aguas negras es casi nulo dependiendo de la permanencia de ellas en las alcantarillas.

La demanda bioquímica de oxígeno, es el parámetro principal de la fuerza o capacidad de polución de un desagüe; representan la cantidad de O_2 necesaria para la descomposición de la materia orgánica inestable. Si la materia orgánica dispone de ésta cantidad de O_2 libre, no sufre putrefacción.

La demanda química de O_2 , representa el O_2 necesario para la digestión química de los componentes de las aguas negras. Se calcula sometiendo una muestra a la acción oxidante del dicromato de potasio.

3.2.3.- Nitrógeno

El N en las aguas negras, se presenta bajo la forma de nitratos, nitritos, amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados.

Los compuestos orgánicos nitrogenados, al descomponerse por acción bacterial, liberan amoníaco. Por eso, en un desague, la suma de las concentraciones de nitrógeno orgánico y amoníaco es constante. Cuando las aguas negras son recientes y frías su contenido de amoníaco libre es bajo y el de N orgánico, relativamente alto, a la inversa, cuando el desague está séptico y caliente, su contenido de N orgánico, es relativamente bajo, y el de amoníaco libre es alto.

El líquido cloacal fresco, contiene Nitritos en concentraciones de menos de 1 p.p.m. Los efluentes de plantas de tratamiento en los cuales ha habido intensa oxidación, pueden tener una mayor concentración de Nitratos. Los Nitritos son bastante inestables, se reducen a amoníaco o se oxidan dando Nitratos; por lo general solo en desagües recientes, se encuentran Nitritos. En cambio, los Nitratos representan la forma mas estable de N y su presencia puede ser indicio de que las aguas estan estabilizadas. Si la concentración final de Nitratos es muy alta, puede provocar en el efluente el desarrollo de algas y plantas macroscópicas.

3.2.4.- Cloruros

Siendo estos compuestos, de presencia normal en la orina del hombre y animales, se encuentran en los desagües domésticos. El hecho de que estas sustancias inorgánicas esten en solución, impide su sedimentación, además de que los procesos biológicos no las afectan.

Una disminución del contenido de cloruros, es indicio de que se ha diluido.

3.2.5.- Grasas

Las grasas que se encuentran en los desagües son provenientes de las heces humanas, de los desperdicios de comidas, de jabones y de aguas usadas en garages y estaciones de servicio; son una mezcla de ceras, ácidos grasos libres, jabones y aceites minerales, etc, por lo general en las siguientes proporciones:

Jabones-----	50 %
Acidos grasos libre---	34 %
Aceites minerales-----	3 %
Humedad -----	6 %
Elementos grasos -----	7 %
no saponificantes.	

Una parte de las grasas, formada por la grasa coloidal, y la incorporada a la materia flotante, forma espuma en los depósitos de aguas negras.

La otra parte, formada por los aceites pesados, y

la grasa incorporada a la materia pesada, se deposita en el fondo, formando una escoria pesada que dificulta la digestión de los lodos.

Durante el recorrido de las aguas negras a través de los colectores, las grasas forman bolas, que pueden obstruir el libre paso del líquido cloacal.

3.2.6.- Gases

El Metano y el Anhidrido Carbónico, se encuentran en aguas negras tratadas o en tratamiento, ya que resultan de la descomposición de la materia inicial presente en los desagües. Resulta peligrosa la formación de Metano en los colectores, ya que es un gas explosivo.

Estos dos gases, el Metano y el Anhidrido Carbónico, se forman durante los procesos de digestión aeróbicos o anaeróbicos normales.

Cuando se advierte la presencia de un tercer gas, el hidrógeno sulfurado, es índice de que las aguas están sépticas o sufren un proceso de putrefacción en condiciones anaeróbicas.

La presencia de éste gas, se puede detectar a través del olfato.

El SH_2 en presencia de la humedad, ataca al cemento y a ciertos metales; y en concentraciones altas, es tóxico al hombre.

3.2.7.- Acidos Volátiles

Los ácidos grasos Volátiles, que son los ácidos grasos que contienen menos de 10 átomos de Carbono, durante el proceso de estabilización se combinan con el agua para dar lugar a ácidos orgánicos mas sencillos, como el acético y el propiónico, para luego, descomponerse ellos en metano y Anhídrido Carbónico.

3.2.8.- Alcalinidad

Salvo que desechos industriales hagan variar la composición de las aguas negras, ellas en general son alcalinas.

Esta condición resulta favorable, para el tratamiento biológico de las aguas negras, pues las bacterias se desarrollan mejor en medios ligeramente alcalinos.

3.3.- CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

Dentro de las aguas negras viven virus, bacterias y otros organismos microscópicos. Esta población de los desagues puede ser perjudicial, inofensiva o útil al hombre.

La población perjudicial está compuesta por los gérmenes patógenos, cuya permanencia en las aguas negras es corta, ya que las condiciones del medio le son desfavorables; sin embargo, en ese pequeño tiempo, pueden transmitir enfermedades, las cuales son principalmente las que

se adquieren a través de las descargas del aparato digestivo, como la fiebre Tifoidea y la disentería.

La población útil está formada por los organismos que intervienen activamente en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas negras.

4.- LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las lagunas de estabilización son embalses que se diseñan para el tratamiento de las aguas negras, es decir para bajar su carga orgánica y bacteriológica.

Estas se diseñan según el criterio del proyectista, para que trabajen en presencia o no de oxígeno disuelto, dando lugar a los diferentes tipos.

Esta primera parte da a conocer los principios y factores que rigen su funcionamiento, su aplicación, sus limitaciones y los criterios de diseño.

4.1.- HISTORIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

La actividad Biológica, que se desarrolla en un enlagunamiento, ha sido aprovechada en el cultivo de los peces, ya desde hace algunas centurias en algunos países de Asia y Europa.

También en Australia el valor de las lagunas para la producción de peces, fue descubierta antes de su importancia como medio de tratamiento de desagües.

El descubrimiento de la utilidad de la actividad biológica que se desarrolla en una laguna, fue accidental, como se consigna a continuación.

1,901.- En San Antonio, Tejas, E.E.U.U., se produce el pri

mer intento de tratar los desagües por medios naturales, al descargarlos en un lago cercano.

- 1,924.- En Santa Rosa, California, se destruyó un percolador, por lo que se vieron obligados a descargar las aguas negras en una depresión cercana. La purificación observada aquí, estimuló la utilización de lagunas en California.
- 1,928.- En Fesseden, Dakota del Norte, al no disponer de fondos para tratar los desagües científicamente, los depositaron en una excavación fuera de la ciudad. Después de dos meses, una inspección del líquido dio cuenta de una purificación superior a la que se hubiera conseguido por medios mecánicos. Esta laguna improvisada, funcionó satisfactoriamente, durante 20 años.
- 1,936.- En Melbourne, Australia, una área de 570 acres, fue convertida en una laguna para culminar el tratamiento de las aguas negras.
- Melburne, Australia, se inicia la investigación sobre el uso de lagunas de estabilización. El descubrimiento más importante, durante estas investigaciones, fue el gran incremento de eficiencia alcanzado usando dos etapas en el proceso; primero en una laguna anaeróbica, y luego en otra aeróbica.
- 1,948.- En Maddok, Dakota del Norte, se construye una lagu

na, especialmente para tratar desagües.

1,954.- El Departamento de Salud de Dakota del Norte, emite el siguiente informe:

"Las lagunas de estabilización, constituyen una respuesta efectiva al problema de tratamiento de aguas negras de las comunidades".

1,955.- El Departamento de Salud de Dakota del Sur manifiesta:

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

Se construyen lagunas en Missouri.

Con el resultado de las investigaciones, las lagunas se cuentan en mas de 100 en la zona de las Dakotas.

Kansas construye sus primeras lagunas.

En Australia, además de Melbourne, las comunidades de Kerang, Wangaratta, Castlemaine, también tratan sus aguas negras, en lagunas, y con resultados igualmente satisfactorios.

1,959.- En Cañas Guanacaste, se construye la primera laguna piloto de Puerto Rico.

En Chitré, la primera laguna de Panamá.

En Córdoba, Argentina, el Ing^o Juan Manuel Martí-

nez.

Prieto, realiza experiencias en una planta piloto, dando tratamiento en lagunas aeróbicas. Los resultados fueron satisfactorios.

1,960.- En Junta de Abangares, Costa Rica, se construye una laguna, para tratar desagues de mataderos.

1,961.- En Costa Rica, en base a los resultados obtenidos en la laguna piloto de Cañas, Guanacaste, se elaboran "Normas para el diseño y construcción de Lagunas de Oxidación". Siendo estas, de las primeras en América Latina.

En Santa María de Dota, también en Costa Rica, se construyen lagunas para tratar mieles de café.

1,962.- En Méjico, la Secretaría de recursos hidráulicos, elaboró las "Normas generales para el Proyecto, construcción y operación de Lagunas de Oxidación". Nicaragua construye su primera laguna, es para tratar los desagues de la ciudad de Somoto.

1,963.- En Sahagún, Departamento de Córdoba, Colombia, se construye una laguna facultativa.

1,964.- Brasil da a conocer los resultados de las experiencias realizadas en las lagunas aerobias y anaerobias de Sao José dos Campos. La eficiencia lograda con estas lagunas, hace que se construyan mas de ellas en varios estados de Brasil, tanto para

tratar desagues domésticos como industriales.

En Venezuela, el Instituto de Obras Sanitarias preparó las Normas de Diseño y Especificaciones de construcción de Lagunas de Oxidación.

- En el Perú con los resultados obtenidos en una planta piloto, se construyen las primeras lagunas, para tratar los desagues domésticos de la localidad de San Juan, Lima. El efluente será usado para irrigar un gran Parque Zonal. El sistema de 21 lagunas cubre un area de 21 Has. La población servida es de aproximadamente 70,000 habitantes.

Al Norte de Lima, en Ventanilla, se construyen varias lagunas como solución temporal a la evacuación de las aguas negras de esta nueva ciudad. Ellas estan actualmente en funcionamiento. La gran percolación existente hizo que el llenado de las lagunas fuera muy lento, ya que el terreno sobre el que han sido construidas es de arena.

El sistema esta formado por 4 lagunas primarias y 4 secundarias que cubren un area total de 6.5 Has. El afluente no esta siendo dispuesto, sino que se pierde en el arenal, lo que esta creando

un desarrollo de vegetación. Este problema inicialmente no es presentado dada la dificultad en el llenado de las lagunas.

1,965.- En Chile, en la Escuela de Pos-graduados de la Facultad de Ciencias, se realizó un curso sobre Lagunas de Estabilización. Motivándose de ello, la incorporación de varias lagunas en el Plan Sexenal de Obras Sanitarias de ese país.

1,966.- Se informa que, de 350 millones de dólares de financiamiento internacional (de 1961 á 1965) y 300 millones locales, destinados ambos a Obras sanitarias, las lagunas construidas en América Latina (alrededor de 50), representan 500,000 dólares, igual al 0.06 % de la inversión total. Esto, suponiendo que la población de diseño fuera de 2,000 habitantes y el costo igual que en E.U.A., en donde una instalación de laguna para esa población representa 10,000 dólares.

En Méjico, se realiza un curso para Pos-graduados, de Lagunas de Estabilización.

4.2.- TIPOS DE LAGUNAS

Las excavaciones que se hacen para recibir aguas negras llevan consigo diversos propósitos que pueden ser: de almacenar el desagüe con el fin de usarlo luego de su

potabilización, en abastecimientos de agua o, sin ningún tratamiento, en irrigación; de retener las aguas servidas por un tiempo que permita la sedimentación de la materia sólida en suspensión; o como medio de absorber picos altos de la concentración de algún elemento o compuesto que puede resultar perjudicial en el tratamiento del desague o en su uso posterior.

Algunas veces, depresiones naturales sirven para contener las aguas negras y eliminarlas, ya sea por filtración a través del subsuelo o por evaporación.

En oportunidades se introduce O_2 por medios mecánicos en el desague contenido en una laguna, en cuyo caso esta toma el nombre de laguna aerada.

Las lagunas que son diseñadas y construidas para que dentro de ellas se realicen procesos biológicos que conduzcan a la depuración de las aguas negras, se clasifican en tres tipos, atendiendo a las condiciones biológicas de operación que en ellas se producen:

4.2.1.- Lagunas Aeróbicas

En este tipo de lagunas, el O_2 necesario para la descomposición de la materia orgánica, es obtenido exclusivamente por acción fotosintética. Todo el proceso se basa en la simbiosis entre bacterias y algas. Las bacterias descomponen la materia orgánica produciendo principalmente anhídrido carbónico, nitratos, fosfatos, y sales de amon

nio, los cuales sirven de nutrientes a las algas; a su vez estas toman el CO_2 y por medio de la fotosíntesis lo transforman en hidratos de carbono liberando O_2 ; el cual se disuelve en el agua y es aprovechado por las bacterias para oxidar la materia orgánica presente.

Las lagunas aeróbicas son poco profundas y funcionan con cortos períodos de retención.

4.2.2.- Lagunas Anaeróbicas

El proceso que se realiza en las lagunas anaeróbicas es similar a los que se desarrollan en los tanques sépticos y los digestores de lodo.

Al iniciarse el funcionamiento de las lagunas anaeróbicas, durante algunas semanas los microorganismos presentes en el medio metabolizan las proteínas, hidratos de carbono y lípidos produciendo gran cantidad de ácidos orgánicos de baja masa molecular, lo cual hace bajar el pH hasta 6 ó 5; al mismo tiempo se produce materia orgánica volátil desprovista de O_2 , dentro de la que están contenidos gas sulfhídrico, mercaptanos, nitrilos, etc, ocasionando problemas de malos olores.

Una vez que se ha formado cierta cantidad de ácidos orgánicos, otro tipo de microorganismos, principalmente las bacterias productoras de metano, encuentran un ambiente propicio para desarrollarse. Estas bacterias productoras de metano oxidan los ácidos orgánicos produciendo

gas carbónico y metano principalmente. Al mismo tiempo el pH se eleva hasta valores por encima de 7, manteniéndose entre 7.2 y 7.5.

El medio ligeramente alcalino controla la producción de compuestos odoríferos, principalmente del gas sulfhídrico, el cual es sustituido por sulfhidrilos que se mantienen en solución y son prácticamente inodoros.

Una vez conseguido este ambiente, los ácidos orgánicos producidos por algunos microorganismos, son inmediatamente metabolizados por las bacterias productoras de metano, eliminando la posibilidad de malos olores.

Las lagunas anaeróbicas son profundas y reciben desagües por periodos relativamente cortos.

4.2.3.- Lagunas .Facultativas

En las lagunas facultativas la descomposición de la materia orgánica en las capas superficiales del líquido se hace fotosintéticamente, mientras que parte de los sólidos en suspensión y de los coloidales, sedimentan o precipitan por la acción de sales solubles concentradas en las aguas debido a la evaporación.

La materia orgánica sedimentada es descompuesta parcialmente, en ausencia de O_2 disuelto, produciendo materia inerte, sales minerales como fosfatos, nitratos, nutrientes orgánicos solubles y CO_2 , que se difunden en el medio líquido para ser aprovechado por las algas.

La materia orgánica disuelta es descompuesta por las bacterias y otros microorganismos que se encuentran dispersos en el ambiente acuático, produciendo mas sólidos sedimentables.

En las capas profundas de las lagunas facultativas, en las cuales se realiza una descomposición anaeróbica, se forman sulfuros y gas sulfhídrico, los cuales normalmente son oxidados al llegar al medio aeróbico de las capas superiores, por lo que no llegan a producir problemas de malos olores.

En este tipo de lagunas, la profundidad, tiene valores intermedios entre los de las lagunas aeróbicas y los de las anaeróbicas, y el período de retención algo mayor que en lagunas aerobicas.

4.3.- EMPLEO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

4.3.1.- Clases de desechos tratados

Hacen ya varias décadas, que las lagunas se vienen usando en la disposición de desechos, ya sean domésticos o industriales. Pero en un principio se desconocían los procesos biológicos que en ella se desarrollan, usándola entonces, como medio transitorio de disposición de desagues, ya sea como sedimentadores, tanques reguladores de vaciado, tanques de retención o simplemente como fosas de infiltración.

Al observarse que en las lagunas se producían remociones de DBO, superiores a las que podían esperarse por simple sedimentación, se las comenzó a aplicar como medio de tratamiento de desagües.

Ahora, se tratan desagües domésticos crudos en las lagunas, con resultados que demuestran una buena eficiencia. También se tratan afluentes de plantas convencionales (tratamiento terciario).

Los efluentes de plantas de tratamiento convencionales que se depositan en una laguna, pierden gran parte de nitratos, los cuales son absorbidos por las algas; esto evita que esos nitratos propicien el desarrollo de algas en otros cuerpos de agua, en los cuales sea indeseable la presencia de ellas.

En cuanto a desechos industriales, diversos tipos de ellos se han tratado en lagunas, con resultados variables, pero en general satisfactorios.

Entre las industrias, cuyos desechos se han tratado o se tratan por medio de lagunas están: la de carbón, de petróleo, productos de alimentación, de tejidos, de productos químicos, de cueros, etc. Los desechos que más se procesan en lagunas son los de conservas de legumbres, frutas y carnes, y los de productos químicos; igualmente se utilizan con frecuencia las lagunas, en la eliminación de fenol de los efluentes de coquerías o refinerías de petróleo, y en

la estabilización de las aguas proteicas de la industria del almidón y de los mataderos.

Practicamente todos los desechos industriales, que contengan materia orgánica, son susceptibles de tratarse en lagunas de estabilización.

En cuanto al tipo de lagunas que se usan para tratar los desechos industriales, las mas empleadas son las anaeróbicas, ya que estas absorven alta carga de materia orgánica. Las lagunas aeróbicas son también usadas pero con efluentes ya pretratados. Las lagunas anaeróbicas seguidas de otras facultativas son las que han dado mejores resultados.

A veces, los efluentes industriales, son mezclados con desagües domésticos, antes de su tratamiento. Esto es beneficioso, ya que puede darse el caso en que los desagües domésticos aporten a los desechos industriales, los nutrientes de los cuales carezcan, especialmente los fosfatos.

Por otro lado, cuando la carga orgánica de los desechos industriales es muy alta, las aguas servidas domésticas sirven como dilución.

Experimentalmente, se han tratado en lagunas, desechos conteniendo radiosótopos tales como I 131, P32, Sr89; Cs137, Ce 141, y otros elementos fisionables usados en la medicina y en investigaciones científicas. Los resulta-

dos obtenidos demuestran una alta remoción de estos elementos, por parte de las algas, llegando en algunos casos, hasta el 95 %. Esto hace pensar que en el futuro, las lagunas se utilizarán ya no como método experimental, sino como normal, de eliminación de elementos radioactivos.

4.3.2.- Limitaciones en el empleo de las lagunas

La magnitud del area de terreno, necesaria para las lagunas, limita su uso a poblaciones mas ó menos pequeñas, y a las industrias, que tratan su propio desague.

Las quejas sobre posibles malos olores aleja a las lagunas de las areas habitadas. Por lo general se presentan malos olores en lagunas mal proyectadas, aunque aveces, como en los casos de desagues que contienen sulfatos, tratados en lagunas anaeróbicas, la formación de SH_2 es inevitable.

6 La posibilidad de contaminación de la napa subterránea, hace que los suelos de tipo poroso (arena ó grava), ó fisurado, no sean adecuados para la construcción de lagunas. En el caso de suelo poroso, la contaminación no irá hasta mas de 50 metros, como se demuestra en experiencias en letrina cercanas a pozos, sin embargo, se recomienda ubicar las lagunas a 400 m. de la residencia mas cercana. En los suelos fisurados, no podría precisarse hasta donde llega la contaminación; por lo que antes de

construir las lagunas, debe hacerse la investigación del suelo y si es de tipo poroso, se recomienda un sellado del fondo y de los bordes, aunque a veces, en relativamente poco tiempo, el mismo desague, puede sellar el fondo; por eso el estudio del suelo, merece especial cuidado, antes de proyectar una laguna . Aparte muchos desechos industriales, carecen ó no tienen en cantidad suficiente, uno ó varios de los nutrientes necesarios para el desarrollo biológico; para suplir estas deficiencias, se han obtenido resultados mas ó menos satisfactorios, mediante la adición por medio de dosadores de: amoniacaco, cianamida cálcica, fosfato de amonio, fertilizantes fosfatados, salitre, etc. Sin embargo el metodo mas eficiente, está en mezclar estos desechos, con volumenes suficientes de desagües domésticos.

Ciertos desechos, inhiben la fotosíntesis, como en el caso de la lixivia negra de las fábricas de celulosa. Además, el color oscuro absorbe las radiaciones solares, elevando la temperatura a valores incompatibles con el desarrollo de las bacterias mesófilas, quedando restringida la producción de O₂. Este problema también se presenta en desechos de tintorerías. Otra limitación en el uso de las lagunas, es la presencia de sustancias tóxicas, como son ciertos compuestos metálicos, tales como C_u, P_b, Z_n, C_r, etc. ú orgánicas (insecticidas, moluscidas, etc.

cianuros y otros.

A veces se logra reducir las concentraciones a valores compatibles con el desarrollo biológico, cuando se mezclan con agua de dilución. En otros casos, se someten los microorganismos, a concentraciones periódicamente crecientes, hasta lograr su aclimatación.

Algunos desechos, tales como los de la industria del vino y de las fecularias de papas y de mandioca (yuca), producen caídas de Ph, Se logra obviar este problema, aplicando cargas de BOD mas bajas, en las lagunas.

Otros desagues industriales, pueden contener excesiva concentración de ciertas sales, como cloruro de sodio (Cl Na), las cuales pueden alterar la presión osmótica dentro del líquido, produciendo una pérdida del agua contenida en el protoplasma de la célula, reduciéndose así la actividad de los microorganismos. Se alivia este inconvenientes, diluyendo los desechos.

4.4.- APLICACIONES DEL EFLUENTE

La composición final de los desagues tratados en lagunas, da lugar a que el efluente, pueda tener diversos usos:

a.- Recuperación del agua

El efluente de una laguna de estabilización, puede considerarse como una fuente de abastecimiento de agua

potable, que requiere tratamiento usual, ó sea filtración y cloración; esto tiene importancia, en zonas, donde las fuentes de abastecimiento de Agua Potable, son escasas.

b).- Recuperación de Nutrientes.

Las algas que se desarrollan en las lagunas, concentran en su organismos, los nutrientes presentes en los desagües.

Pueden considerarse que en las algas, se recupera el 60 % de las proteínas inicialmente utilizadas por el hombre.

Teniendo en cuenta el valor proteico de las algas, ellas se han utilizado en la alimentación de ganado y de aves, sin ningún efecto toxico mas bien satisface 1/5 de los requerimientos nutricionales de los pollos.

Las proteínas en las algas, alcanzan el 50 % de su peso seco, mientras que en la soja, conocida como alimento vegetal mas rico en proteínas, ellas no llegan al 40 % de su peso.

Oswald observó que en California, la producción, de trigo es de 2.5 ton.por acre y por año, mientras que la de algas es de 30 Ton/acre/año, La producción de proteínas de soja, es alrededor de 1 Ton/acre por año, mientras que los cultivos de chlorella dan en promedio 12 Ton. En las haciendas ganaderas, la producción de proteínas animales no pasa de 100 kilos por acre por año; en cambio la

Euglena, alga que contiene proteínas mas semejantes a las de los animales que de los vegetales, produce 10 Ton. Osea que las proteínas producidas en las algas, alcanza de 10 á 100 veces las que se producen por métodos agrícolas convencionales. Además la cantidad de agua necesaria para produci cir una libra de proteina en lagunas es la centésima parte de la que se requiere por métodos agrícolas.

Usualmente las algas desarrolladas en desperdicios orgánicos contiene de 45a 60 % de proteínas crudas, 10 a 20 % de grasas de carbohidratos y 10 a 20 % de cenizas.

El desague de un pueblo de 10,000 hab. producirá 1,400 lb. de preciadas proteínas, las cuales en el futuro formarán parte importante en la alimentación del las aves. Mientras tanto ya se han experimentado varios métodos, con el fin de encontrar una manera económica de remover y secar las algas.

c.- Utilización de las algas en la Industria

La capacidad calorífica de las algas, es similar a la del carbón de piedra, de bituminosidad media, ó sea de 10,000 BTU/lb, Además de la utilización de la algas como fuentes proteicas, es también un factor importante. La utilización de la lagunas, como medio de recuperación de vitaminas y como colectores orgánicos de elementos que como el Germanio, se hallan concentrados en las algas.

d.- Irrigación.-

Desde el siglo XVI, ya en Inglaterra y Alemania, se utilizaban las aguas servidas en la irrigación, y en el siglo pasado, alrededor de 1870, el unico método reconocido oficialmente en Inglaterra, como adecuado para el tratamiento de los desagues, era el riego agrícola.

Las aguas negras, son apropiadas para irrigación, principalmente por que contiene 99.9 % de agua, que es el elemento necesario para el desarrollo vegetal. Además las aguas servidas contienen: Nitrogeno total (20 p.p.m.), F_ogforo (\pm 6 p.p.m.), Fosforo (\pm 6 p.p.m.), y Potasio (4 p.p.m.), los cuales son elementos que tienen valor como fertilizantes.

En la actualidad, el uso de las aguas servidas, en el regadio de los cultivos, reviste gran importancia en muchas zonas del mundo, las cuales no disponen de mucha agua.

En Mojave, California, se logran recuperar las fuentes nativas de agua, mediante el riego controlado de los desagues.

En Santa Rosa, California, durante la temporada de riego (Junio á Setiembre), los cultivos situados junto a la planta, reciben el desague tratado.

En Israel, en donde la expansión de la agricultura, esta limitada por la cantidad de agua estimada para i-

rrigación, se esta usando el efluente para regadio y también para recargar la napa acuífera.

5.- BIOLOGIA DE LAS LAGUNAS

5.1.- PRINCIPIOS

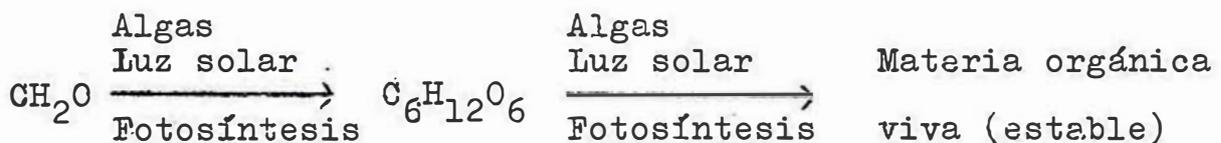
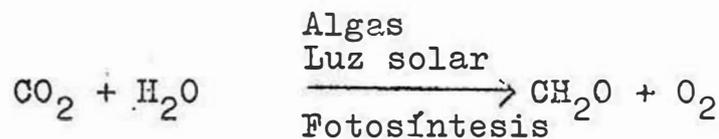
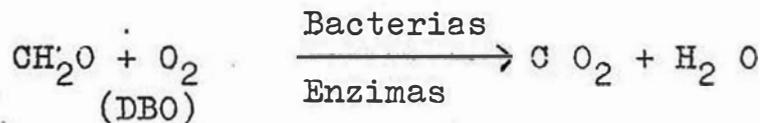
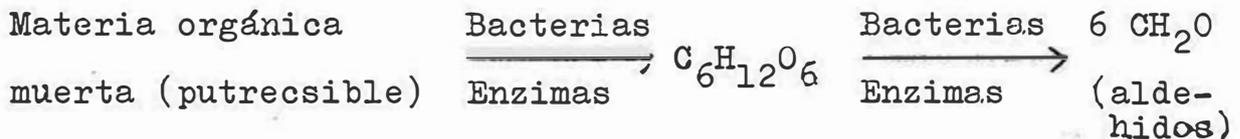
Las aguas negras, especialmente las de origen doméstico, albergan una población de bacterias, las cuales mediante las enzimas que producen por medio de su metabolismo aumentan la velocidad de transformación de la materia orgánica compleja en otros compuestos mas simples, de tal forma que llegan a ser compuestos inorgánicos. El desarrollo y tipo de bacterias que predominan, esta relacionada directamente con la estructura química del desague, y a su vez los compuestos orgánicos son metabolizados según su habilidad para encajar dentro de los sistemas químicos existentes.

El elemento principal para el metabolismo, y por consiguiente la proliferación de bacterias, es el O_2 , y cualquier sistema de tratamiento, trata precisamente de proporcionar este elemento, ya sea en forma libre en procesos aeróbicos ó combinado, en cuyo caso se produce un proceso anaeróbico para estabilizar la materia orgánica presente.

Durante el tratamiento de desagues, mediante lagunas de estabilización el O_2 necesario lo proporciona otro grupo de microorganismos presentes en el agua, llamados algas que a su vez toman el CO_2 producido y expelido

por las bacterias, y lo utilizan en la fotosíntesis con la consiguiente producción de O_2 . O sea que durante el proceso de estabilización de la materia orgánica, ocurre un fenómeno de simbiosis entre bacterias y algas (las acciones son mutuamente beneficiosas).

Las reacciones químicas podrían representarse como sigue:



Aparentemente la materia orgánica vuelve a su estado primitivo, pero en el desague crudo la materia orgánica es muerta, o sea susceptible de putrefacción y con alto grado de contaminación y por el mecanismo de simbiosis entre algas y bacterias, ella pasa a formar parte de las células algares, o sea que se convierte en materia orgánica viva.

Las actividades metabólicas de las bacterias, es tabilizan la materia orgánica y simultáneamente producen CO_2 , amoníaco y otros nutrientes que necesitan las algas para su desarrollo.

Las algas también consumen O_2 durante su respiración, pero el O_2 producido por fotosíntesis durante el día, alcanza para mantener su respiración durante las 24 horas del día. Durante el día el O.D. puede sobrepasar el valor de saturación, y durante la noche llega a cero p.p.m. de O.D, debido a que solamente hay consumo.

Algunos compuestos orgánicos, son utilizados directamente en la síntesis de las algas, pero otros compuesestos orgánicos o inorgánicos resistentes, tales como la celulosa y el lignis, pasan directamente al efluente, sin ser utilizados. Mientras que el C es comunmente limitado en los desagües domesticos, el contenido final de algas, puede sobrepasar la cantidad de materia orgánica inicial puesto que, el CO_2 de la atmósfera penetra en el líquido, particularmente a un alto Ph.

El funcionamiento eficiente de las lagunas depende del abastecimiento de O_2 , que puede conseguirse de tres fuentes principales:

De la atmósfera por medio de la aereación superficial; pero el ingreso de O_2 dentro de la masa se realiza solamente cuando no está saturada. Los vientos, al agitar

la superficie líquida contribuyen a la difusión de este O_2 dentro del agua.

Otra de las fuentes de O_2 , la principal en el proceso de las lagunas de estabilización, la constituyen las algas por su alta capacidad de producción de O_2 fotosintético.

Cuando las bacterias no encuentran O_2 libre, producido por las algas o introducido por aereación, acuden a otra fuente de O_2 , cual es la de los compuestos químicos existentes dentro de la masa de agua. Así los siguientes compuestos son atacados por las bacterias, según el orden de prioridad y conforme se van agotando: Nitratos, Nitritos, Sulfatos y Fosfatos; pero cuando son atacadas las moléculas de sulfatos, se forma sulfuro de Hidrógeno (SH_2), que es el que produce malos olores; por eso, se ha ensayado la eliminación de malos olores con la adición de $NO_3 Na$, además, este compuesto conduce a la formación de amoníaco y mantiene un alto Ph., resultando de estas dos causas, una mayor producción de algas, por lo tanto, niveles de O_2 mas elevados.

Sin embargo, algunas bacterias llamadas anaero-bias, no pueden realizar su respiración (fermentación) en presencia de O_2 libre, pues éste elemento resulta ser tóxico para ellas. Este grupo de bacterias, está obligado a vivir en el fondo de las lagunas, ó sea donde no llega el O_2 libre.

La producción de O_2 por las algas, esta gobernada por el proceso llamado fotosíntesis, el cual esta relacionado directamente con la clorofila contenida dentro de sus células.

Fotosíntesis

La Fotosíntesis, es un proceso característico de las plantas verdes en general; es decir de las que poseen el pigmento verde llamado clorofila, contenida por los cloroplastos de las células vegetales.

Mediante la fotosíntesis, las plantas absorben agua y Anhidrido Carbonico, transformando sus cloroplastos en granos amiláceos, en cantidad proporcional al CO_2 absorbido, lo cual guarda relación con la energía luminosa recibida. Parece que el primer producto que se forma es el formaldeído que se polimeriza espontáneamente y da lugar a glúcidos, como almidones y azúcares. Estos glúcidos quedan formando parte de la estructura química en las plantas pero que interesa en este estudio es el Oxígeno liberado al final del proceso fotosintético.

Con la disminución de la luz la fotosíntesis se restringe mientras que la respiración se mantiene con igual intensidad. Cada especie tiene un punto de compensación o intensidad de compensación o sea cuando la fotosíntesis se halla restringida de tal manera que su intensidad equivale a la de la respiración.

En el ambiente acuático, el nivel en que tiene lugar la intensidad de compensación, se llama nivel de compensación. En este punto puede inhibirse la vida bacteriana, al no contarse con el Oxígeno necesario.

Si la iluminación baja todavía más, la fotosíntesis sigue realizándose, pero los incrementos de energía que se logran a través de éste proceso anabólico, no logran compensar las pérdidas de energía ocasionadas por el proceso catabólico de la respiración; y así, en estas condiciones, las algas y las plantas en general no podrán vivir indefinidamente.

Bajo iluminaciones débiles, la luz es el factor limitante de la fotosíntesis, pero si la luz es intensa, la cantidad de CO_2 es el factor de control.

En experiencias hechas en Euglena y otras algas, frecuentemente presentes en lagunas, se encontró, que si en un día claro y despejado las radiaciones luminosas que llegan a la superficie del agua llegan en su totalidad hasta las algas, estas solo son capaces de absorber hasta el 5 % a 7 % de la intensidad luminosa, encontrándose entonces las algas en el llamado "límite de saturación".

Este exceso de luz puede ser nocivo a su desenvolvimiento, ya que en días luminosos, la cantidad de luz podría sobrepasar el límite de saturación, causando entonces la destrucción de la clorofila.

Hay que recordar que el % aludido, es para una eficiente producción fotosintética, pero para que la producción de O_2 , sea solo ligeramente superior al consumo en la respiración de las propias algas, este % se reduce a, 0.2 y 0.3 % de la intensidad luminosa que llega a la superficie líquida en días claros.

Además, la mayor parte de las radiaciones luminosas que llega a la superficie de las lagunas es reflejada ó absorvida por partículas en suspensión; ó por pigmentos disueltos en el medio; de modo que se puede decir que las lagunas son medios pobres en luz, por lo que no pueda pensarse en llegar al límite de saturación.

Debido a la relación recíproca entre el O_2 y el CO_2 (algas-bacterias) se comprueba que, generalmente cuando la concentración de uno de ellos disminuye, aumenta la del otro.

En general, en un medio acuático, las algas se desarrollan en un ambiente de competencia; uno o más de los factores necesarios para la fotosíntesis, serán limitantes; y las algas unicelulares en particular, reaccionan rápidamente a los cambios de ambiente.

Clorofila

Es una sustancia nitrogenada contenida dentro de los corpúsculos protoplasmáticos de color verde llamados cloroplastos ó cloroleucitos.

Es un estérido complejo, compuesto principalmente por Magnesio, no formado por una sola especie química; algunos la consideran integrada por cuatro pigmentos, dos clorofilinas ("a" y "b"), la carotina y la zantofila. Las clorofilinas, solo difieren en su grado de oxidación; la carotina y la zantofila son pigmentos autooxidables. La proporción en que se asocian estos cuatro pigmentos es variable, lo que hace que cada especie tenga su propia clorofila.

Frente a la energía solar, la clorofila tiene un poder selectivo para absorber ciertas radiaciones luminosas y caloríficas. Absorben en diversa proporción los siete colores del espectro, siendo mayor la absorción de las radiaciones rojas y del extremo violeta, e insignificante en la zona verde. Un análisis de los gases generados por acción de las radiaciones espectrales sobre la clorofila, demuestra que las radiaciones rojas y violáceas, son las que producen la mayor cantidad de O₂. Es decir que la mayor eficiencia de la clorofila, se produce con la luz de longitud de onda correspondiente a sus bandas de absorción.

5.1.1.- Desarrollo de los organismos

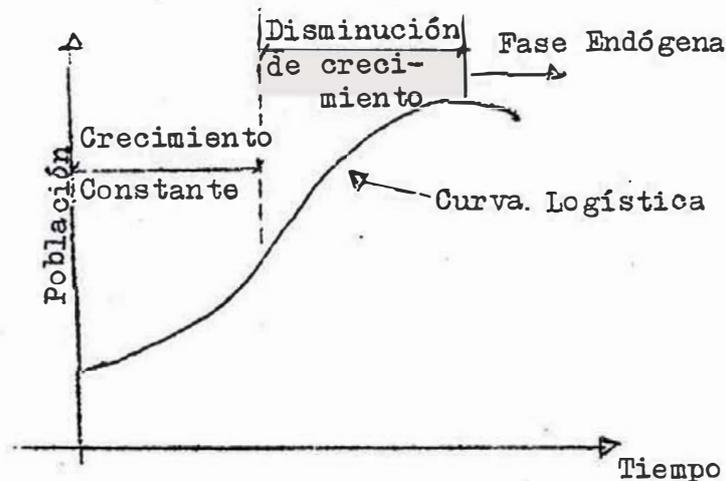
Las bacterias y algas, los microorganismos en general, tienen un patrón de desarrollo definido.

Cuando las condiciones del medio, son favorables al microorganismos y hay suficiente cantidad de nutrientes,

la razón del crecimiento, va cada vez en aumento hasta llegar a un punto máximo, que se produce cuando el desarrollo solo se encuentra limitado por la capacidad de reproducción del microorganismo. En este punto, la razón de crecimiento se llama Incremento Potencial o Potencial Biótico.

Conforme se vaya agotando alguno de los nutrientes, la competencia entre los microorganismos por utilizar este nutriente va limitando la razón de crecimiento hasta que cesa. Entonces, la energía requerida para la supervivencia del protoplasma celular se obtiene a través de una autooxidación o respiración endógena o sea la utilización de propio tejido celular. Este fenómeno ocurre continuamente, pero pasa continuamente desapercibido debido a que el desarrollo de los microorganismos es rápido.

Lo anteriormente expuesto, graficamente se reduce a la curva Logística.



El desarrollo de las bacterias, guarda estrecha relación con la DBO, toda vez que el principal nutriente de las bacterias es el O_2 .

Cuando la concentración inicial de bacterias, es menor de 1×10^3 /ml., la población bacteriana no llega a su máximo, sino después de la DBO a 5 días.

Este mismo problema sucede, cuando las bacterias no están adaptadas al medio, aunque en este caso, la razón de desarrollo puede decrecer hasta anularse, si no se logra la aclimatación.

Cuando en un medio se encuentran nutrientes de alimentación continua, y en él se introduce un cultivo relativamente grande, la población, rápidamente alcanza su máxima razón de crecimiento, y luego tiende a conservarse en un nivel o sea que la curva de población, tiende a hacerse asintótica.

Por lo general, las poblaciones de microorganismos, luego de haber llegado a su valor máximo, decrecen durante cierto tiempo para incrementarse después, manteniéndose como una población fluctuante. Estas ondulaciones se dan entre los valores máximo o de Natalidad Potencial o sea cuando las condiciones son óptimas para la especie, y mínimos de Población, pues, según el principio de la Población Mínima, una población puede sobrevivir indefinidamente en un ambiente determinado, siempre y cuan-

do su número se encuentre por encima de una frecuencia crítica.

Cuando la población siempre se mantiene en aumento, la intensidad de desarrollo irá decreciendo, hasta hacerse igual a cero, cuando la población alcanza el máximo que puede albergar el área correspondiente. La acción combinada de la superpoblación, escasez de materias alimenticias, acumulación de metabolitos etc. los cuales tienden a restringir el desarrollo de la población, se llama Resistencia Ambiental.

Ley del mínimo de LIEBIG

"El crecimiento está limitado por la sustancia que se encuentra en cantidades mínimas en relación con las necesidades del organismo".

Esta ley fue referida inicialmente a las limitaciones impuestas por las sustancias nutritivas, pero en ocasiones, también se aplica a las limitaciones debidas a los factores ambientales.

La ley del mínimo puede aplicarse en el control de un desarrollo excesivo o indeseable, tal es el caso en que las descargas de aguas residuales en las fuentes receptoras, provoque una excesiva producción de algas, En un ensayo llevado a cabo en Wisconsin, después de la eliminación de los fosfatos, el desarrollo de algas fue seriamente inhibido aún cuando los demás nutrientes est

ban presentes y en abundancia.

En el caso de lagunas de oxidación, puede aplicarse la ley del Mínimo, cuando el desarrollo de algas sea tal que perjudique al proceso o a sí mismas.

Cuando las algas mueren, estas no sedimentan solas, debido a la baja velocidad de sedimentación, pero sí pueden ser atrapadas por material flotante que al sedimentar las llevan consigo.

En el fondo, las algas son consumidas por larvas de chironomus, los cuales crecen en sedimentos, ricos en materia orgánica y con una pequeña cantidad de O_2 .

En condiciones anaeróbicas, las algas pueden sufrir fermentación en un proceso lento; a una temperatura de $50^{\circ}C$ y en un tiempo de 11 a 30 días es cuando se realiza mejor la digestión. Cuando la temperatura es menor de $35^{\circ}C$, la fermentación se hace mas lenta aún.

Las algas muertas aumentan la DBO del medio y cuando lo han sido por congelamiento-deseccación, la DBO que producen es tan grande como la que producen las algas muertas en auto clave. Sin embargo una concentración de chlorella de 10^6 /mlt. no afecta apreciablemente la determinación de O_2 disuelto.

Cuando las algas no sedimentan, estas son llevadas como material flotante hasta los cursos receptores, en los cuales, puede causar problemas al agregar DBO; es en-

tonces, que se trata de aplicar la ley del Mínimo, haciendo que la población de algas que llegue al curso receptor, no sea excesiva.

5.2.- ALGAS

Las fuentes de agua superficial, ofrecen condiciones favorables al desarrollo de microorganismos dentro de su masa. Plancton es el nombre con que se les designa a estos microorganismos que flotan libremente en el aguas y son arrastrados por las corrientes. Según que tales microorganismos pertenezcan al reino vegetal o animal, forman parte del Fitoplancton o del Zooplancton, respectivamente.

El Fitoplancton esta formado principalmente por las algas y el Zooplancton esta representado por los protozoarios, los cuales desde el punto de vista de la pureza del agua, tienen gran importancia, pues ciertos géneros, sobre todo de ciliados y flagelados, viven en medios líquidos de origen cloacal o de gran contaminación.

La variación de los elementos que forman el plancton está regida por las condiciones mas ó menos favorables para su existencia que le ofrece el agua. Dentro de éstas condiciones hay muchos factores, siendo los mas importantes los factores físicos: como el calor, la luz, el movimiento ó tranquilidad de las aguas etc. y la compo

posición química de ellas: Oxígeno, nitratos, materias al**bu**ninoideas.

La distribución del Zooplancton es irregular y solo puede señalarse la tendencia de algunas divisiones como los dimoflagelados a situarse cerca de la superficie.

La luz, acompañada de Oxígeno, y ciertas sales son las que gobiernan la distribución de Fitoplancton en sentido vertical. Esta distribución es aproximadamente:

Las Cianofíceas (algas azules) se encuentran siempre en la superficie del agua.

Las Clorofíceas (las verdes) cerca de la superfi**ci**e.

Diatomeas y Rodofíceas, se sitúan debajo de las Clorofíceas.

Las algas, dentro de la clasificación del reino vegetal, pertenecen a un grupo heterogéneo de las de las plantas Criptógamas, y mas precisamente de las Talofitas que comprenden cuarenta grandes clases y multitud de pequeños grupos aún no estudiados por completo, haciéndose un estimado de 20,000 a 25,000 ejemplares.

Las algas se desarrollan normal y comunmente en aguas poco profundas y en todo cuerpo de agua expuesto a luz del sol. Aunque algunas viven en el suelo ó en super**fi**cies expuestas al aire, en su gran mayoría son acuáti**ca**s, encontrándose sumergidas en lagos, estanques o cual-

quier otro cuerpo de agua. En las plantas de tratamiento de agua, son conocidas por su capacidad de generar olores y sabores y de colmatar los filtros de arena. Además, tienen capacidad para modificar el color, el Ph, la alcalinidad, la turbiedad y la radioactividad en el agua. Entre los diferentes organismos molestos, algunas algas pueden ser las mas perturbadoras, en cambio hay otras cuya acción beneficiosa puede aprovecharse para mejorar la calidad del agua. Algunas veces las algas se desarrollan en grandes cantidades, que pueden provocar problemas a las plantas de tratamiento de aguas, tenemos algunos ejemplos de desarrollo excesivo de algas: el lago Munebago descarga al río Wiscousin mas de 60 toneladas de algas al día; la concentración de algas en el río Scioto de Ohio ha llegado hasta 8,000 p.p.m; el recuento de algas en el río Blanco de Indiana ha sobrepasado las 100,000 por ml. y en el río Michigan de Chicago, los 4,000 organismos por ml.

En cuerpos de agua profundos, las algas superficiales ó limneticas tienen mas importancia que las adheridas al fondo ó bentónica, por lo que las primeras son mas conocidas.

Todas las aguas poco profundas contienen sustancias y en suspensión que sirven de nutrientes a las algas, pudiendo éstas desarrollarse como autotróficas ó heterotróficas. Bajo condiciones especiales, la mayoría de las es

pecies se comportan como quimo-organotrofos facultativos, utilizando azúcares y ácidos orgánicos como fuentes de energía. Este tipo de algas, al igual que las bacterias, obtienen energía del carbón reducido.

De mayor importancia que estas son las algas fotosintéticas que solamente requieren agua, nutrientes orgánicos y CO_2 . Son autotróficas fótolitotróficas las algas que utilizan los nutrientes mas simples; y las que viven en sustancias ricas en materia orgánica son heterotróficas fótolitotróficas. En este último caso, las algas requieren de factores de crecimiento para mantener la fotosíntesis. Las algas verdes como la chlorella, pueden metabolizar en la luz como fototrófica ó en la oscuridad como quimo-organotrófica; a su vez, la iluminación y oscuridad, pueden ser funciones de la profundidad, turbidez, etc.

Bajo condiciones estables, el crecimiento de las algas puede depender de sustancias inorgánicas, solubilizadores metálicos y vitaminas.

5.2.1.- Estructura de las células Algaceas y Agrupamiento de las mismas

En general en las células algaceas, pueden distinguirse:

a) Protoplasto, que alberga al núcleo incoloro, difícil de observar sin previa coloración o algún otro tratamien-

to especial. También dentro del protoplasto se encuentran los plastidios, o cromatóforos que son corpúsculos separados, coloreados de verde, verde amarillo, pardo u otro color. Dentro de estos plastidios, generalmente se ubican los pirenoides, alrededor de los cuales, se acumulan pequeños granulos de almidón (chlorella, oocystis, Scenedesmus).

En las algas verde azules (Mixophyceae) los pigmentos no se concentran en los plastidios, sino que están distribuidos, a través de todo el protoplasto.

Cristales, gotitas de grasa y vacuolas, son usualmente encontrados en el protoplasto de las células algales.

b) Pared celular, que generalmente es una membrana delgada y rígida, en contacto con la periferie del protoplasto, y cubriéndolo por completo.

En algunas algas móviles, como Euglena, la pared no es rígida, permitiéndoles cambiar de forma con el protoplasto flexible.

Las algas verdes tienen una pared celular semirígida, compuesta de celulosa.

En las diatomeas, la pared es muy rígida, compuesta principalmente de sílice y labrada con líneas y puntos regulares y uniformes, que permiten la identificación de las diferentes especies.

c) Matriz o sustancia intercelular externa, que generalmen

te ha sido secretada por la pared celular como una masa gelatinosa, incolora, flexible.

Corrientemente esta matriz cambia con la edad, pigmentándose o mostrando estratificaciones y desarrollando una membrana superficial semirígida. Adquiere casi siempre la forma y estructura, características del alga que forma parte.

Las algas pueden formar colonias, o ser simplemente unicelulares. Cuando estas unicelulares no tienen movimiento, se llaman protocoidales; si cambian de forma se llaman amibeacias ó rizopodales; y si tienen movimiento lo hacen con ayuda de flagelos por lo que se llaman móviles ó flagelados. Dentro de las unicelulares están: Euglena, Gomphonema, Tetraedron y otras más.

Cuando las algas se agrupan para formar colonias, lo hacen de formas muy variadas:

Forman filamentos, en los que las células están dispuestas en serie lineal simple ó cadena.

También pueden formar tubos continuos, a veces ramificados sin paredes ó membranas celulares, que dividan a la materia en distintas unidades ó celdillas ("atabicadas" ó sin paredes transversas). Ejemplo de ellas tenemos la Botridium y Vaucheria.

Algunas especies se encuentran agrupadas en forma tabular y enbibidas dentro de una masa gelatinosa. Ejemplo Hidrurus y Tetraspora.

Algunas células algares de agua dulce se disponen en forma de cordones macizos y densos, cuyo grosor varía desde algunas hasta muchas células, haciéndose a veces una diferenciación entre células centrales y marginales ó periféricas. Ejemplos: Lemanea, Compsopogon.

Otros tipos de células, están dispuestas en forma de membrana plana ó curva. Un ejemplo de ellas lo constituye la Hildebrandia.

Otras especies, tienen formas muy particulares de disponerse así: las Micractinium, son esferoidales y se disponen de a cuatro, en forma piramidal dirigiendo en forma radial una especie de espinas cuyos largos alcanzan a veces hasta seis veces el diámetro de las células. Las Scenedesmus, que son células alargadas, también se disponen de a cuatro pero en forma paralela.

5.2.2.- Tipos de Algas

Atendiendo al color del pigmento que contienen, se clasifican las algas en cuatro grupos:

a) Algas verde azuladas o Cyanophiceas

Estas algas contienen asociado a la clorofila, un pigmento azul llamado Phicocyanina. Este pigmento se encuentra distribuido a través de todo el protoplasto celular o sea que no tienen plastidios o cromatóforos; tampoco presentan gránulos de almidón, ni núcleo.

La pared celular de las algas verde azuladas es

inseparable de la materia gelatinosa que las agrupa, formando una masa de forma irregular.

Cuando las células se tornan viejas, se forman burbujas dentro de ellas que las hacen ascender a la superficie, pudiendo a veces interceptar el paso de la luz a través del agua.

Ejemplos de algas verde azuladas: *Oscillatoria*, *Anacystis*.

b) Algas verdes o chlorophiceas

Contienen además de clorofila, otros pigmentos amarillos. Los pigmentos se ubican dentro de los plástidos ó cromatóforos los cuales se presentan en número constante para cada especie; así la *Chlorella*, siempre presenta un solo plástidio. Los gránulos de almidón también se ubican dentro de los cromatóforos. Este almidón les sirve de reserva alimenticia.

Las algas verdes, presentan núcleo y una pared celular semirrígida, lisa o con espinas, en cuanto a la matriz o cubierta viscosa muy pocas veces la presentan.

Otra característica de las algas verdes, es que se encuentran solas o agrupadas, siempre en número y forma definida.

Ejemplo de algas verdes: *Chlorella*, *Micractinium*, *Scenedesms*.

c) Diatomeas

Contienen un pigmento amarillo o marrón llamado diatomina, que las presenta coloreadas del pardo al verde claro. Este pigmento se encuentra dentro de los plastidios. El almidón no está presente en este tipo de células.

El protoplasto se encuentra encerrado dentro de una envoltura rígida, generalmente silíceas, en forma de dos valvas. Estas valvas presentan exteriormente unas impresiones finísimas que se diferencian de género a género; tales impresiones son de tan pequeño tamaño, que frecuentemente son utilizados para probar objetivos de microscopios de gran aumento.

Este tipo de algas, muy pocas veces presenta matriz o cubierta viscosa y la forma de las valvas es navicular o en forma de Petri.

Aunque las diatomeas no son comúnmente encontradas en las lagunas de estabilización, en el Brasil se ha hallado del género *Nitzschia*.

Ejemplo de algas diatomáceas: *Cyclotella*, *Navícula*, *Nitzschia*.

d) Cloroflagelados, Fitoflagelados o flagelados pigmentados

Sus cromatóforos contienen pigmentos verdes o pardos, el almidón puede o no estar presente.

En cuanto a la pared celular, esta es muy variable, pueden tenerla, delgada, gruesa o no tenerla.

Algunos Fitoflagelados forman colonias dentro de una capa gelatinosa, con sus flagelos salidos fuera de la masa.

La característica especial de éste tipo de algas es que presentan flagelos y una mancha ocular, que responde al estímulo de la luz. Cuando los Fitoflagelados forman colonias, el movimiento de los flagelados situados frente a la luz, disminuye, aumentando en cambio el de los flagelos situados en dirección contraria, lográndose así un desplazamiento general (de toda la colonia) hacia la luz.

Ejemplos de Fitoflagelados: Euglena sinura.

5.2.2.1.- Algas en lagunas de estabilización

Cuando las lagunas son puestas en funcionamiento por primera vez, hay un período inicial, durante el cual ocurre la aparición o inoculación de las algas. Si las lagunas contienen desagues domésticos o desechos industriales balanceados, la aparición de las algas es espontánea; pero si el medio no es apropiado para la asociación bacterial-algácea, se logra el desarrollo de algas, a partir de una inoculación.

En desagues de contenido nutricional adecuado se desarrolla una biota típica de algas, bacterias y otros organismos.

El carácter exacto de la biota, esta gobernado por la intensidad de carga, régimen de carga, estación del año y Geografía. Las variaciones geográficas de las algas, son de poca importancia y las familias representadas por las clases dominantes, son esencialmente las mismas en todas las regiones que se han estudiado.

Para lagunas de desagües industriales, es muy variable el desarrollo del Plankton; por ejemplo: en una laguna de una fábrica de conservas en Minesota, durante cierta época, se vuelven prominentes unas bacterias no sulfurosas de color morado; en los embalses de licor Kraft las bacterias se desarrollan sin la relación simbiótica de las algas. Debido a su origen restringido algunos desagües industriales, son deficientes en uno o más de los elementos alimenticios necesarios; resultando un ambiente inadecuado para el desarrollo deseable de las algas.

Parece que solo las algas jóvenes producen grandes cantidades de O_2 , de manera que es necesario mantener en proceso cantínuo, la producción de nuevas células.

Usualmente se encuentran en las lagunas, algas de las especies Chlamidomonas, Chlorella. Euglena, Scnedesmus, Ankistrodesmus, Micractinium, que parecen típicas de ellas.

En la operación de lagunas, las algas chlamidomonas y euglena son las primeras en aparecer. El alga Euglena demuestra un alto grado de adaptabilidad, bajo distintas

condiciones de la laguna, y se desarrollan durante todas las estaciones y bajo la mayoría de las condiciones climatológicas. Le siguen en tolerancia las algas chlamidomonas, micractinium, Ankistrodesmus, Scenedesmus y chlorella.

Luego de una buena oxidación la chlorella tiende a ser reemplazada por las chlamidomonas que son las causantes de manchas que dan mal aspecto. Frecuentemente chlamidomonas y euglena tienden a proliferar en climas fríos, mientras que las chlorococcales se desarrollan más durante el verano. Esta última orden pertenece a la división chlorophita y comprende chlorella, ankistrodesmus, scenedesmus etc.

En general, yacimientos de algas verdes azules se desarrollan durante el verano, los cuales ascienden, usualmente a la superficie.

A continuación tenemos una relación de algas usualmente encontradas en lagunas de Estabilización y en aguas contaminadas en general (9).

Algas Verde azules (Mixophiceae)

Agmenellum quadriduplicatum, Tenuissima tipe.

Anabaena Constricta

Anacystis Montana

Arthrospira jenneri

Lingbia digueti

Oscillatoria chalybea

Oscillatoria chlorina

Oscillatoria formosa

Oscillatoria Lauterbornii

Oscillatoria limosa

Oscillatoria princeps

Oscillatoria pútrida

Oscillatoria tenuis

Phormidium Autumnale

Phormidium Uncinatum

Algas Verde (chloroficeae inmóviles)

Chlorella pyrenoidosa

Chlorella vulgaris

Chlorococcum humícola

Scenedesmus quadricauda

Spyrogira communis

Stichococcus bacillaris

Stigeoclonium tenue

Tetraedrum muticum

Diatomeas (Bacillariophiceae)

Gomphonema parvulum

Hantzschia amphioxys

Melosira varians

Navícula criptocéphala

Nitzschia acicularis

Nitzschia palea

Surirella ovata

Flagelados (Euglenophyceae, Volvocales de chlorophyceae)

Carteria multifilis

Chlamidomonas reinhardi

Chlorogonum euchlonum

Criptoglana agilis

Euglena agilis

Euglena deses

Euglena gracilis

Euglena oxyuris

Euglena polymorpha

Euglena viridis

Lepocinclis ovum

Lepocinclis texta

Pandorina morum

Phacos pyrum

Pirobotrys gracilis

Pirobotrys stellata

Spondylomorpha quaternarium

Las características de los géneros predominantes en las lagunas, se dan a continuación:

Euglena

División: Euglenophyta

Orden: Euglenales

Familia: Euglenaceas

Genero: Euglena

Su masa celular, se presenta recubierta por una película formada por anillos entrelazados unos con otros. Posee un solo flagelo, el cual observado al microscopio electrónico, se presenta recubierto por vellosidades finísimas.

Posee unos pigmentos especiales lo cual, junto con otras características, la presenta como un poco diferente a los demás flagelados.

Su reproducción, hecha por mitosis, es sumamente rápida, observándose que se realiza en alrededor de 4 horas. Esta velocidad de reproducción, hace que algunas células no tengan núcleo, pero aún así, el flagelo responde a los estímulos luminosos, demostrándonos esto, que la acción flagelar no depende del núcleo.

Como la Euglena puede vivir en aguas de escasos milímetros de espesor, o con láminas apenas necesarias para conservar una humedad constante, ella forma parte de la flora del suelo. También forma parte del fitoplancton en aguas neutras o alcalinas, con materia orgánica en descomposición. A veces también se encuentran en algunas aguas marinas, en playas arenosas. Puede soportar aguas en las cuales prácticamente se ha agotado el oxígeno disuelto.

Es químico organotrófica, ya que su abastecimiento de energía lo hace solamente a partir de compuestos químicos orgánicos.

En ensayos biológicos relacionados con la vitamina B-12, se utiliza el alga Euglena, por ser este un organismo al cual esta vitamina le es necesaria para su desarrollo.

Forma comunidad con cyanophitas (Oscillatoria) y chlorophitas (Scenedesmus).

Chlamydomonas

División: Chlorophita

Orden: Volvocales

Familia: Chlamidomonadaceas

Género: Chlamidomonas

Este género abarca 50 especies, aunque parece que todas ellas no son distintas. Algunas especies pueden ser confundidas con otros géneros de flagelados o con las células móviles reproductoras de otras algas.

Dentro de las Volvocales, la especie Chlamidomonas, es la que mas frecuentemente se encuentra en cualquier cuerpo de agua, así se han encontrado en acuarios, barriles, en las rocas etc.

Se le conoce como cubierta con una membrana delgada y provista de 2 ó 4 flagelos iguales; pero examinada al microscópio, presenta capas ciliadas exteriores, mitocón-

drios, ojos elementales y detalles de los elementos membranosos, tubulares y vesiculares.

Se reproducen asexualmente, dividiendo longitudinalmente su núcleo en 2, 4 y 8 zoosporas, ocurriendo esto desde la pared celular.

La reproducción sexual no se presenta en las algas, sin embargo, algunas especies de las chlamidomonas se reproducen haciendo germinar un cigote, del cual resultan 4 células hijas.

Soportan notablemente las bajas temperaturas; y cuando se hallan en nieve, los carotenoides contenidos en el citoplasma, producen una coloración rojiza.

Son de las pocas especies, que se adaptan rápidamente a la oscuridad y toman H_2 libre.

Son quimicolitotróficas, ya que su fuente de energía lo constituyen compuestos orgánicos.

Son utilizadas para estudiar la genética de las algas, necesitando en este caso, de nutrientes especiales dentro de los cuales esta la tiamina.

Pyrobotrys

División: Chlorophita

Orden: Volvocales

Familia: Spondilomoraceae

Género: Pyrobotrys.

Orientándose en una misma dirección, se agrupan

en una forma compacta; sin envolverlas ninguna capa mucilaginoso, que es como se presentan usualmente las colonias de algas.

Poseen dos flagelos, y un ojo rudimentario anterior o posterior. Su cloroplasto es masivo y contiene pirenoides.

Micractinium

División: Chlorophita
Orden: Chlorococcales
Familia: Scenedesmaceae
Género: Micractinium.

Se presenta formada por cuatro células esféricas, la mayoría de las veces, y las menos, ovales o elípticas. Cada una de las células posee una o varias espinas proyectadas al exterior, las cuales alcanzan a veces hasta 6 veces el tamaño de la célula.

Está clasificada dentro del Euplancton, o sea que no tiene movimiento, y se encuentra muy poco dentro de las masas de agua.

Chlorella

División: Chlorophita
Orden: Chlorococcales
Familia: Chlorellaceae
Género: Chlorella

Son células muy pequeñas, de apenas 5 micras de

diámetro, que se presentan aisladas, en masas gregarias o dentro de los animales como los Protozoarios. También se le conoce como zoochlorella porque es endozoica.

Las diferentes especies de Chlorella, se diferencian solamente por el tamaño y el número de pirenoides o corpúsculos de color rojo. Su reproducción es por división interna de la célula, formando luego autoesporas inmóviles.

Se agrupa dentro de los Kryptoflora, porque puede vivir en aguas frías, hielo o nieve. También es considerada como alga aérea epifítica porque puede desarrollarse encima o entre los tejidos superficiales de algunos hongos del género Basidiomicetes.

Encuentra un ambiente apropiado en las aguas neutras o alcalinas con sedimentos de arena y materia orgánica en descomposición, y es en estos medios donde se le encuentra frecuentemente.

La Chlorella puede desarrollarse en la oscuridad, en aguas deficientes de Manganeso pero alimentada de glucosa; en la luz, el Manganeso es indispensable; de otro modo se interfiere la división celular, formándose células alargadas anormales.

También puede tener respiración anaerobiada, en cuyo caso produce pequeñas cantidades de CO_2 .

Scenedesmus

División: Chlorophita

Orden: Chlorococcales

Familia: Scenedesmaceae

Género: Scenedesmus

Los Scenedesmus, al igual que la Chlorella se encuentran frecuentemente en aguas neutras o alcalinas, en lugares arenosos.

Juntándose con otros flagelados forman colonias que llegan a ser macroscópicas.

Se han hecho cultivos de Scenedesmus, para emplearlos como alimento, como fertilizante, y para acelerar el proceso de lodos activos en tratamientos industriales.

Es hidrógeno adaptado, ya que emplea el H_2S . En la oscuridad absorbe el H_2 , pero en la luz absorbe CO_2 , eliminando O_2 .

Es quimicolitotrófica o sea que se abastece de energía, a partir de compuestos inorgánicos.

Puede vivir anaeróbicamente, produciendo CO_2 y también ácido láctico. Almacena gran cantidad de grasas, y tiene capacidad para romper las aminas produciendo amoníaco.

Las especies Chlorella y Scenedesmus, son las que mejor representan el fenómeno fotosintético.

5.3.- BACTERIAS

En todo proceso de estabilización de la materia orgánica intervienen las llamadas bacterias o microorganismos unicelulares, los cuales a través de su metabolismo descomponen o transforman la materia orgánica, hasta lograr su estabilización. Cuando el proceso es aeróbico, las bacterias presentes, serán las de éste tipo, y si es anaerobio las bacterias activas, serán tales, que no necesitan para su supervivencia, del O_2 libre.

Estando el O_2 presente, libre ó combinado, las bacterias, además de contribuir a la descomposición de la materia orgánica compleja, incrementan su desarrollo y población, mientras las condiciones del medio le sean favorables; al irse agotando los nutrientes necesarios para su supervivencia, su desarrollo se limitará cada vez más, hasta hacerse mínimo.

5.3.1.- Estructura de las Bacterias

Fundamentalmente la célula bacteriana, está formada por la pared envolvente, y la masa contenida en ella llamada protoplasma.

El protoplasma es una mezcla de compuestos químicos, cuyo tipo y concentración es variable. Esta mezcla, puede considerarse como normal pero también el protoplasma contiene compuestos de carácter transitorio que están formados por el material de nutrición y los productos de

su metabolismo. También puede contener compuestos químicos de reserva, tales como el S, Fe, grasas etc. los cuales están condicionados al medio en que se desarrollan las bacterias.

El protoplasma se presenta en estado coloidal.

El elemento mas importante dentro del protoplasma es el agua ya que, es contenida en abundancia, manteniendo la tumescencia de la célula, conduciendo el alimento y eliminando los productos residuales.

Junto con el agua existen sales fijas, las cuales son removidas con la misma, para mantener una presión osmótica adecuada.

Gran parte de los componentes del protoplasma, son de naturaleza protéica, como los formados por aminoácidos, ó sea ácidos orgánicos que contienen el grupo amino NH_2 . Existen 20 aminoácidos que pueden considerarse en estado de combinación para formar proteínas.

5,3.2.- Características de las Bacterias

a) Esporulación

Cuando las condiciones del medio le son adversas, algunas bacterias, especialmente las bacilares, se convierten en pequeñas masas protoplasmáticas de forma esférica u ovoide, las cuales debido a la escasa cantidad de agua que contienen, son capaces de resistir altas temperaturas. En el caso del bacilo Subtilis por ejemplo, las esporas resis;

ten hasta 3 horas una temperatura de 100°C. En general, las bacterias termófilas producen esporas mas resistentes al calor. La desecación, la cloración y otros fenómenos que resultan desfavorables a las células bacteriales, son resistidos por las esporas.

Mientras las condiciones sean desfavorables para la vida, las esporas permanecen en estado inerte; pero, a penas cambian estas condiciones, la espora germina y produce una nueva forma vegetativa. Durante la absorción se produce ingreso de agua, lo que hace que el protoplasma aumente de tamaño, hasta romper la membrana que lo envuelve, produciéndose una nueva célula.

Dentro de la población bacteriana conocida, solo el 15 % se reproducen mediante esporas; de las bacterias patógenas muy pocas esporulan, y de ellas las mas conocidas son: Clostridium tetani y el bacilo Anthracis,

b) Motilidad

Es el movimiento que tiene las bacterias, debido a la vibración de los flagelos o especie de pelos muy finos que se proyectan fuera de la pared del citoplasma. Se debe diferenciar este, del movimiento Browniano a que estan sujetas las partículas en un medio coloidal.

c) Colonias

Cuando las bacterias se desarrollan en medio sólido, cada una de ellas se desarrolla y multiplica, ubicán

dose las nuevas células alrededor de la original. Como el medio les impide moverse, forman una masa llamada colonia.

Las formas que adquieren las colonias son diferentes para las especies, pero en cada una de ellas es uniforme, lo que permite su diferenciación.

d) Relaciones mutuas

Entre las diferentes especies bacterianas existen varios tipos de relaciones mutuas; así podemos citar:

La simbiosis o sea la relación armónica recíproca y beneficiosa entre dos tipos de organismos. Ejemplo de ello es el crecimiento conjunto de las bacterias y las algas.

La antibiosis que contrariamente a la simbiosis, crea antagonismo entre ellas, impidiendo la vida en comunidad.

El comensalismo, cuando un organismo vive de los productos de desecho del otro; llamándose huésped el que mantiene con residuos al comensal. El coli es un comensal del intestino humano y del de los animales.

Si el comensal produce enfermedad en el huésped, toma el nombre de patógeno y en cambio si se alimenta de materia orgánica muerta llámase saprofítica o saprogénica. Afortunadamente para el hombre, el 99.9 % de las bacterias son saprofíticas y solo el 0.1 % son patógenas.

5.3.3.- Metabolismo de las Bacterias

Algunas bacterias, al igual que las plantas verdes, son autotróficas, ó sea que se alimentan con sustancias inorgánicas; pero a diferencia de las plantas, que obtienen energía mediante la fotosíntesis, las bacterias la obtienen, oxidando las sustancias inorgánicas, ó sea en forma quimosintética.

Otras bacterias, son heterotróficas, ó sea que se alimentan de compuestos orgánicos. Dentro de éste grupo, estan las llamadas saprofitas, que se nutren de los compuestos orgánicos de los animales y plantas.

Un pequeño grupo, dentro del cual, todas son bacterias patógenas, se alimentan de los fluidos ó sustancias del cuerpo humano. A éstos se les llama paratróficas.

Las bacterias necesitan para su metabolismo, principalmente C,N,O,H, y en pequeñas cantidades P,S,K,Ca, Fe; de todos los cuales, fundamentalmente requieren de C y N. Por lo general si en el medio en que se desarrollan, disponen de suficiente C y N, encuentran también cantidades suficientes de otros elementos en los compuestos orgánicos derivados.

Además de ser un componente principal del protoplasma del C, al oxidarse en la función respiratoria de la célula, proporciona una fuente de energía fundamental para la vida de la célula. Por lo general las bacterias toman

el carbono, de compuestos orgánicos, solo algunos lo sustraen de la materia inorgánica. A veces y en algunas especies, el N y el S, reemplazan al C en estas funciones.

En cuanto al oxígeno las bacterias aerobias lo obtienen casi todos del aire; las anaerobias, que no resisten la tensión del O_2 del aire, lo obtienen de los compuestos que le sirven de alimento; por consiguiente dependen de la llamada respiración molecular, que es la que regula ó hace un reajuste de los átomos del compuesto, oxidándose algunos elementos por el O presente. La mejor fuente de O para las bacterias anaerobias la constituyen los carbohidratos.

El N es elemento característico de la materia viva. El hecho de que sea un elemento que se combina con gran dificultad, hace que el protoplasma que es un verdadero sistema coloidal químico, esté en equilibrio inestable.

Algunas bacterias bacterias, como las que viven en simbiosis con las leguminosas, toman el N de la atmósfera; otro pequeño grupo, lo obtienen de los compuestos nitrogenados inorgánicos, como amoníaco y nitritos, y de ellas toman su energía, en lugar de obtenerla por la oxidación del C. Esta clase de bacterias obtienen el C del CO_2 y CO_3 , como material de construcción, y como fuente de energía.

El S sirve principalmente como un constituyente de los compuestos de proteína, en la estructura protoplasmática; y para algunas de las bacterias sulfurosas es fuente de energía. El H libre, es oxidado por algunas especies que así obtienen su energía.

El metabolismo de las especies bacterianas aparentemente se reduce a la descomposición de la materia orgánica compleja en compuestos muy simples tales como: CO_2 , CO_3 , H_2 , CH_4 , S_2H , NH_3 , etc. De todos estos procesos, los mas importantes dentro del tratamiento de desagües, son la putrefacción y la Nitrificación.

Productos del Metabolismo Bacteriano

La materia viva siempre esta en un estado de cambios físico-químicos que se llama metabolismo; cambia la materia su composición y transforma la energía, produciendo compuestos, los cuales pueden pertenecer a secreciones o excreciones.

Las secreciones son utilizadas por las sustancias que entran en la nutrición, las cuales sufren una transformación que puede ser muy compleja, para poder ser asimilados por las bacterias.

Algunos alimentos son sólidos e insolubles como el almidón, la celulosa, la albumina; otros aún cuando se encuentran en estado de disolución, necesitan de una trans

formación ó cambio, para ser asimilables, Estos y otros múltiples cambios, se hacen bajo la acción de secreciones especiales, fermentos solubles, llamados "enzimas", que actúan como verdaderos agentes catalíticos.

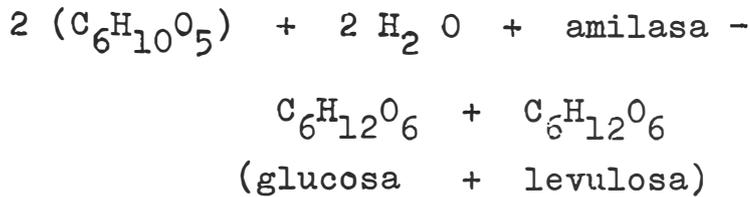
En cuanto a las excreciones, éstas son residuos que deben ser arrojados de la célula, mediante las vacuolas; ó sea que ellas son específicamente productos de eliminación.

Como las enzimas tienen individualmente una función específica; en atención a la naturaleza de las transformaciones que producen, podemos clasificarlas en:

- 1.- Enzimas de Hidratación
- 2.- Enzimas de Deshidratación
- 3.- Enzimas de Oxidación
- 4.- Enzimas de Reducción

Las enzimas de hidratación, disocian la molécula compleja haciéndola mas simple, e introduciendo en ella cierto número de moléculas de agua; las de deshidratación, realizan un proceso contrario. También las enzimas de oxidación y las de reducción, oponen sus acciones.

Los fenómenos de la hidrolisis, son realizados por las llamadas enzimas de hidratación o hidrolasas, como vemos en la hidrolisis del almidón:



Muchos procesos de oxidación se traducen en cambio de color del medio de cultivo; esta acción es realizada por una enzima oxidante u oxidasa. Como ejemplo tenemos la transformación del alcohol etílico en ácido acético.



En cuanto a las enzimas reductoras, éstas son producidas por bacterias anaeróbicas. Son pocas las bacterias que producen este tipo de enzimas. La reducción del NO_3 a NO_2 , es un ejemplo de la acción de éstas enzimas:



Algunas reductasas, provocan la formación de H_2 al estado nascente, dando H_2S . La decoloración del litmus y del azul de metileno es producida por éste tipo de enzimas.

En atención a que la acción de las enzimas se produzcan dentro o fuera de la célula; ellas se clasifican en intracelulares y extracelulares pero en ambos casos, la enzima ha sido producida por la propia célula.

Muchos alimentos, no pueden atravesar la pared celular si antes no se dializan en moléculas mas pequeñas; son las enzimas extracelulares, las que hacen que éstos alimentos se dialicen y logren ingresar al interior de la célula, para ser útil a ella. En cambio las enzimas intracelulares realizan los cambios necesarios para la vida, en el interior de la célula.

Generalmente las oxidasas y reductasas, son intracelulares, ó sea que su acción se realiza dentro de la célula, y no se difunden a través del medio en el cual vive la bacteria.

Según el tipo de compuesto, sobre el cual actúan las enzimas, éstas se clasifican en:

- Enzimas Amiolíticas
- " Proteolíticas
- " Oxidantes
- " Reductoras
- " Lipolíticas

Dentro de las enzimas Amiolíticas están la amilasa, que actúa sobre el almidón, y la celulasa que transforma la celulosa. Ambos procesos se producen durante el tratamiento de desagües.

La transformación de las materias albuminoides, en productos hidratados dializables, llamados albumosas y Peptonas, la realizan las enzimas proteolíticas.

Las bacterias que dan oportunidad a la proteólisis, siempre se presentan en el ciclo de putrefacción, ciclo que tiene lugar en el tratamiento de desagues y que puede ser considerado como una verdadera peptonización.

La liquefacción de la gelatina, en los cultivos de laboratorio es originada por una enzima, segregada por las especies liquefacientes. La coagulación de la leche, ó sea la fermentación de la caseína, mediante la caseasa, al igual que lo anterior, es producida por bacterias proteolíticas.

La ureasa transforma la urea en carbonato de amonio, y es el micrococo urea, el que produce tal enzima en las líneas colectoras de desague.

Las lipasas ó enzimas lipolíticas desdoblan por hidrolisis las grasas en ácidos grasos y glicerina, proceso de gran importancia en el tratamiento de desagues.

Procesos bioquímicos que tienden a la mineralizacación de la materia orgánica, son los antes mencionados, los cuales cumplen con la finalidad del tratamiento de desagues.

En términos generales, la hidrolisis origina la transformación de varios polisacáridos, en azúcares, la de las proteínas en aminoácidos y de éstos en amoníaco oxí-ácidos; y transforma muchas sustancias en solubles orgánicas como el algodón y la fibrina; y por último, lleva a

cabo la descomposición glucolítica, como es la transforma
ción de azúcares en ácido láctico.

Son muy numerosas las bacterias que producen enzimas proteolíticas. Los procesos oxidantes, solo son pro
ducidos por las bacterias aerobias, que aseguran su energía a través de la oxidación de sustancias inorgánicas sim
ples, como: C,H,N,S, etc. Las Nitrobacterias están dentro de este grupo.

5.3.4.- Acción de los agentes físicos y químicos sobre las bacterias

La vida de las bacterias es susceptible de afectar
se con los diferentes agentes físicos y químicos que se den lugar durante el tratamiento de desagues. Estas acciones de los agentes físicos y químicos pueden encauzarse, de modo de destruir las especies que interfieran, y de propiciar las que sean favorables al proceso.

Las condiciones de vida para las bacterias varían grandemente de una especie a otra, y dentro de cada condición existen máximos y mínimos, para el desarrollo de las bacterias, y para la propia existencia de ellas; dentro de estos rangos, estarán los valores óptimos, ó sea los mas favorables al desarrollo de cada especie.

Humedad.- En relación con las bacterias, el agua actúa como agente físico, ya que es el elemento que sirve de vehículo a la materia alimenticia y residual.

En la máxima humedad, ó sea en el agua absolutamente pura, no puede haber ninguna forma de vida, debido a la muy baja presión osmótica y ausencia de alimentos. Aunque hay un tipo de bacterias que pueden vivir en aguas que contienen solamente trazas de sales minerales.

En la mínima humedad, ó sea en la sequedad absoluta, tampoco puede darse ninguna forma de vida, ya que el agua es constituyente esencial de la vida. Sin embargo algunas bacterias, especialmente los esporos, conservan la vida relativamente secos, viviendo en el aire algunos meses, hasta años.

Por otra parte, las bacterias se alimentan a través de su pared celular y el alimento debe encontrarse en perfecta solución.

Temperatura.- Los micro-organismos en general son mas susceptibles a las temperaturas altas que a las bajas. La máxima temperatura para la existencia de las bacterias, puede decirse que son los 100°C, ya que aún las esporas, perecen cuando se les somete a la ebullición durante cierto tiempo. La mínima temperatura, para la existencia de las bacterias, está a -273°C ó sea en cero absoluto.

Hay algunas bacterias que viven en aguas termales, donde la temperatura es de 93°C y otras viven en aguas casi completamente congeladas; ó sea que los lími-

tes para el desarrollo de las bacterias puede decirse que son los -1.5°C y 93°C .

Para las llamadas bacterias mesofílicas, que se desarrollan en los desagües, la temperatura óptima está entre los 20°C y 40°C .

Luz.- En términos generales la luz es destructiva para las bacterias; hay algunas que parecen a las pocas horas de expuestas directamente a los rayos solares.

Algunas bacterias cromógenas, pueden desarrollarse en presencia de luz, pues los pigmentos que producen las protegen. Dentro de éstas están las sulfurosas, que producen un pigmento púrpura rojo, que sirve para desdoblar el H_2S , que le sirve para su crecimiento.

Dentro del espectro solar, los colores del verde al violeta, son cada vez más tóxicos, siendo el último completamente letal. Del rojo al verde la acción es casi nula.

La acción de los rayos de onda corta (ultravioleta) es utilizada como agente desinfectante en las aguas de consumo.

Oxígeno.- Como constituyente de la célula, el oxígeno es necesario a los organismos. Desde el punto de vista del modo de obtención de este elemento las bacterias pueden ser:

Aerobias, cuando requieren de O_2 libre para su de

sarrollo.

Anaerobias, cuando lo toman de algun compuesto. No pueden tomar el O_2 libre por la tensión que ofrece.

Facultativas aerobias, cuando viven mejor en ausencia del O_2 libre, pero en ocasiones pueden hacerlo en su presencia.

Facultativas anaerobias, cuando se desarrollan mejor en presencia del O_2 libre, pero también pueden hacerlo en su ausencia.

Presión osmotica.- Al igual que todas la células vivientes, las bacterias son muy susceptibles a los cambios de densidad del medio en que viven. Si se colocan en un medio cuya densidad es menor que la de su protoplasma, la célula absorbe agua y se hincha, produciéndose lo que se llama plasmotisis. Si a la inversa, la densidad del protoplasma es menor que la del medio, el agua de la célula se escapa, y el citoplasma se encoje, produciendose una plasmolisis.

Si la diferencia de presión osmótica es muy marcada, la pared celular puede romperse, y muere la célula; si no es mucha la diferencia, la transición se hace gradualmente y puede vivir la célula, pero limitada en su desarrollo.

Quimotoxia.- O sea la reacción de los organismos, ante los agentes químicos.

Las bacterias tienen una capacidad muy marcada pa-

ra reaccionar en presencia de ciertos compuestos químicos.

El tipo de reacción y los compuestos varían gran
demente con cada especie.

6.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION

El funcionamiento de una laguna de estabilización es un proceso complejo, mediante el cual se autopurifican las aguas negras. Para esto suceda, es necesario el concurso de varios factores algunos controlables y otros no. Dentro de estos últimos se incluyen las condiciones climatológicas del lugar.

Los factores en general, que intervienen en el proceso de estabilización en una laguna, son de carácter Físico, Químico, y Biológico, cada uno de tales grupos se estudiarán separadamente.

6.1.- FACTORES FISICOS

Los factores físicos de importancia en el funcionamiento de una laguna, están comprendidos por: la Temperatura, la Luz o Radiación Solar, la Evaporación, la Precipitación, la Percolación, y los Vientos.

6.1.1.- Temperatura

La temperatura es importante en el proceso de estabilización, debido a que afecta la velocidad de reacción de la DBO, la respiración de las algas, el valor de saturación del oxígeno disuelto y la producción de O₂ por fotosíntesis.

La cantidad de pruebas realizadas de muestran que el intercambio de calor entre el agua y el barro del fondo no es significativo. Las formaciones acuosas solo se calientan en la superficie.

La cantidad de la mayor parte de las reacciones químicas, es incrementada grandemente con la elevación de la temperatura. Se dice con aproximación, que se duplica por cada 10°C de incremento de la temperatura. La velocidad de reacción de la DBO se ve afectada grandemente con la temperatura; es así, que una DBO satisfecha en 13 días a 5°C, se hace solamente en 4 días si la temperatura es de 30°C.

Temperatura (°C)	Tiempo (días para 90 % BOD satisfactorio)
5	13.1
10	10.4
15	8.3
20	6.7
25	5.3
30	4.2

Como cualquier actividad biológica, si la temperatura baja demasiado y forma hielo, la vida de las algas se inhibe; aunque hay especies como las chlamidomonas, que pueden resistir la formación de nieve, adquiriendo entonces una cloración rojiza.

No existen suficientes estudios en lo que a temperatura óptima para las algas se refiere, como para permitir el uso de coeficientes muy precisos en el diseño de lagunas. Sin embargo, se ha visto que el rango apto para el desarrollo de la chlorella Pyrenoidosa, Escenedesmus Obligens, Euglena Gracilis y otras especies, está entre los 20 y 25°C.

Cuando se producen aumentos de temperatura, la concentración de algas también aumenta, y por lo tanto la producción de O₂ fotosintético. Este O₂ fotosintético también aumenta en su velocidad de producción: es así que, con ciertas especies de chlorella, una elevación de 10°C puede acelerar la velocidad de fotosíntesis desde un 50 hasta más de 200%. Conforme sube la temperatura, intervienen procesos más elevados, aún sin aumento considerable de algas.

Si la temperatura se aproxima a 35°C el desarrollo de las algas es interferido, especialmente en lagunas poco profundas. Esto ocurre aún cuando las algas proceden a usar O₂ a un ritmo mayor. En este caso las algas chlorophyceas decrecerán o desaparecerán; las euglenophyceas decrecerán o desaparecerán; las euglenophyceas permanecerán a temperaturas mayores de 30°C.

Debido a las heladas los organismos pueden adquirir la congelación de sus tejidos, y esto puede causar la ruptura de las membranas celulares e interrumpir la circu-

lación. Además, al formarse cristales de hielo extraen el agua de su alrededor, causando un efecto similar a la desecación en las células vecinas. Pero, debido a la presencia de sustancias disueltas en los fluidos orgánicos, hay un descenso del punto de congelación; por lo que, incluso los protoplasmas desprovistos de protección no se hielan hasta algunos grados bajo cero.

En cuanto al valor de saturación de O_2 disuelto, este aumenta conforme asciende la temperatura, o sea que la capacidad de contención de O_2 disuelto, por el agua de las lagunas, es cada vez mayor.

Los cambios diurnos en la temperatura y en la radiación solar, dan lugar a un régimen repetitivo en la concentración de O_2 , Ph alcalinidad, CO_2 y otros.

Cuanto menor sea la profundidad del agua, tanto mas fielmente seguirá las variaciones de la del aire.

En procesos anaeróbicos ó facultativos, la producción de gas metano por unidad de DBO se incrementa con la temperatura. A $4^\circ C$ la producción es despreciable debido a lo extremadamente lento de la actividad biológica, pero a partir de $12^\circ C$ el aumento de producción es notable.

La influencia de la temperatura en el funcionamiento de las lagunas se hace máxima en el caso en que la superficie del agua se congele. Esto trae consigo el obstaculizar el paso de la luz solar; y los movimientos que

se producen dentro de la masa de agua son debidos unicamente a convección y a diferencia de densidades. El proceso, de aerobio pasa a ser anaerobio, pero con poca actividad bacterial debido a la baja temperatura.

Algunas especies son capaces de soportar verdadera congelación por poco tiempo. El alga verde chlorella puede permanecer helada a -182°C por espacio de una hora, sin sufrir ningun daño.

Durante el deshielo pueden producirse problemas de malos olores debido a la acumulación de fangos no estabilizados en el fondo de la laguna; pero la dilución del agua helada y el rápido restablecimiento de las algas vuelven a hacer el proceso de tipo aeróbico.

En cuanto a la disminución de E. Coli, en los primeros cinco días y a igualdad de tiempo de retención, se observa una eficiencia mayor al aumentar la temperatura. Para tiempos mayores parece que solamente tiene influencia la retención.

En términos generales, para la permanencia de una especie dentro de un medio determinado:

- a) La temperatura debe encontrarse en todo momento dentro de los límites tolerables por el organismo.
- b) La temperatura debe ser suficientemente elevada ó en muchos casos lo suficientemente baja y por un espacio prolongado, para permitir la reproducción y desarrollo de la

especie.

6.1.2.- Luz

Tratándose de lagunas aeróbicas la luz tiene el rol principal en el funcionamiento de ellas, ya que para este tipo de lagunas, la fuente de O_2 , se logra mediante la fotosíntesis de las algas.

Para determinar la eficiencia de una Laguna, se debe tener en cuenta las variaciones, en lo que a radiación solar se refiere, así tenemos:

La variación regional anual, gobernada por la Latitud, Altitud y nubosidad, según que el lugar esté en zonas tropicales, subtropicales, etc; al nivel del mar ó a algunos metros sobre él; y el estado atmosférico sea, normalmente despejado ó nuboso. Las zonas tropicales, al nivel del mar, y con un estado atmosférico usualmente despejado, serían ideales para el buen funcionamiento de una laguna aeróbica.

Los cambios estacionales en la cantidad de radiación solar diaria, tiene mucha importancia, ellos pueden variar localmente con un factor de 3 ó más; y la intensidad de la luz, la cual está regida por la radiación solar y por la duración del día, ayuda a determinar el grado estacional de fotosíntesis y de producción de O_2 .

La intensidad de la luz solar, varía también debido a factores no previsibles ó que no se pueden determi

nar, tales como la absorción de la luz por la atmósfera y la hidrósfera, así como a factores sistematicos sujetos al análisis matemático y la predicción, tales como la constante solar, la posición del sol en el cielo y la absorción de la luz por la atmósfera normal.

Las variaciones durante el día de la radiación solar, producen altas y bajas en la concentración de O_2 disuelto. Durante el día, la concentración de O_2 disuelto puede llegar a 400 %, produciéndose burbujas, que producen un sonido audible, al estallar en la superficie; y durante la noche, solamente 12 horas después, la concentración de O_2 puede llegar a cero.

Las fluctuaciones diurnas del Ph entre 9 y 10, es tán relacionadas con la utilización de CO_2 en la fotosíntesis. Aunque las algas pueden utilizar el CO_2 libre, es mas probable que éste provenga de la descomposición de los bicarbonatos produciéndose monocarbonatos.

La variación decreciente de la luz solar con la profundidad de la laguna, hace que la producción de O_2 por fotosíntesis sea mayor en la superficie y probablemente nula en el fondo.

La profundidad de penetración de la luz solar determina el porcentaje de volumen de laguna que participa en la producción de O_2 . La capa que absorbe el 99 % de la luz incidente es considerada como el estrato, donde se

produce toda la fotosíntesis apreciable; y este estrato es el que indica la proporción de volumen que produce O_2 por fotosíntesis.

Generalmente el 99 % de la luz se absorbe en los primeros 50 a 70 cms y es en ésta capa que la producción de O_2 por las algas es igual o superior al consumo. La producción óptima de O_2 , ocurre dentro de una capa de 10 cms. que se aleja o se acerca de la superficie, según la intensidad de la luz.

Se ha observado repetidas veces que hay una mayor concentración de O_2 a 10 pulgadas de profundidad que a 3 pulgadas, se cree que ésto se debe al escape de O_2 hacia la atmósfera y a la hidrodifusión a diferentes profundidades.

En general se distinguen tres estratos en la lagunas, el superior que llega hasta 10 cms. y se caracteriza por un exceso de luz; el intermedio en donde ocurre la iluminación óptima, y como su espesor solo es de unos cuantos cms. resulta que solo una pequeña porción de volumen produce O_2 ; y el estrato inferior que se halla escasamente iluminado.

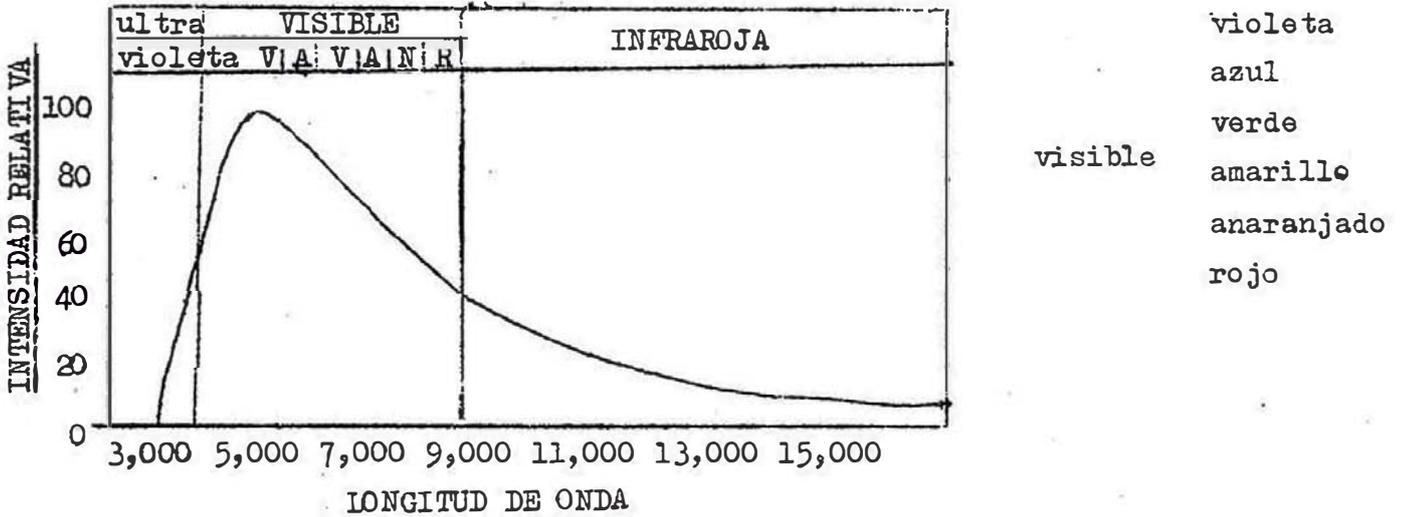
Debido a la presencia de éstas capas, el funcionamiento de una laguna es mejor, si hay agitación. Ya que, en forma alternada de luz y oscuridad, las algas presentan una alta eficiencia fotosintética; además, se ha observado

que las algas aprovechan mejor la radiación solar cuando se las somete a ella durante pequeños intervalos, que cuando están expuestas por tiempo prolongado.

Neel y otros llegaron a la conclusión de que se necesita una intensidad lumínica de 1.5 a 1.6 Langleys /día ($\text{Calgr/cm}^2/\text{día}$), para mantener una carga de 1 Lb/acre/día. Ellos consideran que la intensidad de luz es el factor limitante, en el buen funcionamiento de una laguna, en lugares donde no se cubren de hielo en el invierno.

La penetración de la luz se conoce mediante un aparato que tiene una célula fotoeléctrica que se sumerge en el agua, ésta célula tiene una sensibilidad entre 4,200 y 7000 Angstrom, longitudes de onda entre las que se encuentra el violeta y el rojo carmín, colores perceptibles por el ojo. Dentro de la distribución de la luz solar que llega a la superficie terrestre, casi la mitad de ella son rayos infrarrojos (superior a 7,600 Angstrom) una pequeña parte son ultravioleta (inferior a 3,600 Angstrom) y lo demás es luz visible el gráfico siguiente nos muestra tal distribución, y además que la luz visible es la que llega a la superficie terrestre en la máxima intensidad.

Distribución especial de la energía solar sobre la superficie terrestre.



La gran afinidad de la clorofila por las ondas rojas y azules del espectro hace que ella se encuentre siempre presente en donde la luz contiene a tales longitudes de onda, es por eso que se considera que la mayor parte de la absorción de luz por las algas se realiza en tal región.

La superficie líquida de la laguna refleja algo así como un 10 % de la luz incidente haciéndola decrecer inmediatamente debajo de la superficie.

Cuando la luz incide perpendicularmente alcanza un valor de 98 %, justamente debajo de la superficie, pero si el ángulo de incidencia es de 10°, solamente penetra un 60 % de luz.

Para conseguir un proceso eficiente no es necesario mantener la laguna en condiciones aeróbicas ya que, la

iluminación es afectada por muchos factores presentes en la laguna. El ciclo diurno y oxidación de la laguna es quizá mas afectado por la población de algas que por la intensidad de la luz, las masas algas-bacterias no son homogéneas y un criterio basado en la penetración de la luz a través de las masas homogéneas, puede ser erróneo.

El calor de combustión de las algas de aguas anegras es de alrededor de 6 calorías por miligramo, así que, calculando la energía solar visible, estimando la fracción de energía solar convertida en energía celular, midiendo el calor de combustión de las células, y estableciendo un período de retención, se puede obtener la eficiencia total promedio de la conversión fotosintética de energía solar o energía de las algas.

Estas eficiencias varían del 2 a 9 % siendo común 5 %. Se han sugerido, que las cargas orgánicas pueden ser aún sobre la base de 1 libra de DBO/acre/día (112 mgr/m^2 /día) por cada 2 langleys de energía solar.

6.1.3 Evaporación

La evaporación puede influenciar el comportamiento de la laguna, en los siguientes aspectos:

a) Reduce el caudal del efluente; ésta influencia, es completamente positiva ya que, el incremento del caudal del curso receptor de las aguas tratadas será menor que en el caso de no haber evaporación.

b) Aumenta el período de retención. Al disminuir el volumen de las aguas en la laguna, ésta adquiere mayor poder de retención. Esto en muchos casos constituye una ventaja, ya que la laguna al recibir sobrecargas puede disminuir el período de retención, pero con la evaporación, se logra un balance.

c) Aumenta la concentración; esto resulta favorable en lo que respecta a concentración de algas y producción de O_2 por unidad de volumen; pero sin llegar, la concentración de algas a ser excesiva y tal que dificulte la penetración de la luz. Para el caso de la DBO, ésta al aumentar en su concentración, requeriría una mayor retención para ser satisfecha.

La evaporación se ve influenciada por los siguientes factores:

1) Presión de vapor de agua; ya que ésta es muy sensible a las variaciones de t° , por ejemplo a $0^\circ C$ la presión de vapor es de 4.48 m.m. de Hg. a $10^\circ C$, de 9.21 m.m. de Hg. y a $20^\circ C$, es de 17.5 m.m. de Hg. o sea que cuando la presión de vapor de agua, aumenta, la evaporación también se incrementa.

2) Temperatura. Su influencia es directa a través de la presión de vapor de agua.

3) Velocidad del viento, o sea la rapidez con que el aire arrastra el vapor de agua que se forma en la superficie de

las lagunas.

4) Presión Barométrica; cuando ésta disminuy, la evaporación aumenta, ya que el vapor de agua encuentra una menor resistencia a su difusión dentro del aire.

5) Calidad del agua. Con respecto al contenido de sales su aumento no es favorable a una gran evaporación, sin em bargo su influencia es pequeña.

De todas las fórmulas para la evaporación, las mas conocida en los E.E.U.U. es la de Meyer, basada en ci fras obtenidas de casi todas las estaciones de observación de Weather Burean.

$$E = 15 (V_w - V) \left(1 + \frac{V}{10}\right)$$

En la que:

E = evaporación mensual en m.m.

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

V = Presión de vapor a la temperatura del aire, ~~multipli-~~
~~cada por la humedad relativa~~ en mm de Hg.

v = Velocidad del viento en millas/horas

El coeficiente 10, puede ser 11 para grandes cuerpos de agua.

6.1.4 Precipitación

La lluvia que precipita, sobre la superficie de la laguna es limpia y sirve de dilutora. Pero la que superficialmente escurre hacia ella, acarrea material mine-

ral y orgánico, que en el caso del primero produce turbiedad y sedimentos; y en el segundo, además de ésto produce una demanda de oxígeno para su propia descomposición. Para evitar estos problemas se usan bordes en la periferia de las lagunas.

La dilución que produce la precipitación, favorece el rendimiento expresado en DBO. El Dr, J.K. Dilvey ha encontrado en U.S.A., que la eficiencia de las, lagunas, aumenta en aquellos lugares en que la precipitación anual varía entre 630 y 1,140 m.m.

6.1.5 Percolación

Dentro de los estudios previos al diseño de lagunas de estabilización, debe incluirse uno sobre permeabilidad del suelo, especialmente cuando hay peligro de contaminación de la napa subterránea.

La percolación que inicialmente puede ser tan alta como 6 pulgadas por día, es probable que disminuya con el tiempo, debido a la taponación del suelo por las bacterias y la materia orgánica, hasta que alcance su mínimo valor, el cual parece ser del orden de 1/4 a 3/4 de pulgada por día. Cuando la percolación es excesiva se recomienda un tratamiento para el fondo y lados de la laguna, haciéndolos impermeables.

Puede haber contaminación de la napa subterránea solo cuando ella no se halla muy profunda, ya que, las

bacterias no viven en grandes profundidades del suelo. Cuando la napa subterránea está cercana a la superficie del suelo, la percolación puede hacerse directamente a ella, y las bacterias pueden viajar con ella varios cientos de metros.

Cuando el terreno es rocoso y presenta fisuras la posibilidad de contaminación es mayor, y más aún, si el agua subterránea pasa a través de fisuras, en vez de penetrar por el suelo, pues así las bacterias no se detienen.

Un estudio sobre coliformes y virus, demuestra que los virus hacen un mayor recorrido y resisten más que las bacterias coliformes. La habilidad de mayor recorrido, puede explicarse fácilmente considerando sus relativos tamaños.

El monto anual de la descarga ocurrida en el efluente de una laguna es definido por la ecuación de balance hidráulico.

$$C - (A + P) - (E + F)$$

En la que:

A - Aguas negras recibidas

P - Precipitación

E - Evaporación

F = Filtración

Puede ocurrir variaciones en el nivel de agua, debidas a variaciones de cualquiera de las variables, pe-

ero si el efluente llega a ser negativo y así se mantiene por mucho tiempo, el nivel de agua puede bajar excesivamente.

6.1.6.- Vientos

La burbulencia producida por los vientos en las lagunas, produce la mezcla del O_2 contenido en capas superiores y aumenta la dispersión de los sólidos.

La velocidad del viento requerida para una buena mezcla, se cree que está en razón del tamaño de la laguna. En los estudios realizados en DAKOTA, USA, se observó que con vientos de hasta 50 km/hora (30 millas/hora) la superficie de la laguna resistía perfectamente la formación de las olas; pero con velocidades superiores estas podían alcanzar alturas notables (0.30 m.).

La turbulencia producida por las olas contribuye a la dispersión de los sólidos sedimentables. Se ha observado que la agitación superficial producida por los vientos de alta velocidad contribuye a bajar la supersaturación de O.D. que se forma en la capa superior de la laguna, ya que dirige una parte del O_2 hacia las capas inferiores y otras hacia el aire de la atmósfera. Esto es beneficioso para las lagunas puesto que el O.D. acumulando en la superficie se distribuye mejor. Por consiguiente las lagunas deben ubicarse, en lugares sometidos a la acción del viento prevaleciente, haciendo que el agua ingrese a la laguna por

el fondo y a sotavento, y la descarga en el lado contrario y no muy superficial para evitar concentración de algas.

Cuando los vientos son muy fuertes, se reduce su acción mediante barreras formadas por arboles;

Hay una fórmula que relaciona la altura de la ola, con el recorrido del viento.

$$h = C\sqrt{f}$$

h = altura de la ola en piés

f = Recorrido del viento en millas nauticas

C = Coef. variable (Generalmente 1-5 para vientos clasificados como muy fuertes).

6.2.- FACTORES QUIMICOS

En los procesos biológicos que se producen en una laguna, a través de las algas y las bacterias, además de la radiación solar que es fuente principal de energía y sin la cual no podría realizarse la fotosíntesis, intervienen ciertos factores químicos dentro de los cuales tenemos.

6.2.1.- Nutrientes

6.2.2.- pH

6.2.1.- Nutrientes.- Llámense así a los elementos o compuestos químicos que las bacterias y las algas necesitan para realizar su metabolismo, y por consiguiente su desarrollo.

Dentro de los nutrientes se distinguen:

6.2.1.1.- Macronutrientes

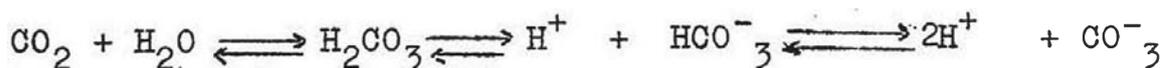
6.2.1.2.- Micronutrientes

6.2.1.1.- Macronutrientes. Son aquellos elementos o compuestos que son principales para el metabolismo de algas y bacterias, y se necesitan en cantidades apreciables. El Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Fósforo, Potasio, y Azufre, conforman los macronutrientes.

Anhidrido Carbónico

Durante el proceso de fotosíntesis, las algas fundamentalmente, absorben el CO_2 , aún cuando la concentración de este compuesto, en el agua, es baja, Si el agua está en equilibrio con el aire, considerando que la concentración de CO_2 en este último es pequeña solo habrá en el agua $0.5 \text{ cm}^3/\text{lt.}$ de CO_2 libre a 0°C , ó $0.2 \text{ cm}^3/\text{lt.}$ a 24°C en disolución sencilla; sin embargo, el contenido de CO_2 en aguas naturales se considera mayor debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos.

El CO_2 disuelto en el agua se combina con esta produciendo ácido carbónico, el cual se disocia de la siguiente manera:



La cantidad de CO_2 en disolución sencilla, más el que se encuentra en forma de H_2CO_3 se llama CO_2 libre. El

CO_2 combinado está integrado por los iones carbonato (CO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-). En presencia de un ácido fuerte el CO_2 combinado pasa a formar parte del CO_2 libre.

Si el pH del agua está próximo al neutro (pH=7.0), casi todo el anhídrido carbónico estará bajo la forma de iones HCO_3^- . Cuando el pH es alto el CO_2 se presenta como CO_3 ; y a pH bajo como CO_2 . Por consiguiente, cualquier alteración en el equilibrio de CO_2 producirá un cambio de pH y viceversa, así, durante la respiración, al agregarse CO_2 , en un primer momento baja el pH, pero luego, el CO_2 , se combina con el agua y forma H_2CO_3 , el cual se disocia dando lugar a la formación de iones HCO_3^- , con lo que el pH vuelve a subir.

Si las algas se encuentran en un agua de pH alto, disponen de poco CO_2 , es por eso que algunas plantas, son capaces de absorber el CO_2 en forma combinada. Se ha comprobado que muchas algas que viven en estanques, absorben el ion HCO_3^- y lo utilizan en su fotosíntesis. Hasta con una concentración de 0.03 % de CO_2 (normalmente en el aire) hay una relación óptima de fotosíntesis.

Tanto los iones carbonato y bicarbonato, como otros aniones de ácidos débiles, constituyen un sistema "buffer" ó amortiguador, que balancea cualquier cambio de Ph. Por eso, la capacidad amortiguadora de una agua, está determinada por la cantidad existente de estos aniones, y por

tanto por la alcalinidad. Las aguas dulces duras, tienen gran capacidad amortiguadora.

Durante la fotosíntesis, se absorbe CO_2 , resultando de ello la formación de $\text{CO}_3 \text{Ca}$, que se deposita frecuentemente sobre ó en el interior de los tejidos vegetales acuáticos, lo cual da muchas veces a las algas, apariencia pétrea.

Oxígeno

Es usado principalmente en la respiración de los microorganismos, y aunque al punto de saturación, el agua solo contiene una fracción del O_2 existente en el aire, las presiones parciales del O_2 en el aire y el agua, son iguales y se encuentran en equilibrio, o sea que el O_2 penetra en las membranas respiratorias de los organismos, con igual facilidad en el aire y en el agua. Sin embargo, esto no quiere decir que la cantidad de O_2 sea suficiente, por lo que el medio en contacto con las membranas respiratorias, debe ser abastecida continuamente.

A través de sus procesos metabólicos los microorganismos transforman la materia orgánica, estabilizándola; pero esta estabilización requiere de O_2 , por lo que la cantidad de O_2 , necesaria para estabilizar la materia orgánica, se llama Demanda Bioquímica de oxígeno.

Teóricamente, la cantidad de O_2 , para oxidar la materia orgánica compuesta por diferentes elementos, tales co

mo: C,N,H,P,S, sería la suma de las cantidades necesarias para oxidar cada elemento, menos el O_2 inicial presente.

La materia orgánica absorbida y asimilada por los microorganismos, además de proporcionar los elementos que componen el protoplasma celular, se oxidan convirtiéndose en la energía, necesaria para sintetizar tales elementos. Es así que aproximadamente $1/3$ de la demanda última de O_2 , de la materia orgánica, es utilizada para convertir el remanente $2/3$ en protoplasma.

Cuando no hay O.D. las bacterias atacan a los diferentes compuestos químicos, para conseguir el vital elemento, con la consiguiente producción de malos olores; por lo que debe tratarse de mantener una mínima concentración de O_2 disuelto, para conseguir condiciones aeróbicas.

Cuando la concentración de O_2 disuelto, es nula, solamente pueden desarrollarse bacterias del tipo anaeróbicas, ó sea las que pueden absorber el O_2 contenido por un compuesto (caso de lagunas anaerobicas).

Potencial de Oxido-Reducción-ó Potencial Redox (Eh)

Medido en voltios, expresa el carácter electropositivo, ó electronegativo de una sustancia en disolución con una determinada concentración de Hidrógeno.

Un potencial Redox positivo, corresponde a una situación en la que tiendena producirse oxidaciones, que es el caso de condiciones aerobicas en donde el potencial

Redox esta entre + 200 a 600 milivoltios. Cuando el potencial Redox es negativo, tiende a producirse reducciones, que es lo que sucede, en situaciones anaeróbicas en donde el Potencial Redox está entre - 100 a - 200 milivoltios.

En el habitat acuático, el potencial Redox, es la suma de los potenciales Redox que corresponden a cada soluto, presente en el agua.

Nitrógeno

El Nitrógeno es consumido por las algas, especialmente por las cyanophitas ó algas verde-azules, produciendo una alta demanda del elemento, pues en algunos casos, el contenido final de N en las algas llega hasta el 10% de su peso seco. En la fijación de N por las algas verde-azules, influye la presencia del Molibdeno el cual debe estar en pequeñas concentraciones. Pero en abastecimiento constante.

El N es obtenido de los nitratos, nitritos y sales amoniacales ó de los compuestos orgánicos. Muchas algas utilizan amoniaco libre en su metabolismo, con lo cual evitan que la D B O necesaria para oxidar este elemento sea alta.

De los estudios realizados sobre fortificación de residuos deficientes en nutrientes, se desprende, que una situación óptima, es cuando las concentraciones de DBO y N están: como 20 á 1. ($BOD/N = 20/1$).

En las aguas cloacales domésticas, no hay problema, pues las concentraciones de N son siempre altas.

Cuando el desagüe doméstico se encuentra frío y fresco, el contenido de compuestos orgánicos nitrogenados es alto, y el de amoníaco libre es bajo, mientras que cuando está séptico, y caliente, el contenido de amoníaco libre es relativamente alto, y el de Nitrógeno orgánico es bajo.

En cuanto a los residuos industriales, estos pueden contener concentraciones muy bajas de N, tal es el caso de los desechos de cítricos en los que no se logra un buen desarrollo de algas, si no se agrega N ó compuestos nitrogenados.

Cuando hay carencia de N, se retarda la formación de protoplasma y disminuye la razón de estabilización.

a.2.- Micronutrientes.- Pequeñas cantidades de ciertos elementos también son necesarios para el desarrollo de los micro-organismos dentro de una laguna.

El fósforo potasio, calcio y magnesio, en bajas concentraciones, son esenciales en la nutrición de los micro-organismos.

Estos elementos se encuentran en cantidades apreciables, en las aguas cloacales, y algunos de ellos en pequeñas cantidades hasta en las aguas naturales.

La ausencia de algunos de estos elementos, puede

ser causa de limitación de la población de algas, y producción de malos olores. Por ejemplo en el caso de fósforo, tales condiciones se producen, cuando su concentración en el líquido baja de 0.01 p.m.

En las reacciones metabólicas la cantidad de fósforos es aproximadamente: $BOD/p = 100/l$. En las aguas cloacales, por lo general, se ataca esta deficiencia, por medio de la fortificación del medio, a base de nutrientes.

En las aguas cloacales no se advierte la falta de estos micronutrientes, pero en algunos desagües industriales, es necesario agregar trazas de estos elementos, ó preparaciones de agua destilada, procurando evitar la formación de sustancias insolubles ó coloidales, especialmente en el caso del fósforo y del hierro.

En cantidades vestigiales, m el fierro, manganeso, cobre, molibdeno, zinc y boro, contribuyen al desarrollo de los seres vivos en las lagunas.

En altas concentraciones, cualquiera de los mencionados elementos resulta perjudicial para el mantenimiento de la actividad biológica durante el proceso de purificación de las aguas negras en una laguna de estabilización.

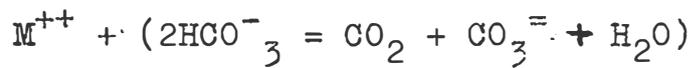
6.2.2.- pH

Como las algas, durante su actividad fotosintética consumen Dióxido de Carbono (CO_2), la disminución de la concentración de este compuesto en el agua, produce altos va-

lores de pH.

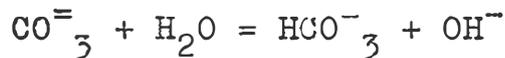
Si se consume CO_2 libre, el pH no excede de 8.3; pero si el CO_2 consumido proviene de los bicarbonatos presentes, los valores del pH son mas altos.

En aguas naturales que contienen bicarbonatos, hay el siguiente equilibrio:



Como el CO_2 presente en este equilibrio es aprovechable por las algas, su consumo se traduce en un incremento de la concentración de los carbonatos, lo que produce dos efectos.

a) El ión carbonato siempre está en equilibrio con el ión bicarbonato y el ión hidroxilo.



por lo que si se incrementa la concentración del ión carbonato, se produce también un aumento de la concentración de hidroxilos, y por tanto el pH se eleva.

b) Cuando en el agua hay apreciables cantidades de Calcio (Ca^{++}), se forma carbonato de calcio (CO_3Ca) y precipita si la concentración del ión carbonato es tal que excede al producto de solubilidad. Esto sucede cuando el pH esta por encima de los valores obtenibles, pero generalmente mas bajo que 10.

El CaCO_3 precipitado como resultado de la remo-

ción de CO_2 por las algas, forma depósitos de lodo.

Junto con el gas metano que se produce durante la fermentación de la materia orgánica, se forman también CO_2 y ácidos orgánicos. Este incremento de la concentración de CO_2 en las aguas negras en proceso de estabilización, baja el pH.

En las lagunas de estabilización, el desarrollo de algas, junto con la fermentación de la materia orgánica, logran equilibrar el consumo con la producción del CO_2 , manteniéndose el pH, generalmente entre 6.5 y 8.5, valores dentro de los cuales hay un buen desarrollo microbial.

Si el pH se encuentra por debajo de 6.5, hay desarrollo de fungifilamentoso; y si está por debajo de 4.5 ó cercano a 9.5 la actividad microbial se hace pequeña.

6.3.- FACTORES BIOLOGICOS

En la naturaleza, una especie no puede vivir completamente aislada de las demás. Es ley natural que unas ejerzan influencia sobre otras que viven en el mismo ambiente; tales inter-relaciones se producen como una consecuencia de las funciones propias del desarrollo de cada especie dentro de las cuales se ubica principalmente la nutrición.

Según como las diferentes especies obtienen los elementos necesarios para su metabolismo, se clasifican en tres grupos: organismos Autotrófos, organismos Heterotrófos

y organismos Mixotrófos.

6.3.1.- Organismos Autotrófos

Son aquellos que pueden sintetizar los compuestos orgánicos esenciales a partir de sustancias inorgánicas; por ello, no dependen de otros organismos para llevar a cabo su nutrición. Dentro de este grupo los organismos pueden ser:

6.3.1.1.- Autotrofos Holófitos.- Cuando utilizan la luz como fuente primaria de energía mediante la fotosíntesis.

Ejemplos de este tipo de organismos son las bacterias púrpuras y las plantas verdes, comprendiendo dentro de estas últimas a las algas.

Es a través del proceso fotosintético que las algas cobran importancia en el tratamiento de desagües por medio de lagunas de estabilización. Pero, además del principal papel que desempeñan las algas, cual es el de proporcionar el O_2 necesario para propiciar el desarrollo de las bacterias también intervienen en otros procesos, derivados de este o diferentes.

Así, mediante el proceso fotosintético de las algas, se logra una remoción de CO_2 en las lagunas, que modifica la relación entre las cantidades de ácido carbónico soluble (no combinado), semisoluble o semicombinado (bicarbonatos) y casi insoluble o combinado (monocarbonato); en consecuencia, parte de estos precipitan; reduciéndose así la

dureza del agua hasta un tercio.

Las variaciones en el contenido de CO_2 y de la dureza del agua hacen variar el Ph del agua. El Ph aumenta a medida que lo hace la actividad fotosintética, ó sea que sus máximos valores se dan durante el día. Durante la noche, cuando no se realiza la fotosíntesis ó sea que solo hay Liberación de CO_2 sin ningun consumo, el Ph decrece.

Las algas también reducen la alcalinidad y el contenido mineral y consumen gran cantidad de N al estado amoniacal. Este N lo asimilan de los compuestos nitrogenados que proceden de la descomposición de la materia orgánica tales como nitritos, amoníaco y aminoácidos, pues las algas no pueden utilizar directamente la gran cantidad de N disuelto en el agua.

Además de estas acciones beneficiosas, el desarrollo de las algas lleva consigo procesos que podríamos llamarlos destructivos. Con el desarrollo de las algas, suele aumentar la acción corrosiva del agua, tomando esta actividad efectos importantes sobre las tuberías. Las profundas corrosiones que pueden causar en los metales, es debido a la acción despolarizante del O_2 producido fotosintéticamente.

La acción destructiva de las algas se extiende al concreto, pues este puede llegar a desintegrarse por el

contacto con ellas.

Ultimamente se presta gran atención a las algas que producen sustancias orgánicas tóxicas para los animales salvajes y domésticos. Aún cuando la información acerca de algas tóxicas para el hombre, es muy escasa, se sospecha de algunas que hayan producido afecciones gastrointestinales entre los usuarios de un mismo abastecimiento de agua.

6.3.1.2.- Autotrofos Quimiotrofos.-

Se llaman los organismos que obtienen la energía necesaria mediante la oxidación de ciertas sustancias inorgánicas. Es el caso de las bacterias sulfurosas, que oxidan el SH_2 dando primeramente S libre y después sulfatos, y el de las ferrobacterias que oxidan las sales ferrosas convirtiéndolas en férricas.

6.3.2.- Organismos Heterotrofos

Son los organismos que necesitan compuestos orgánicos ya elaborados para su nutrición y por ello dependen directa o indirectamente de los organismos autotrofos.

Dentro de los organismos heterotrofos, se distinguen los heterotrofos Holozoicos, los heterotrofos Saprofíticos y los heterotrofos parasitos.

6.3.2.1.- Heterotrofos Holozoicos.-

Son aquellos que ingieren característicamente alimentos sólidos y los digieren dentro de su cuerpo.

Los animales de vida libre se nutren de esta forma.

6.3.2.2.- Heterotrofos Saprofíticos.- ...

Son los que carecen de ordinario de aparato digestivo; absorben directamente alimentos orgánicos del ambiente y realizan generalmente la digestión externa, o sea que mediante sustancias segregadas por ellos mismos transforman la materia en contacto con ellos, haciéndola apta para su digestión. Así se nutren la mayor parte de las bacterias, muchos hongos, algunos flagelados y muy pocas plantas superiores.

En el caso de las bacterias, las enzimas producidas por ellas son los agentes de desdoblamiento de la materia orgánica compleja. De los compuestos orgánicos elaborados por las plantas verdes con clorofila, solo una parte es utilizada por los animales, y los alimentos ingeridos por estos últimos, solo son parcialmente desdoblados dentro de su organismo; la función de las bacterias es descomponer la materia vegetal sobrante y la animal parcialmente desdoblada, convirtiéndola en sustancia simple utilizable por las plantas.

Para que las bacterias puedan realizar normalmente sus funciones, el medio debe ser de reacción alcalina; aunque hay algunas que pueden desarrollarse en medios debilmente alcalinizados o neutros y otros que produciendo

la fermentación del azúcar, alcohol o sustancia similar, presentes en el medio, lo vuelven ácido.

6.3.2.3.- Heterotrofos Parásitos.-

Son los organismos que viven en el exterior de otros organismos o en el interior de los mismos y obtienen alimentos orgánicos directamente del cuerpo de sus huéspedes.

6.3.3.- Organismos Mixotrofos

Este tipo de organismos se nutren por los dos métodos, auto y heterotrofismo. Los flagelados verdes, por ejemplo, cuando disponen de luz pueden realizar la fotosíntesis, pero en otras circunstancias viven saprofiticamente. La Euglena vive de esta manera mediante la descomposición de la materia orgánica que se halla en los estanques. De igual manera, la Chlorella es capaz de vivir fototrófica o saprofiticamente.

7.- CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAGUNAS

7.1.- CRITERIO DE NEEL

Se basa en la necesidad de la insolación para mantener la actividad fotosintética. Esto expresado en función de carga orgánica es así:

Por cada kg BOD₅/Ha/día de 1.34 á 1.43 langleys/día * en promedio:

para 1 kg BOD₅/Ha/día se necesita 1.4 langleys/día.

7.2.- CRITERIO DE HERMANN Y GJOYNA

Basado fundamentalmente en el efecto de la temperatura sobre el período de retención.

Despues de experiencias en laboratorio y en instalaciones piloto llegaron a concluir que para satizfacer una reducción del 90 % del BOD, era necesario un periodo de retención de 3.5 días a 35°C. También postularon la relación del periodo de retención con la ley de "Arrhenius", lo que se expresa de la siguiente forma:

$$R_{35^{\circ}\text{C}} = 3.5 \text{ días}$$
$$R_T = R_{35^{\circ}\text{C}} \cdot \theta^{(35^{\circ}-T)}$$

$R_T = \text{Retención a } T^{\circ}\text{C}$

* Langley/día (cal gr/cm²/día.)

θ = Constante de la ley de Arrhenius = 1.072.

Después de hacer un análisis estadístico de los desagües de E.U. encontraron un valor de $BOD_5 = 200$ mg/lt, por lo que.

$$R = \frac{P_o}{200} 3.5 (1.072)^{(35-T)} \quad \& P_o = BOD_5 \text{ (mg/lt)}$$

El volumen de la laguna será

$$V = Q \times R \quad Q = \text{Afluente (m}^3/\text{día)}$$
$$V = \text{m}^3.$$

$$V = Q \times \frac{P_o}{200} \times 3.5 (1.072)^{(35-T)}$$

homogeneizando la fórmula y reemplazando el valor de $Q \times P_o$ por C (kg BOD/día).

$c = \text{kg BOD/día}$

$T = \text{Temperatura mínima}$

$$V = c 17.5 \times 1.072^{(35-T)} \quad \text{promedio mensual}$$

$V = \text{Volumen de laguna (m}^3\text{)}$

Para esta fórmula deberán usarse profundidades de 1 m.

El empleo de esta fórmula está condicionado a las siguientes recomendaciones:

- Para zonas donde no hayan fuertes variaciones de temperatura.

& En algunos residuos industriales; y para compensar el efecto del lodo, considera el BOD último. Lo consideramos innecesario ya que la fórmula es por sí conservativa.

- Para desagües en los cuales sea mínima la cantidad de sólidos suspendidos.

Para condiciones en las cuales hayan fluctuaciones grandes de temperatura, deberá usarse la siguiente fórmula:

$$V = c 35 (1.072)^{(35-T)} \quad (2)$$

en la que se recomienda usar una profundidad de 1.80 m. Es de hacer notar que esta fórmula es similar a la (1) con la diferencia que el volumen que da es el doble, pero también la profundidad recomendada es 1.8 veces más. Haciendo una relación en las áreas da, que el área según la fórmula (1) es al área según la fórmula (2) como 0.9/1. Lo que indica que la fórmula (2) da un 10% más de área que la fórmula (1).

7.3.- CRITERIO DE H.B. GOTAAS, W.J.OSWALD Y C.G.GOLUEKE

Durante dos años (de Enero de 1953 a Diciembre de 1954), estos tres investigadores realizaron experiencias en dos plantas piloto a escala de laboratorio.

El funcionamiento de las dos plantas fue puramente aeróbico, por lo que este criterio es aplicable solamente a este tipo de lagunas.

Para los fines de diseño, el criterio está dirigido hacia la determinación de la profundidad de la laguna y del periodo de detención, parámetros que permiten hallar la superficie necesaria.

Cálculo de la profundidad

Siendo el proceso puramente fotosintético y estando la penetración de la luz, sujeta a la absorción del medio que atraviesa; y la absorción a su vez regulada por la concentración de algas y la turbidez propia de las aguas cloacales, se aplica con bastante aproximación la ley de Beer-Lambert;

$$\frac{I_h}{I_i} = e^{-C_c \cdot \alpha \cdot h} \quad (1)$$

en donde:

I_i = Intensidad de la luz incidente en Bujías pié o Lux.

I_d = Intensidad de la luz que llega a la profundidad "d", en Bujías pié o Lux.

C_c = Concentración de algas en mgr/lt.

α = Coeficiente de absorción

h = Profundidad en m.

Expresando en logaritmos la fórmula (1)

$$\log I_d - \log I_i = (-C_c \cdot \alpha \cdot h) \log e \quad ; \log_{10} e = 0.435$$

despejando "d":

$$h = \frac{\log I_i - \log I_d}{43.5 \cdot C_c \cdot \alpha} \quad (2)$$

El valor I_d se hace cada vez mas pequeño aumentando la profundidad. Si consideramos que la absorción de la luz se produce de tal modo que a la profundidad "d" la ilu

minación queda reducida a $I_d = 1$; en la fórmula (2), tenemos:

$$h = \frac{\log I_i}{43.5 C_c \alpha} \quad (3)$$

El valor de I_i en esta fórmula, se calcula partiendo de la insolación total máxima y mínima (radiaciones ultravioleta, visibles e infrarojas) afectada de coeficientes que tienen en cuenta:

- La altura sobre el nivel del mar.
- La influencia de la nubosidad
- Estudios experimentales dan a conocer que la iluminación durante las 24 horas del día (I_i) es aproximadamente igual a 10 veces la insolación total en Langleys/día (cal gr/cm²/día).

I_i (bujías pié) = 10 (bujías pié/langleys/día) S (langleys/día)

Si se quiere expresar la fórmula en unidades métricas de iluminación, esta se puede expresar en lux, teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ bujía pie} = 10.76 \text{ lux}$$

$$I_i \text{ (lux)} = 107.65 \text{ (langleys/día)}$$

Cuando $I_d = 1$ bujía pié, y la iluminación se expresa en lux, de la fórmula (2) tenemos:

$$h = \frac{\log I_i - \log 10.76}{43.5 C_c \alpha} \quad (4)$$

La iluminación varía de algunos cientos a mas de 10,000 bujias pié."C_c" es la concentración de algas en mgr/lt. y puede ser calculada por la fórmula de tipo experimental:

$$C_c = 10 N \% \text{ (recuperación de N)}$$

siendo N la cantidad de nitrógeno total en mgr/lt.

El porcentaje de recuperación del nitrógeno (%) varía según las épocas del año, pudiendo adoptarse valores fijos en base a pruebas de laboratorio que deberán verificarse en la práctica y para cada caso.

El valor de C_c varía entre 1×10^2 y 3×10^2 .

" κ " es el coeficiente de absorción de la luz y depende de varios factores entre los que destaca la especie de algas.

" κ " tiene un rango de variación de 1×10^{-3} ; a 2×10^{-3} normalmente se usa el valor de $\kappa = 1.5 \times 10^{-3}$.

Cálculo del período de retención o permanencia (R)

Para el cálculo de este parámetro, veamos primero los intercambios energéticos que se producen entre la energía solar y la aprovechada por las algas en el proceso de fotosíntesis.

El poder calorífico de las algas puede medirse quemando algas secas en la bomba calorimétrica, de donde:

B - Energía almacenada

M - Poder calorífico de las algas

$$B = M \times C_c \times V \quad (1)$$

secas.

C_c = Concentración de algas

V = Volúmen de enlagueamiento

El valor de "M" puede ser determinado de acuerdo a formulas empíricas, para lo que es necesario conocer el porcentaje de Carbono, Oxígeno e Hidrógeno:

$$P = \frac{\%C + \%H \times 7.94 + \%O}{398.9} \times 100$$

$$M = \frac{P}{7.89} + 0.4$$

La energía solar recibida en el enlagueamiento será:

S = Energía solar o insolación visible. Radiaciones de 4,000-7,000A° que penetran en la superficie en reposo (Langleys/día)

$$E_s = S \times A \times R \quad (2)$$

A = Superficie de enlagueamiento

R = Período de retención (días).

De toda esta energía (E_s), solamente una parte es aprovechada por la fotosíntesis de las algas, por lo que:

F = Eficiencia total del proceso fotosintético (no más del 10

$$E_s = F \times T_c \times S \times A \times R \quad (3) \quad \text{al } 12\%.$$

T_c = Coeficiente de temperatura

Valores de T_c obtenidos en plantas piloto

<u>$^{\circ}C$</u>	<u>T_c</u>
0	-
5	0.26
10	0.49
15	0.87
20	1.00
25	0.91
30	0.82
35	0.69
40	-

Como la superficie puede expresarse en, $A = \frac{V}{h}$ (4)

reemplazando (4) en (3) e igualando a (1); tenemos:

$$M \times C_c \times V = F \times T_c \times S \times \frac{V}{h} \times R$$

de donde, simplificando y despejando t , se obtiene:

$$R = \frac{M \times C_c \times h}{F \times T_c \times S} \times 1.00$$

(5)

M = Poder calorífico de las algas secas en cal/gr.

C_c = concentración de algas en mgr/lt.

h = Profundidad de laguna en m

S = Energía solar en cal/cm²/día = langley/día.

R = Tiempo de retención en días.

Haciendo un análisis de las dimensiones de cada elemento de la fórmula (5), esta puede homogeneizarse:

$$R \text{ (días)} = \frac{M(\text{cal/gr}) \times C_c(\text{mgr/lt})(\text{gr}/1000 \text{ mgr})(\text{lt}/1000\text{cm}^3) \times h \text{ (m)}}{F \times T_c \times S \text{ (cal/cm}^2\text{/día)}}$$

Simplificando:

R = Tiempo de retención en días

M = Poder calorífico de las algas en cal/gr.

C_c = Concentración de algas en mgr/lt

h = Profundidad en m.

$$R = \frac{M \times C_c \times h}{F \times T_c \times S} 10^{-6 \times 100}$$

F = Eficiencia del proceso fotosintético.

T_c = Coeficiente de temperatura

S = Energía solar en langleys/día (cal/cm²/día)

El valor de "F" ó eficiencia fotosintética esta regido por los diversos factores que influyen en la vida y desarrollo de las algas. El valor máximo de intensidad de luz que es utilizada se llama Intensidad de Saturación. Con ayuda de este valor puede fijarse un límite superior en la eficiencia "F", mediante la fórmula de Vannevar Bush:

I_i = Intensidad de la luz incidente

$$f = \frac{I_s}{I_i} \left(\log \frac{I_i}{I_s} 0.435 + 1 \right)$$

I_s = Intensidad de saturación de la luz.

f = Fracción de luz utilizable

3.- Cálculo del area necesaria (A)

Calculados el tiempo de retención (t) y la profundidad (d), teniendo como dato el caudal (Q), el area necesaria (A), sería:

A = Area superficial en m².

R = Retención en días

Q = Gasto en m³/día

h = Profundidad en m.

$$A = \frac{R \times Q}{h}$$

4.- Cálculo de la carga orgánica superficial (C)

La carga orgánica total, puede expresarse como el producto de la DBO (en mgr/lt) por el gasto (Q) en litros.

La carga superficial sería esta carga total repartida en el área necesaria.

$$C = \frac{DBO \times Q}{A}$$

pero:

$$Q = \frac{V}{R} \quad \text{y} \quad A = \frac{V}{h}$$

luego, reemplazando homogeneizando y simplificando:

$$C = \frac{DBO \times h \times 10}{R}$$

en donde:

C = Carga superficial en ~~gr/m²/día~~ Kg BOD₅/Ha/día

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno en ppm

h = Profundidad en metros.

R = Retención en días.

7.4.- CRITERIO DE MARAIS

El análisis que hace Marais es estableciendo una ecuación diferencial, para la cual hace primeramente dos suposiciones:

-La reducción de la concentración "P" es de acuerdo a una ley de tipo monomolecular, siendo su variación proporcional a la concentración existente, es decir:

$$\frac{dP}{dt} = -KP \quad (1)$$

-Hay una mezcla completa del influente con el contenido de la laguna.

La ecuación planteada es la siguiente:

$$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{Q_1}{V} \right) P_0 - \left(\frac{Q_2}{V} \right) P - KP \quad (2)$$

donde:

P = Concentración de polución en el efluente y en la laguna en un tiempo t.

P_0 = Concentración de polución en el influente.

K = Constante de reacción

Q_1 = Gasto del influente

Q_2 = Gasto del efluente

V = Volumen de la laguna

Esta fórmula quiere decir que la concentración en un instante "t" es igual a un factor de dilución del in-

fluente $\left(\frac{Q_1}{V}\right)$ multiplicado por la consiguiente polución P_0 , menos un factor de dilución del efluente $\left(\frac{Q_2}{V}\right)$ multiplicado por su polución P y menos KP que es la disminución de la polución por efectos biológicos de estabilización.

Reemplazando en la fórmula anterior los valores de V/Q por los respectivos periodos de retención del influente y del efluente (R_1 y R_2) se tiene.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{R_1} P_0 - \frac{1}{R_2} P - KP \quad (3)$$

Para un determinado instante "t", $dP/dt = 0$; luego.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{KR_1 + \frac{R_1}{R_2}} \quad (4)$$

Los valores de R_1 y R_2 pueden ser iguales, en caso de que la percolación y la evaporación sean pequeñas, quedando la ecuación así:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{KR_1 + 1} \quad (5)$$

En caso de que R_2 sea muy grande, caso de lagunas sin efluente, la ecuación quedaría sí:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{KR_1} \quad (6)$$

El caso mas corriente en la operación de lagunas es en el cual los valores de R_1 y R_2 son aproximadamente iguales, por lo que en todos los análisis se hace interve

nir a la ecuación (5).

Marais, en base a resultados experimentales, gráfica los valores de P_o/P y R de modo que linealiza la ecuación (5) y halla un valor de $K = 0.17$ proponiéndola como tentativo y afirmando que es conservador.

La manera como propone diseñar es la siguiente:

1.- Se calcula la máxima concentración de DBO que puede haber en la laguna para que las condiciones de operación no se tornen anaeróbicas, aplicando la siguiente fórmula empírica:

$$P_{\max} = \frac{750}{2h + 8} \quad (7)$$

P = Concentración máxima permisible de DBO (mg/l)

h = Profundidad en m. (1.20-1.80)

2.- Se calcula el periodo de retención en base a la siguiente fórmula.

$$R = \frac{1}{K} \left(\frac{P_o}{P_{\max}} - 1 \right) \quad (8)$$

R = Retención en días

K = Constante = 0.17

P_o = DBO₅ afluente (mg/l)

P_{\max} = Hallado con ecuación (7)

3.- Se calcula la carga superficial

$$C = \frac{10 \times P_o \times h}{R} \quad (9)$$

C = Carga (kg DBO₅/Ha/día)

P_o = DBO₅ (mg/l)

R = Período de retención (días)

h = Profundidad de la laguna (m)

El paso N° 2 es con el cual se diseña, ya que con el periodo de retención se calcula el volumen de la laguna

y con la profundidad se tiene el área superficial. El paso N° 3 es solo de comprobación.

A continuación se da un ejemplo del cálculo de una laguna de acuerdo a los criterios de Gloyna y Marais; por considerarlos de mayor importancia.

Datos

- Población 10,000 habitantes
- Aporte de desagüe 210 l/pers/día
- Demanda bioquímica 250 mg/l
de oxígeno BOD₅.
- Temperatura de la laguna 19°C

SEGUN CRITERIO DE GLOYNA

Carga Organica diaria

$$c = \frac{210 \times 10,000 \times 250}{1000} = 525 \text{ Kg BOD}_5/\text{día}$$

Volumen

$$V = 5.35 (1.072)^{35-T}$$

$$V = 525 \times 35 (1.072)^{(35-19)} = 56,000 \text{ m}^3$$

Retención

$$R = \frac{56,000 \times 1000}{210} = 26.6 \text{ días}$$

Area

$$A = \frac{56,000}{1.80 \times 10,000} = 3.1 \text{ Ha.}$$

Carga:

$$C = \frac{525}{3.1} = 169 \text{ Kg BOD}_5/\text{Ha/día}$$

SEGUN CRITERIO DE MARAIS

Calculo del Pmax

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{750}{2 \times h + 8} \\ &= \frac{750}{2 \times 1.80 + 8} = 65 \text{ mg/l.} \end{aligned}$$

Período de Retención

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{0.17} \left[\frac{P_0}{P_{\max}} - 1 \right] \\ &= \frac{1}{0.17} \left[\frac{250}{65} - 1 \right] = 16.8 \text{ días} \end{aligned}$$

Area

$$A = \frac{210 \times 10,000 \times 16.8}{1.8 \times 10,000 \times 1000} = 2.0 \text{ Ha}$$

Carga:

$$C = \frac{525}{2.0} = 263 \text{ Kg BOD}_5/\text{Ha/día}$$

Eficiencia

$$\begin{aligned} E &= \frac{KR}{KR+1} \times 100 \\ &= \frac{0.17 \times 16.8}{0.17 \times 16.8 + 1} \times 100 = 74 \% \end{aligned}$$

CRITERIO	MARAIS	GLOYNA
Area (Ha)	2.0	3.1
Ret. (días)	16.8	26.6
Carga	263	169
E %	74	

Del cuadro adjunto vemos que el criterio de Marais nos da un ahorro de 35 % de area, pero la comparación de estas formulas no es muy acertada porque Gloyna toma como base la temperatura del líquido, sin tomar en cuenta otros factores; mientras que Marais resume todos los factores en una constante K, asumiendola en forma tentativa para climas tropicales y subtropicales.

Razón por la cual nos parece mas acertada la formula de Marais, con la condición de que el valor de "k" deberá ser hallado experimentalmente de acuerdo a la zona.

8.- ASPECTOS ECONOMICOS DEL TRATAMIENTO EN LAGUNAS

En toda obra de Ingeniería generalmente hay varias alternativas a estudiar. La elección de lo mas conveniente se hace luego de un estudio comparativo de costos de la instalación misma y de su mantenimiento y operación, en oposición con los beneficios que ofrecen cada una de las alternativas.

Tratándose de obras de saneamiento, los beneficios son incommensurables y para nuestro caso en que las alternativas son diferentes tipos de plantas de tratamiento de desagües, los beneficios para la comunidad se consideran iguales.

Para el análisis económico de las alternativas, se hace una descripción precisa de cada una de ellas. Elegido el período de diseño para cada alternativa, los costos, tanto de la instalación misma como de su mantenimiento y operación, se colocan en bases comparables para todas ellas.

En el total de costos además de los costos de inversión tales como de investigaciones preliminares, estudio de factibilidad, elaboración del proyecto, terreno, ejecución de las obras equipos e instalaciones, pruebas en el curso receptor, control y administración, debe incluirse los costos anuales de operación y mantenimiento que incluyen mano de obra, beneficios sociales de la mano de obra,

materiales de consumo, energía consumida, seguros, intereses sobre la inversión, depreciación y reposición de equipos.

La elección de la planta de tratamiento, también está supeditada al grado de tratamiento que puede ofrecer, y al punto de descarga al curso receptor, ya que generalmente, las alternativas que se presentan en la disposición de desagües, de manera general, están dentro de tres aspectos:

- Alto grado de tratamiento, con una menor longitud de emisor; cuando el punto de descarga final está cerca de la población pero la capacidad receptora del curso es muy pequeña.

- Menor grado de tratamiento, con un emisor más largo; cuando hay otro curso receptor u otro punto del mismo curso, más alejado, pero con una alta capacidad de recepción.

- Grado medio de tratamiento, con un emisor de longitud intermedia.

8.1.- TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES

Siendo nuestro propósito hacer un análisis económico de las plantas de tratamiento de desagües dirigido hacia la utilización de las Lagunas de estabilización, pasaremos a describir aquellas plantas, cuya eficiencia es comparable

con la de las lagunas.

8.1.1.- Plantas de Tratamiento Convencionales:

En donde las aguas servidas pasan primeramente a través de un desarenador, luego a un tanque de sedimentación primaria con un tiempo de permanencia de 2 horas; de aquí, los lodos sedimentados son conducidos a los digestores en donde permanecen de 30 a 40 días, mientras que el efluente pasa a un tanque de aireación, en donde es mezclado con el lodo recirculado de los decantadores secundarios y recibe aire comprimido por un espacio de 4 a 8 horas. El efluente del tanque de aireación, pasa a un decantador secundario que retiene las aguas de 2 a 3 horas.

El efluente del sedimentador secundario con o sin cloración final es el efluente de la planta. Parte del lodo aquí sedimentado pasa a los digestores y parte es recirculado. El lodo digerido es vaciado a los lechos de secado.

Las variantes en este tipo de plantas están en que; en vez de los tanques de aireación, pueden usarse filtros biológicos; la recirculación puede hacerse con el efluente de los filtros biológicos y los lechos de secado de lodos pueden ser reemplazados por lagunas de lodo digerido ó a instalaciones de filtración al vacío.

8.1.2.- Aereación Prolongada ú Oxidación Total

Estas plantas constan de desarenador, tanque de

aireación, sedimentador secundario y lechos desecado. Aquí, las aguas negras crudas, mezcladas con el lodo recirculado del sedimentador secundario son aireadas por períodos de 20 a 30 horas.

El lodo almacenado en el tanque de aireación es des cargado cada 6 meses o cada año, y llevado a los lechos de secado.

8.1.3.- Lagunas Aireadas y Zanjas de Oxidación:

Tanto las lagunas como las zanjas son instalaciones únicas y simples y en ellas las aguas servidas, únicamente pasan por un proceso de aireación, ya sea por medio de la inoculación de aire comprimido, ó por la agitación de su superficie por medio de rotores de eje horizontal ó vertical, siendo los del primer tipo los mas usados en las zanjas de oxidación.

8.1.4.- Lagunas de Estabilización:

En las lagunas de Estabilización además de proceso Físico Químicos, se producen procesos biológicos. El intercambio de materia beneficiosa ó simbiosis entre bacterias y algas que se desarrollan en las aguas estancadas aceleran el proceso de transformación de la materia orgánica, logrando estabilizarla. En este sistema el consumo de energía es nulo.

Se usan también, combinaciones de los procesos descritos en serie ó en paralelo; en serie, generalmente

para obtener una mayor eficiencia de la planta.

El cuadro siguiente muestra algunas características de los procesos descritos.

8.2.- COSTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE DESAGUES

Debido a la escasez de referencias locales, mencionaremos experiencias de otros países.

8.2.1.- Costos de Plantas de Tratamiento Convencionales,

Los mayores costos en este tipo de plantas, son los de la planta misma, de personal para operación y mantenimiento, y de energía consumida; la variación de cualquiera de estos costos, puede afectar apreciablemente el costo total de la planta, ya que generalmente la suma de ellos representa el 90 % del costo total.

8.2.2.- Costos de Plantas de Tratamiento por procesos de Aireación Prolongada en Lagunas.

No existe suficiente información sobre este tipo de tratamiento, pero de un estudio de alternativas hecho en Brasil, para dos casos de tratamiento de desagües se deduce, que los costos de construcción de plantas con aireación prolongada representan mas ó menos el 75 % de los de las plantas convencionales, y que los de Lagunas aeradas ó zanjas de Oxidación representan el 50 %.

8.2.3.- Costos de Lagunas de Estabilización

En este caso costos parciales que tienen mayor in

CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO DE DESAGUES (16)

TIPO DE TRATAMIENTO	TASAS DE APLICACION DE BOD ₅ (20°)		VOLUMEN DE TANQUE DE m ³ /hab.	AREA TOTAL PERIODO DE REQUERIDA RETENCION		ENERGIA CONSUMIDA KWhr/año/hab	ENERGIA PRODUCIDA kg Gas/año/hab.
	gr BOD/día/m ³ .	gr BOD/día/m ²		m ² /hab.	Días		
LOS ACTIVADOS							
(Alta capacidad)	500 - 5000	1500 - 25000	0.12 - 0.012	0.2	0.4 - 0.5	5 - 8	10
FILTROS PERCOLADORES							
(Alta capacidad)	400 - 5000	600 - 8000	0.15 - 0.012	0.2	0.3 - 0.4	3 - 4	7
AERACION PROLONGADA	100 - 1000	300 - 4000	0.60 - 0.060	0.4	1.0 - 1.5	20 - 22	0
ZANJAS DE OXIDACION	25 - 300	25 - 450	2.40 - 0.20	2	2.0 - 4.0	20 - 22	0
LAGUNAS AEREADAS	25 - 300	75 - 1200	2.40 - 0.20	1	3.0 - 6.0	20 - 22	0
LAGUNA DE ESTABILIZACION (Aerobia)	6 - 20	5 - 20	12 - 3	30 - 60	50 - 60	0	0
LAGUNAS DE ESTABILIZACION (Anaerobia-Aerobia)	10 - 30	10 - 50	6 - 2	4 - 5	15 - 20	0	0

cidencia sobre el costo total, son los de terreno, y de movimiento de tierras. De un estudio hecho en 1961, sobre 152 lagunas de South Dakota N.A., con un promedio de 100 hab/acre (220 hab/Ha) y considerando que la cantidad de terreno adquirida es el doble de la superficie de lagunas se encontró que, con un precio de terreno de \$ 100/Acre, el costo de las lagunas, es significativamente mas bajo que el de las plantas de tratamiento convencionales, hasta en poblaciones de alrededor de 100,000 habitantes; pero con un precio de \$ 1000/acre, el costo de lagunas, es mas bajo que el de plantas convencionales, unicamente para poblaciones menores de 3,000 habitantes. Se notó que en este último caso, el costo de la instalación se incrementaba en 50 a 70 %, respecto al primero. Las fig A y B son unas reproducciones de este estudio.

De un análisis económico realizado en Brasil, en 1967 se obtuvo que para poblaciones de 10,000 habitantes las lagunas resultan mas económicas que otros tipos de tratamiento, sean estos convencionales, de aereación prolongada ó lagunas aereadas, cuando el precio del terreno es menor de 40 NC/m².

En este mismo análisis para poblaciones entre 1,000 y 100,000 habitantes, siendo el costo de terreno de 5 NCrs/m², los costos totales anuales de lagunas de estabilización resultan mas bajos que los que corresponden a los

otros tipos de plantas, Elevando el costo de terreno a 50 NCrs/m², los costos totales anuales de las lagunas, también son mas bajos que los de los otros tipos, pero unicamente para poblaciones menores de 1,000 habitantes.

En cuanto al movimiento de tierra en el estudio de South. Dakota, con un costo unitario promedio de 30 cents/yarda, la proporción de este costo, con respecto del total de la planta, fue en promedio de 60 %, excluyendo el costo de terreno (para poblaciones de diseño entre 300 y 3,000 habitantes).

En lo que se refiere a la mano de obra para operación y mantenimiento, el hecho de que para los sistemas de lagunas de estabilización, las necesidades son mínimas favorece a la economía en estos sistemas.

En el siguiente cuadro se presenta la mano de obra necesaria para operación y mantenimiento de los diferentes tipos de plantas de tratamiento de desagües, teniendo en cuenta el número de personas mínimo necesario para una operación y mantenimiento adecuados y constantes de, los sistemas.

TIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO	POBLACION DE DISEÑO:		
	1,000	10,000	100,000
Secundario Convencional	14.2 h.h./dia	8.7 h.h./dia	2.6 h.h./dia
Aereación Prolongada	8.7 " "	5.2 " "	1.6 " "
Lagunas Aereadas y Zanjias de Oxidación	5.8 " "	1.2 " "	0.4 " "
Lagunas de Estabilización	2.9 " "	0.6 " "	0.2 " "

8.3.- AREAS DE APLICACION ECONOMICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PLANTAS

El costo de terreno tiene influencia decisiva en la elección del tipo de planta de tratamiento de desagües.

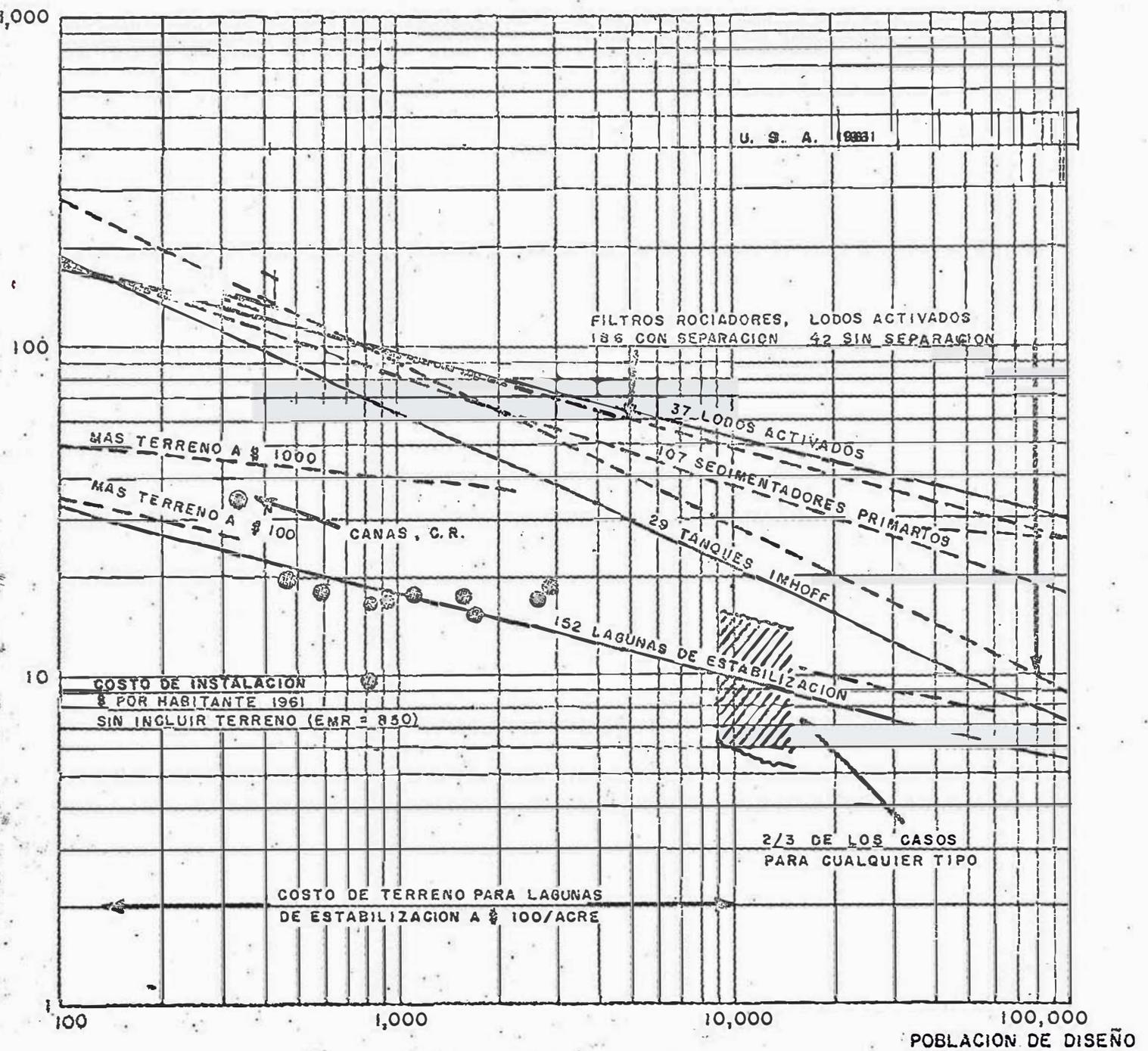
Los costos de terreno considerados en los dos estudios mencionados (South Dakota, y Brasil) se refieren en el caso de los valores inferiores, a terreno en zonas rurales alrededor de poblaciones de pequeñas importancia; y en el de los valores superiores, a terrenos en zonas urbanas, en ciudades de mayor importancia,

En ambos estudios se llega a la conclusión de que para poblaciones menores de 10,000 habitantes, en los cuales generalmente el costo de terreno no es alto, las lagunas de estabilización, constituyen la solución mas económica para el problema del tratamiento de lagunas servidas.

El Perú en donde aproximadamente el 73 % de la po

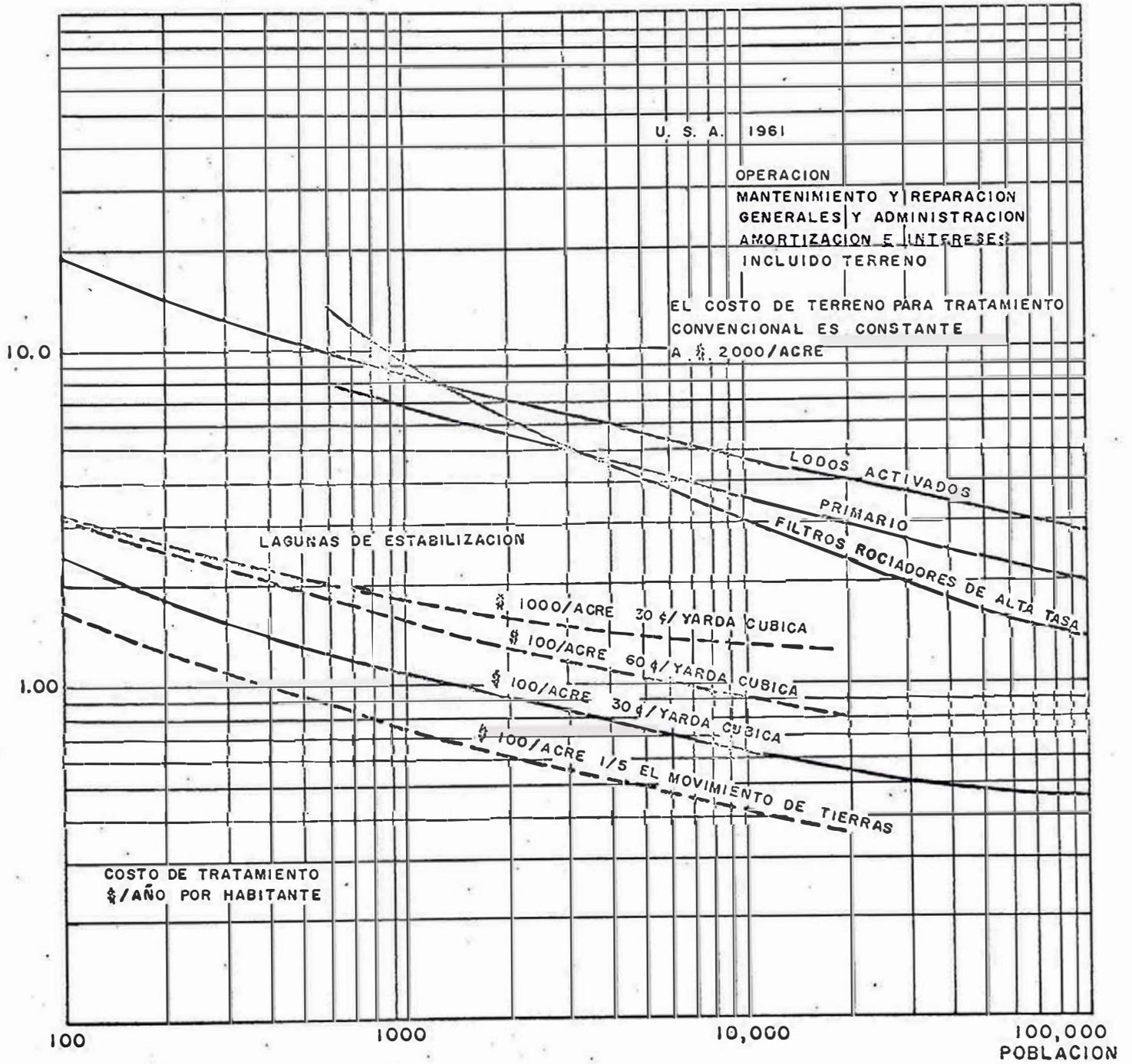
blación total está localizada dentro de poblaciones con me
nos de 10,000 habitantes presenta un amplio campo de aplicaca
ción de los sistemas de lagunas de estabilización en el trata
tamiento de aguas negras.

FIGURA A



COSTO DE PLANTA - POBLACION

FIGURA B



COSTO DE TRATAMIENTO - POBLACION

9.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aleman Guillermo, Lugo
V́ctor Diethard, Sieber. Uso de las lagunas de estabi-
lizacioce de aguas residuales
en Venezuela.
- 2.- Bartsh O.F. Aspectos Biologicos y Qúmi-
cos de las lagunas para des-
perdicios.
- 3.- Bayard F. Bjornson 1961 Sewage stabilization ponds-
public health an vector con-
trol aspects.
- 4.- Pozsa Frank 1962 Lagunas de estabilizacion y
su posible aplicaci3n en Ve-
nezuela.
- 5.- Gloyna F.F. Waste stabilization ponds
concepts and experiences.
- 6.- Gotaas Harold B.- Oswald
Millian J.- Golueke Cla-
rence 1954. Alsal Bacterial Symbiosis in
sewage oxidation ponds.
- 7.- Howlls D.H.- Dubois P.P. The design and cost of stabi-
zation pond in midwest.
- 8.- Ops. Apuntes del curso intensivo
N° 8, Universidad Acit3noma
de M3xico.
- 9.- Ops. Lagunas de estabilizaci3n cur-
so de Universidad de Chile.
- 10.-Ops. Lagoas de Estabilizacao Uni-
versidad de Sao Paulo Faculda
de de Higiene e Saude Publica
1967.
- 11.-Shuval Hillel I. Water pollution control in se-
mi-arid and arid zones.

- 12.- Taft, Robert O Engineer-
ring center June 1962 New Developments in sewage
treatment
- 13.- Us. Department of
health education and
welfare Sewase stabilization ponds in
the dakotas
- 14.- Ud. Department of
health education and
welfare Proceedings of symposium o
waste stabilization laggons
August 1960.
- 15.- William son Arthue F. Report on a visist to five
countries in Africa under aus-
pices of international Coope-
ration Administration-Salisbu-
ry August 1960.

P A R T E I I

10.- ANTEPROYECTO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

1.- DEFINICIONES

1.1.- Lagunas de Estabilización

Son embalses diseñados para tratar aguas servidas por medio de procesos físicos, químicos, y biológicos. La característica de estos embalses es su gran area superficial en relación a su profundidad.

1.2.- Lagunas Anaeróbicas

Son aquellas lagunas en las que los procesos de tratamiento se realizan en ausencia de oxígeno disuelto.

1.3.- Lagunas Aeróbicas

Son aquellas en las que los procesos de tratamiento se realizan en presencia de oxígeno disuelto en toda su profundidad.

1.4.- Lagunas Facultativas (#).

Son aquellas en las que los procesos de tratamiento que se realizan en las capas superiores lo ha-

(#) El término Facultativa no es apropiado, ya que, de ser así la laguna funcionaría Aeróbica y Anaeróbicamente en forma alternada. Se mantiene esta denominación por estar muy difundida.

ocurren en presencia de oxígeno disuelto (forma Aeróbica) y los que se realizan en las capas inferiores (forma Anaeróbica), en su ausencia.

1.5.- Lagunas Primarias

Son aquellas que se diseñan para recibir desagüe crudo para tratarlo en forma Anaeróbica o Facultativa.

1.6.- Lagunas Secundarias

Son aquellas que se diseñan para tratar efluentes de tratamiento Primario, y deberán ser de tipo facultativo.

2.- ESTUDIOS PRELIMINARES

Estos se harán con la finalidad de justificar el uso de las lagunas de estabilización en el tratamiento de las aguas servidas.

2.1.- Estudio de Zonificación

Se hará un estudio de la zona dirigido hacia la zonificación de la misma en las categorías de residencial e industrial.

2.2.- Estudio del Sistema de Alcantarillado.-

Se hará un estudio del sistema existente o futuro con el fin de determinar las posibilidades de ubicación de la planta.

Se determinará si el sistema es o será, mixto o separado.

2.3.- Estudio de las características del desagüe.-

El estudio se hará con el objeto de averiguar si el desagüe es biodegradable, tiene los nutrientes necesarios y no contiene elementos tóxicos, sobre todo tratándose de desagües industriales. Este estudio podrá omitirse en desagües domésticos.

Se investigará la presencia de carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, ya que constituyen estos nutrientes para el desarrollo de las sales.

En desagües que contengan arsénico, cromo hexavalente, cianuros, plomo u otros elementos tóxicos se deberá evaluar el efecto de estos en la actividad biológica.

En casos dudosos se deberá comprobar el desarrollo biológico mediante experiencias de laboratorio.

3.- BASES DE DISEÑO

3.1.- Período de Diseño.-

Se considerará de 10 a 15 años como período de Diseño.

3.2.- La Población de Diseño será la calculada en base al período de Diseño mas la población equiva

lente, resultante de los desagües industriales.

3.3.- Curso Receptor.-

Se hará la descripción del Curso Receptor o Cuerpo de Agua en donde se descargará el efluente indicando sus condiciones y usos, variaciones de nivel del mismo en el punto de descarga del efluente.

3.4.- Grado de Tratamiento.-

Dependerá del uso para el cual se destine el efluente, ^{y las características del curso receptor} y estará normado por la autoridad sanitaria correspondiente.

3.5.- Carga Hidráulica ó Flujo de Desagüe

Esta se calculará en base al promedio diario de 24 horas de flujo.

En caso de no estar en funcionamiento el sistema de alcantarillado, la carga se considerará a partir del 80 % de la dotación de agua, mas el aporte de los desagües industriales.

3.6.- Carga Orgánica.-

La carga orgánica se calculará en base al promedio del valor resultante de los análisis de BOD en muestras compuestas y a su respectivo caudal reportándose estos como Kgs de BOD/día.

En caso de no existir facilidades para los análisis y mediciones respectivas ó por ausencia de

la red de alcantarillado, la carga orgánica se considerará de 60 Grs./pers/día, como aporte del desagüe doméstico; a esto se agregará el aporte de los desagües industriales como población equivalente para lo cual se usará el dato arriba mencionado.

4.- DISEÑO

4.1.- Pretratamiento.-

Como pretatamiento unicamente se usará cámara de rejas, ó algún otro dispositivo capaz de reemplazar a este.

4.2.- Carga de Diseño.-

4.2.1.- Lagunas Anaeróbicas

Estas se pueden diseñar con cargas que podrán variar entre 800 y 1000 Kg/BOD₅/Ha/día.

4.2.2.- Laguna Facultativa

Para este tipo de laguna la carga de diseño podrá variar entre 150 y 200 Kg BOD₅/Ha/día.

4.3.- Período de Retención.-

4.3.1.- Laguna Anaeróbica

El período de retención no será menor de 4 días ni mayor de 6 días.

4.3.2.- Laguna Facultativa

Cuando se diseña como laguna primaria el período mínimo de retención será de 15 días. Para lagunas secundarias el período de retención será de 8 días.

4.4.- Profundidad.-

4.4.1.- Laguna Anaeróbica

Su profundidad podrá variar entre 2 y 2.50 m.

4.4.2.- Lagunas Facultativa

Su profundidad podrá variar entre 1.20 y 1.80 m.

5.- UBICACION DE LA LAGUNA

La ubicación de las lagunas dependerá básicamente de la importancia del centro poblado cercano a ellas teniendo en cuenta que los vientos prevalecientes alejen los posibles malos olores de las zonas habitadas, por consideraciones prácticas la distancia de estas a la residencia más cercana no será menor de 300 metros, y al centro poblado más lejano de 500 m.

Deberán ser ubicados a una distancia no menor de 200 m. de la fuente de abastecimiento de agua.

Deberán evitarse los terrenos porosos o de formaciones rocosas fisuradas (en caso de verse obligados a usar

estos terrenos ver cap. referente a detalles constructivos).

6.- DETALLES CONSTRUCTIVOS

6.1.- Forma

La forma de las lagunas, podrá ser circular, cuadrada ó rectangular cuyo largo no excedera de 3 veces el ancho, debiendo redondearse las esquinas. En casos especiales cuando por razones de topografía se tengan que dar una forma irregular a la laguna, se deberán evitar entrantes y/o salientes.

6.2.- Diques

6.2.1.- Material

El material a emplearse será de tipo impermeable, debiendo ser compactado en un grado suficiente para constituir una estructura estable.

La vegetación y terreno de cultivo deberá retirarse del sitio en donde se ubicarán los diques. Debiendo lograrse una ligazón íntima entre el terreno natural y los diques.

6.2.2.- Ancho de la coronación

Este deberá ser tal que permita el tránsito de vehículos motorizados, no debien

do ser menor de 3 m. En caso de lagunas pequeñas este límite podrá rebajarse.

6.2.3.- Taludes

6.2.3.1.- Interiores

Los taludes interiores serán de 1 vertical y de 3 a 5 horizontal.

6.2.3.2.- Exteriores

Como máximo los taludes exteriores se harán de 1 vertical y de 3 horizontal.

6.2.4.- Borde Libre

Por encima del nivel máximo de agua, se dejará un borde libre, que podrá oscilar entre 0.6 y 0.9 m.

6.3.- Fondo

El fondo deberá ser tan a nivel como sea posible, no permitiéndose desniveles mayores de 8.0 cms.

Se eliminará toda vegetación y material orgánico.

En caso de verse obligados a usar terrenos porosos ó de rocas fisuradas, se sellará el fondo de la laguna con una capa de arcilla de un espesor no menor de 30

cms. ó con algún otro impermeabilizante adecuado.

6.4.- Estructuras de entrada

La tubería de entrada podrá ir sumergida, apoyada en el fondo de la laguna, o elevada por encima del nivel máximo de agua con descarga libre. En este caso, (último) la tubería, se sustentará de manera que no propicie puntos muertos.

El punto de descarga se ubicará en el centro de laguna, cuando la forma de ella sea circular o cuadrada. En lagunas rectangulares se ubicará a la tercera parte más lejana de la estructura de salida.

Cuando la descarga se haga por el fondo esta deberá reforzarse mediante una placa de concreto, la que tendrá forma de plato de 4 m. de diámetro su borde coincidirá con el fondo de la laguna, y la depresión en el centro será de 0.4 m.

6.5.- Estructuras de salida

El punto de salida estará cerca del borde de la laguna y lo más lejos posible del punto de descarga.

La estructura de salida deberá ser tal que permita variar el nivel de operación.

Cuando sea posible, debera proceerse una estructura que permita el vaciado de la laguna.

6.6.- Sistemas de interconexión

Las interconexiones se haran con tuberias

Se ubicaran válvulas de modo que permita aislar cualquiera de las unidades, cuando sea necesario

7.- OTROS

7.1.- Medida del gasto

Se deberan instalar medidores de flujo del tipo "Parshall Flume" en los puntos de ingreso y salida. Medidores tipo vertedero se podran instalar unicamente en la salida.

7.2.- Cercado

El sistema de lagunas deberá estar encerrado por medio de un cerco apropiado para impedir el libre acceso a las lagunas.

7.3.- Señalización

Sedeberrán colocar letreros visibles que indiquen la naturaleza de las instalaciones y prevengan el ingreso a ellas.

8.- OPERACION Y MANTENIMIENTO

8.1.- Control de Mosquitos

Deberá evitarse el desarrollo incontrolado de la vegetación en los taludes; pudiéndose hacer esto

por corte de la hierba o por medio de herbicidas. Se deberá variar el nivel de operación, coincidiendo con los ciclos biológicos de los mosquitos. El empleo de larvicidas e insecticidas, aplicado en las orillas, se permitirá cuando se necesario.

8.2.- Conservación de Taludes

Se harán inspecciones periódicas de los taludes con el fin de detectar rajaduras o asentamientos, para proceder a su inmediata reparación.

8.3.- Conservación de Cercas y Señales

Las cercas y señales deberán mantenerse en buen estado.

8.4.- Análisis Físico-Químicos

Semanalmente deberán hacerse determinaciones, en el afluente y en el efluente, de Demanda Bioquímica de Oxígeno (en el afluente, muestra compuesta), Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables, Número Mas Probable de Coliformes y exámenes biológicos del efluente. Cuando se note un cambio de apariencia en la laguna, estos análisis deberán hacerse con mayor frecuencia.