

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería Sanitaria

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

TOMO II

Tesis de Bachiller y Grado

Para obtener los títulos de

Bachiller e Ingeniero Sanitario

ANA BOYANOVICH G.

LUIS SIERRALTA Z.

Promoción 1966

Julio 1969

PARTE III

INVESTIGACION EN LAGUNA EXPERIMENTAL

Pág.

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 desague	
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

	Pág.
18.- DISCUSION GENERAL.....	190
19.- CONCLUSIONES.....	202
20.- BIBLIOGRAFIA.....	205

LISTA DE GRAFICOS, CUADROS Y FIGURAS

GRAFICOS

- 1.- Censo Urbanización "Los Recaudadores".
- 2.- Distribución de casas según el N° de personas
- 3.- Distribución de BOD₅-desague crudo
- 4.- Desague crudo BOD₅ (probabilidades)
- 5.- Desague crudo, relación BOD₅ total-BOD₅ soluble
- 6.- Relación BOD₅-Turbidez (desague crudo)
- 7.- Efluente BOD₅ (550-600 Kg/Ha/día)
- 8.- Sólidos sedimentables.
- 9.- Coliformes-desague crudo
- 10.- Coliformes-efluente (550-603 Kg/Ha/día)
- 11.- Curva de llenado.
- 12.- Variación del BOD afluente y efluente
- 13.- Variación de la carga orgánica
- 14.- Registro del volumen de desague
- 15.- Carga orgánica acumulada.
- 16.- Variación de la temperatura del desague crudo y de la laguna
- 17.- Variación de pH del desague crudo y de la laguna.
- 18.- Variación del pH con la profundidad
- 19.- Eficiencia remoción BOD₅-período de retención.
- 20.- Comparativo eficiencia remoción BOD₅-período de re-

tención.

21.- Eficiencia remoción coliformes-radiación correlación tentativa.

I Temperaturas promedio mensuales 1930-1960.

II Temperaturas promedio mensuales 1968.

III Precipitación total mensual..

IV Humedad relativa promedio mensual.

V Horas de sol promedio mensuales.

VI Radiación solar promedio diario 1968. .

VII Radiación - Horas sol (correlación tentativa).

VIII Evaporación total mensual.

CUADROS

Pág.

- 1.- Experimento N° 1
- 2.- Experimento N° 2 .
- 3.- Experimento N° 3 .
- 4.- Experimento N° 4 .
- 5.- Experimento N° 5 .
- 6.- Experimento N° 6 .
- 7.- Resumen de experimentos.
- 8.- Comparativo de eficiencias.

FIGURAS

- 1.- Laguna de estabilización,
Urbanización "Los Recaudadores".
- 2.- Acumulación de lodo al final de
operación.

11. Sumario

La presente investigación se efectuó durante un año en las lagunas de estabilización que servían provisionalmente a la Urbanización " Los Recaudadores", en la ciudad de Lima.

El trabajo consistió en la aplicación de diferentes cargas orgánicas a la laguna, bajo diferentes condiciones ambientales, obteniéndose las respectivas eficiencias. Finalizándose el trabajo con la medida del lodo acumulado en el fondo.

Las cargas orgánicas empleadas como tratamiento primario fueron de 285 y de 550-603 Kg.BOD₅/Ha/día, no habiéndose encontrado una diferencia notable, en cuanto a eficiencia de remoción de BOD se refiere, ya que éstas fueron de 70 y de 68 % respectivamente, pero si hubo diferencia en cuanto a la emanación de olores desagradables los cuales se hicieron presentes para la operación con cargas de 550 y 603 kg.BOD₅/Ha./ día.

Para una diferencia de la temperatura de operación de la laguna de 9°C (28°C y 19°C) con cargas de alrededor de 600 Kg.BOD₅/Ha./día la eficiencia de remoción de BOD no fué afectada.

La medida de lodo dió una acumulación de

8 cm./año para una carga de operación de alrededor de 600 Kg.BOD₅/Ha./día.

Se halló una relación empírica entre la eficiencia de remoción de BOD y el período de retención, en base a los resultados obtenidos y a los publicados en el extranjero, con una validez para valores de R entre 5 y 25 días, cuya ecuación es la siguiente:

$$E = 65 + 0.48 R$$

E = Eficiencia de remoción
de BOD₅ (%)

R = Período de retención
(días)

Se dan elementos de diseño tales como cargas orgánicas y período de retención para lagunas primarias y período de retención para lagunas secundarias.

12. Introducción

En la actualidad en el país se diseñan lagunas de estabilización basadas en experiencias de otros países, pero no de acuerdo a nuestras condiciones. Además no se realiza ningún control de ellas y no se conocen sus eficiencias.

Por lo tanto es evidente la necesidad de conocer experimentalmente el comportamiento de las lagunas de estabilización para nuestras condiciones cli

matológicas y que nos permitan llegar a conclusiones y recomendaciones para su diseño.

13. Objetivos

La presente investigación fija los siguientes objetivos:

- Obtener eficiencias del tratamiento, para diferentes cargas orgánicas de trabajo, y para diferentes profundidades.
- Obtener criterios de diseño, mediante trabajos experimentales.

14. Zona Experimental.

Se escogió como zona experimental la planta provisional de tratamiento de desagües de la urbanización, de tipo residencial, " Los Recaudadores " , que trataban los desagües de 614 casas construídas por el Banco de la Nación. Del censo realizado se obtuvo como población total 3,216 habitantes, y un promedio de 5.7 pers./casa (no se incluyeron 45 casas por estar desocupadas), gráficos 1 y 2.

Las ventajas que ofrecía eran de encontrarse en construcción, siendo por lo tanto más viables las modificaciones y la cercanía al observatorio "Alexander Von Humboldt" de la Universidad Agraria para así

tener datos metereológicos de mayor confianza.

14.1. Descripción de la Planta.

La planta constaba de:

- Pozo húmedo con dos bombas sumergibles.
- Tanque Imhoff.
- Dos lagunas de estabilización : una pequeña de 2,900 m² y otra más grande de 4,060 m² de area de fondo que podían operar con profundidades de 0.70 y 1.23 m.

Las lagunas eran de taludes y fondo de tierra, el ingreso era por medio de una tubería sumergida y el efluente salía por una tubería de rebose.

Se disponía de tubería de "by-pass" para bombear el desagüe crudo a la laguna, prescindiéndose del tanque Imhoff y de un medidor Parshall instalado en el ingreso.

La laguna a la cual nos referiremos en la presente investigación será la pequeña de 2,900 m².

Un plano de la planta de tratamiento se adjunta en la figura 1.

14.2. Clima.

Lima está situada en la costa del Perú, a más o menos 12°05' de latitud Sur y 77° de longitud

Oeste y aproximadamente a 200 m. de altura sobre el nivel medio del mar.

Según la clasificación climática de Koppen, gran parte de la costa peruana, incluyendo Lima, es considerada como zona subtropical, (4 a 11 meses con temperatura mayores de 20°C y 1 a 8 meses con temperaturas entre 10°C y 20°C) con una temperatura media anual de 19.3°C y una oscilación de 9.7°C (promedio de 30 años, 1930-1960). Gráfico I y Gráfico II (1968).

Austin Miller (10) considera el clima de la costa peruana como de tipo Desértico-Caliente (menos de 250 mm. de precipitación anual y ningún mes con temperatura inferior a 5°C).

La zonificación climática que presenta el Atlas Geográfico y de Paisajes Peruanos elaborado por el Instituto Nacional de Planificación coincide con lo establecido por Koppen y Miller, pues también considera como Desierto Subtropical a toda la costa peruana salvo Tumbes y parte de Piura que los ubica como de clima semi-tropical y algunas pequeñas zonas aisladas que las define dentro del subtipo de Lomas.

Por su latitud, Lima debería tener temperaturas más altas, pero siendo la dirección predominan-

te de los vientos, la Oeste, y pasando ellos por so
bre una corriente marina fría, como es la corriente
"Peruana de Humboldt", al llegar a la costa refres
can el ambiente logrando una disminución de la tem-
peratura

Las máximas temperaturas se presentan duran-
te el mes de Febrero y las mínimas en Agosto. Sien-
do la variación de la temperatura relativamente pe-
queña, podemos distinguir únicamente dos estaciones:
invierno y verano.

Las masas de aire marítimas, al ponerse en
contacto con la tierra se calientan, disminuyendo de
esta forma su humedad relativa. Los vientos de tie
rra son descendentes y secos. Estas dos circunstan
cias junto con la alta presión atmosférica, hacen que
la precipitación sea escasa. Durante 30 años (1930-
1960) se registraron en Lima un promedio de únicamente
18.4 mm. de lluvia anuales; en el año de 1968 se
registró un total de 13.3 mm. de precipitación. Norma
lmente la máxima precipitación se presenta en el
mes de Julio y la mínima en Febrero y Marzo. Gráfi
co III.

Aún cuando la humedad relativa del aire de-
crece al llegar éste a tierra, ella se mantiene al-
ta debido a la gran estabilidad atmosférica que hay

en Lima, producto de la cercanía al llamado Anticiclón del Pacífico Sur.

La mayor sensación de frío en invierno y de más calor en verano es debida a la alta humedad relativa que alcanza, generalmente, sus máximos valores en Agosto y sus mínimos en Febrero y Marzo; el promedio durante el año es de 78.9 % (Datos de 30 años, 1930-1960). Gráfico IV. Esta alta humedad relativa produce nieblas bajas y nubes estratificadas durante casi todo el año.

De acuerdo a su latitud, Lima debería gozar de un promedio de 368 horas de sol mensuales, pero en realidad únicamente recibe un promedio de 145 (39.4 % del valor teórico). Gráfico V. Esto se debe a la capa de nubes que constantemente obstruye el paso de los rayos de sol. El máximo de horas de sol coincide con la época de verano (Marzo) y el mínimo con la de invierno (Julio).

A la nubosidad permanente se debe también que la radiación solar recibida de 193.1 cal./cm.²/día, sea reducida en comparación con la que teóricamente, por su latitud, le corresponde. Gráfico VI. En el Gráfico VII, se pretende encontrar una correlación entre el número de horas de sol y la radiación solar recibida.

En cuanto a la evaporación ella varía directamente con la temperatura y los vientos, é inversamente y en mayor proporción con la humedad relativa. De los gráficos Nos. IV y VIII se desprende que en 1968, época en que la humedad relativa se mantuvo durante todo el año por encima de los promedios, la evaporación disminuyó en sus promedios mensuales. La evaporación total durante el año de 1968 fué de : 915.0 mm. y el promedio total anual de 30 años (1930-1960) fué de 1,085 mm.

15. Descripción de la Investigación.

La investigación realizada ha sido dirigida principalmente hacia el empleo de una laguna (primaria); también se hicieron observaciones de otra laguna conectada en serie (secundaria) con aquella, pero no se reportan los resultados obtenidos por no ser confiables, dado el poco tiempo de observación a que fué sometida.

15.1. Operación.

La laguna fué operada a diferentes cargas orgánicas las cuales se obtuvieron variando el caudal de ingreso a la laguna, o sedimentando el desagüe; y esperando un tiempo prudencial

para su equilibrio.

15.1.1. Calidad del Desagüe.

El desagüe usado ha sido de tipo doméstico, sin ningún pretratamiento exceptuando la primera experiencia que fué hecha con desagüe sedimentado en el tanque Imhoff.

15.1.2. Cargas Orgánicas Aplicadas.

Las cargas orgánicas aplicadas en función de la "Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días" (BOD_5) y del área del espejo de agua de la laguna han sido de 262, 285, 550 y 603 Kg. BOD_5 /Ha./día (para expresar estas cargas con respecto al fondo y al nivel medio hay que multiplicarlas por 1.17 y 1.08, respectivamente).

La carga de 262 Kg. BOD_5 /Ha./día, que fué empleada en la primera experiencia, se obtuvo agregando a la laguna todo el caudal de desagüe previamente sedimentado en el tanque Imhoff.

La carga de 285 Kg. BOD_5 /Ha./día

se obtuvo agregando parte del caudal, sin ningún pretratamiento.

15.1.3. Profundidad.

La profundidad de operación de la laguna fué de 1.23 m. exceptuando el primer experimento (262 Kg.BOD₅/Ha./día) que fué de 0.70 m.

15.2. Trabajo Realizado

Comprende trabajo de campo y de laboratorio.

15.2.1. Trabajo de Campo

Este consistió en la operación de la planta, toma de muestras, análisis físico-químicos que por la naturaleza de los mismos requerían hacerse en el sitio observación de la apariencia de la laguna, olores desagradables y distancia hasta la que se percibían y medida de la acumulación de lodos en el fondo de la laguna al finalizar los experimentos.



TOMA DE MUESTRAS



LAGUNA EXPERIMENTAL



LIMPIEZA DE SOLIDOS FLOTANTES



MEDICION DE ESPESOR DE LODOS

15.2.2. Trabajo de Laboratorio

Comprendió la realización de los análisis físicos y químicos de las muestras de acuerdo a las normas descritas en el libro "Métodos Normales para el Examen de Aguas y Aguas de Deshecho", undécima edición.

16. Resultados Experimentales.

Como datos de interés podemos mencionar, en base a los análisis efectuados, los siguientes:

- El aporte de BOD_5 /pers./día fué de 60 grs, siendo el BOD_5 promedio de 283 mg./lt. con una desviación standard de 64, gráficos 3 y 4; del total del BOD_5 del desagüe crudo un 72 % era suspendido y el 28 % soluble, gráfico 5. En el gráfico 6, se presenta una correlación entre el BOD_5 crudo y la turbidez.
- Los sólidos sedimentables promedio en el desagüe crudo fueron de 5.2 ml./lt./hr. con una desviación standard de 1.4, gráfico 8.
- El número más probable de coliformes en el desagüe crudo fué de 69.5×10^6 /100 ml., con una desviación standard logarítmica de 0.30, gráfico 9.

El llenado de la laguna hasta alcanzar la profundidad de : 0.70 m. se hizo en 45 días, aunque teó-

ricamente se dió hacer en 3.2 días. Se ha graficado la nueva curva de incremento del nivel de agua y la curva teórica de llenado, gráfico 11, pudiendo notarse una gran diferencia en cuanto a las pendientes de las curvas, lo que nos indica la gran percolación que existió inicialmente. También se nota el cambio de pendiente de la curva de llenado indicándonos este hecho la saturación progresiva del sueño; se puede suponer que conforme aumenta el tiempo, esta curva tiende a ser paralela a la curva teórica. Esto se comprobó posteriormente cuando por razones de operación se disminuyó el tirante en la laguna y luego se la volvió a llenar.

Al cabo de tres meses de iniciada la operación la disminución del tirante al suspenderse el flujo, varió entre 1.6 y 2.5 cm./día, por razones de percolación y evaporación.

A continuación se describen y discuten los seis experimentos efectuados bajo diferentes condiciones de operación.

16.1. Experimento No. 1. Carga orgánica: 262 kg.BOD₅/Ha./día.

Profundidad : : 0.70 m.

Desagüe previamente sedimentado en tanque Imhoff.

Esta fué la primera experiencia realizada y fue hecha durante el mes de Setiembre de 1967. Cuadro 1.

La eficiencia en cuanto a remoción BOD₅ (afluente-efluente) fue de 59 %; en relación al afluente-efluente filtrado fué de 84.2 %, y la remoción de coliformes de 86.1 %. Los valores promedio de BOD₅ para el desagüe sedimentado, efluente y efluente filtrado fueron de 127, 52 y 20 mg./l respectivamente.

La temperatura de la laguna fué de 18.5°C y del ambiente de 14.1°C, el número de horas de sol fué de 3.4 horas/día.

El pH fué en promedio de 8.0; hubo presencia de oxígeno disuelto en el día, variando entre 3.5 y 8.8 miligramos por litro, obteniéndose en promedio 5.6 mg./l.

La coloración de la laguna fué verde, y no hubo emanaciones de olores desagradables.

Discusión.

Si bien la carga orgánica ha sido alta para una laguna facultativa, la eficiencia ha sido satisfactoria para un tratamiento secundario en laguna; igualmente la gran diferencia entre

la eficiencia del BOD₅ respecto al efluente y efluente filtrado (25 %) dice de la proliferación de algas (*). Pero por esto no podemos pensar que podría ser la carga más adecuada para la operación dado el poco tiempo de funcionamiento de la laguna, y como tal no había acumulación de lodo en el fondo, por lo que la demanda bioquímica del mismo era nula, favoreciendo así el funcionamiento. Otra causa que favoreció a la operación fué la percolación existente en un inicio que si bien no disminuyó la carga orgánica, si incrementó el período de retención.

Cabe mencionar que a la laguna se le sobrecargó agregando desagüe crudo (se estaba agregando desagüe sedimentado) pero manteniendo el mismo nivel con lo cual la carga prácticamente se duplicó; los efectos se hicieron sentir a los dos días con desprendimiento de olores desagradables, aparición de sólidos flotantes en cantidades mayores a las habidas anteriormente y disminución de la intensidad del color verde de la laguna haciéndose más claro. Si bien el

(*) Al filtrarse gran parte de las algas quedan retenidas en el filtro y como resultado hay menor consumo de oxígeno por respiración de las algas durante la incubación del BOD₅

efluente disminuyó en calidad respecto al BOD₅ la eficiencia se incremento en un 10 %, que se puede deber al aumento del BOD₅ del desagüe crudo.

16.2. Experimento No. 2. Carga orgánica: 603 Kg.BOD₅/Ha./día.

Profundidad : 1.23 m.

Desagüe crudo sin pretratamiento.

Esta experiencia se hizo durante los meses de Febrero y Marzo de 1968. Cuadro 2.

La eficiencia de remoción de BOD₅ (crudo-efluente) fué de 68 % y la de coliformes de 95.4 %. Los valores promedio de BOD₅ del desagüe crudo y efluente fueron de 247 y 80 mg./l respectivamente.

La temperatura de la laguna fué de 28.1°C y del ambiente de 21°C, el número de horas de sol fué de 8 horas por día.

El pH fué de 8.0; la presencia de oxígeno disuelto fué mínima salvo los dos primeros valores del cuadro, siendo el promedio de 0.8 mg./l.

La coloración de la laguna fué verde claro, medio transparente, prueba de ello son

los bajos valores de turbidez obtenidos para el efluente con respecto a experimentos posteriores.

Los sólidos flotantes en la laguna, si bien no representaron un problema, cubriendo un área que varió entre 30 y 75 m².

Hubo emanación de olores desagradables, que llegaron a percibirse hasta una distancia de 100 m.

Discusión.

Ha sido la carga más alta experimentada, coincidiendo su operación con las condiciones climatológicas con valores más altos que el promedio anual, con respecto a la insolación y la temperatura en la laguna.

La eficiencia ha sido satisfactoria para una laguna anaeróbica debido a las características de su funcionamiento: el oxígeno disuelto casi nulo y el desprendimiento de olores desagradables; sin embargo, la coloración verde claro de la misma, tal vez fué debida a la fuerte insolación.

La manera de evitar el desprendimiento de olores desagradables (H_2S en su mayor parte), es manteniendo las condiciones totalmente

aeróbicas o anaeróbicas; en este último caso, para que el sistema sea equilibrado es indispensable que no exista oxígeno libre en el medio en ningún momento pues es nocivo a la actividad metánica (2). Esta situación no ha ocurrido en este experimento, tal vez por motivo de la carga orgánica baja para una laguna anaeróbica, en relación a la insolación.

Se pensó que la laguna debería tener oxígeno disuelto en mayor cantidad, ya que la coloración verde, aunque no muy intensa indicaba la presencia de algas, por lo que se supuso que el tipo de éstas no eran de las que producen oxígeno en abundancia. Para descartar esta posibilidad se llenaron dos frascos del tipo de los usados para BOD, uno oscuro y el otro transparente, con efluente de la laguna de un contenido de 1.2 mg./l de oxígeno disuelto y colocándolos a la luz solar se midió el oxígeno al cabo de 3 horas, dando 18.3 mg./l el frasco transparente y 0.0 mg./l el oscuro con lo que descartó la hipótesis de que las algas existentes producían poco oxígeno.

Por lo anteriormente expuesto se podría suponer, que la razón de la anaerobiosis fué de-

bida a la gran demanda de oxígeno proveniente de la actividad bacteriana en la laguna, y a la demanda del lodo en el fondo, ambas incrementadas por razón de la carga orgánica y la temperatura.

Algunos investigadores, entre ellos Marais (9), consideran que las condiciones críticas de operación se presentan en verano por el incremento de la temperatura del lodo aumentando así su fermentación, y produciendo gases. Gran parte de estos gases escapan a la superficie, y el resto se introduce en el lodo produciendo su elevación lo que origina la formación de mantos, que se tornan anaeróbicos. Esta situación se nos ha presentado, pero de poca magnitud de tal modo que no ha representado un problema, tal vez porque las temperaturas alcanzadas son inferiores a las observadas por ellos.

16.3. Experimento No. 3. Carga orgánica: 550 Kg.BOD /Ha./
5
día.

Profundidad : 1.23 m.

Desagüe crudo sin pretratamiento.

Este experimento se hizo en el mes de Abril, durante 24 horas, cuadro No. 3, gráficos 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

La eficiencia de remoción de BOD₅ (crudo-efluente) fué de 61.5 %. Los valores promedio de BOD₅ del desagüe crudo y del efluente fueron de 262 y 101 mg./l, respectivamente.

La temperatura de la laguna fué de 24°C y del ambiente de 20.7°C, el número de horas de sol fue de 8.3 horas por día.

El pH fué de 7.5, siendo nula la presencia de oxígeno disuelto.

La coloración de la laguna fué verde claro.

Se percibieron olores desagradables hasta una distancia de 150 m.

La acumulación de sólidos flotantes cubrieron un área de 80 m.²

Discusión.

La variación del BOD₅ del desagüe crudo, gráfico 12 muestra una variación típica para aguas cloacales, yendo de un máximo de 336 mg./l, a un mínimo de 41 mg./l; el efluente de la laguna, gráfico 12 a diferencia del crudo, acusa una variación pequeña con un valor máximo de 123 mg./l y un mínimo de 87

mg./l. El mismo gráfico hace notar que entre la 1 y 5 horas el desagüe crudo tiene valores más bajos que el efluente, lo que teóricamente nos indica que podríamos "by-pass" el desagüe crudo, pero esto no es práctico o por lo menos en este caso.

La curva de variación de carga orgánico, gráfico 13 es del tipo de la de BOD₅ crudo, como era de esperarse, pero más pronunciada dado que ésta, es resultante del producto del BOD₅ por el caudal, gráfico 14. Asimismo, se ha dibujado la carga orgánica acumulada gráfico 15.

Las curvas de temperatura del desagüe crudo y del efluente, gráfico 16, tienen una tendencia similar, la temperatura del crudo, varió entre 23°C y 25°C mientras que la del efluente, entre 22.5°C y 26°C. La variación más marcada para el efluente, se debe a que éste es más sensible a las variaciones de insolación y enfriamiento, que el desagüe crudo por estar expuesto a la intemperie.

Respecto al oxígeno disuelto no se ha hecho gráfico alguno, por no tener ninguna significación, ya que en el desagüe crudo varió entre 0 y 2 mg./l y en el efluente su presencia fué nula.

Las variaciones de pH, gráfico 17, muestran para el desagüe crudo una variación entre 7.0

y 8.1, mientras que para el efluente de 7.2 á 7.7; algunos investigadores (13) han encontrado en el fondo, es decir en la zona que es anaeróbica o con muy poco oxígeno disuelto (caso nuestro por el comportamiento de la laguna) que la variación de pH es mínima. Esto se debe a que la actividad de las algas es prácticamente nula.

16.4. Experimento Nº 4. Carga orgánica: 285 Kg.BOD₅/Ha./ día.

Profundidad : 1.23 m.

Desagüe crudo sin pretratamiento.

Se hizo durante el mes de Julio de 1968.

Cuadro 4.

La eficiencia de remoción de BOD₅ con respecto al crudo efluente, fué de 70 %, en relación al crudo efluente filtrado, de 82 %; y la remoción de coliformes de 89.1 %. Los valores promedio de BOD₅ del desagüe crudo, efluente y efluente filtrado fueron de 289, 86 y 53 mg./l, respectivamente.

La temperatura de la laguna fué de 18°C y del ambiente de 14°C; el número de horas de sol fué de 4.0 horas por día.

El pH fué en promedio de 7.8; la presencia de oxígeno disuelto varió entre 0.0 mg./l en las

primeras observaciones hasta un máximo de 8.6 mg./l, prescindiendo de estos valores da un promedio de 2 mg./l.

La coloración de la laguna varió entre marrón claro y verde no muy intenso.

La acumulación de sólidos flotantes en la laguna varió de un máximo de 26 m² a un mínimo de 5m².

No se percibieron emanaciones de olores desagradables.

Discusión.

Esta ha sido la carga más baja de operación con desagüe crudo y la temperatura promedio en la laguna ha sido la más baja registrada en la presente investigación.

La eficiencia ha sido satisfactoria, pero se esperaba que hubiera sido mayor, dados los resultados obtenidos en experiencias anteriores con cargas más altas (603 Kg.BOD₅/Ha./día). Lo que debemos hacer notar es que no hubo emanación de olores desagradables, característica estética, que en algunos casos puede ser importante.

La acumulación de sólidos flotantes fué mínima, la más baja registrada durante la investigación, esto podría asociarse a la baja temperatura

(*), y a la carga orgánica más baja.

Por la forma como ha respondido la laguna a la carga aplicada, variando el color de la laguna en forma alternada entre el verde y el marrón y el contenido de oxígeno disuelto en pequeña cantidad, se piensa que ésta sea la carga que se encuentra entre la operación en forma anaerobia y facultativa bajo las condiciones climatológicas observadas.

16.5. Experimento No. 5. Carga orgánica: 550 Kg.BOD₅/Ha./ día.

Profundidad : 1.23 m.

Desagüe crudo sin pretratamiento.

Este experimento se hizo durante el mes de Agosto de 1968, Cuadro No. 5.

La eficiencia de remoción de BOD₅, respecto al crudo efluente fué de 68 % y en relación al crudo-efluente filtrado de 79 %, la remoción de coliformes fué de 76 %. Los valores promedio de BOD₅ del desagüe crudo, efluente y efluente filtrado fueron de: 340, 108 y 70 mg./l, respectivamente.

La temperatura en la laguna fué de 18.7°C y del ambiente de 14.5°C, el número de horas de sol fue de 2.8 horas por día y la radiación de 132 cal/

(*) Ver experimento No 2, último párrafo.

cm.²/día.

El valor del pH fué, en promedio de 7.9; el oxígeno disuelto fué prácticamente nulo, salvo las dos primeras observaciones.

La coloración de la laguna fue marrón claro.

Las acumulaciones de sólidos flotantes variaron de un máximo de 75 m². a un mínimo de 15 m².

Se percibió emanaciones de olores desagradables hasta una distancia de 150 m.

Discusión.

Esta experiencia es una versión del Experimento No. 2 (603 kg.BOD₅/Ha./día) en condiciones de temperatura e insolación más bajas, por lo que en la discusión nos referiremos a ese experimento.

La temperatura fué menor en 9°C y la insolación también menor en 5 horas por día; pese a esta situación la eficiencia de remoción de BOD₅ no fué alterada pues permaneció en 68 %; con respecto a los sólidos flotantes, si bien el límite inferior del área cubierta disminuyó (15 m²), para consideraciones prácticas no cambió; donde si hubo diferencia es en la remoción de coliformes la cual disminuyó en 14 %.

El motivo por el cual no hubo diferencia en cuanto a la remoción de BOD_5 , podría ser debido a la temperatura, ya que la velocidad de reacción del proceso sigue la Ley de Van't Hoff Arrhenius, es decir, es una función exponencial de la temperatura. Esto aparentemente sería motivo para que la diferencia fuera mayor, pero siempre y cuando la descomposición del lodo no ejerciera ningún efecto.

La acción de la temperatura hace su efecto en dos zonas de la laguna: en la laguna propiamente dicha y en el fondo (lodo). Si bien, la variación de la temperatura disminuye en mayor o menor cantidad la carga orgánica en la laguna, en el fondo ocurre todo lo contrario, ya que al elevarse la temperatura aumenta la descomposición del lodo, incrementándose los productos que resultan del proceso, los cuales se solubilizan aumentando la carga orgánica. Se produce así una compensación entre la laguna y el lodo, razón por la cual las variaciones de temperatura podrían no sentirse en cuanto a eficiencia de BOD. Esto deberá tomarse con ciertas limitaciones ya que en otros rangos de temperatura el efecto podría ser diferente.

Los factores que pueden haber determinado la disminución de la eficiencia en la remoción de coli-

formas son: en el experimento No. 2 (603 Kg.BOD₅/Ha/día) hubo una ligera producción de algas debido a la fuerte insolación, y es posible que la destrucción de coliformes sea debido a la producción de sustancias antibióticas por las algas (3). El otro factor podría ser la disminución de la radiación total que incidió en la laguna, es decir la radiación diaria multiplicada por el período de retención lo cual da, para el Experimento No. 2, 1210 cal/cm.2 y para el No. 5, 920 cal/cm²; en este sentido Gameson y Saxton (5) han encontrado en experimentos, en los que mezclaron desagüe y agua de mar sometiéndolos a la radiación solar, que la concentración de coliformes decrece con la radiación acumulada.

Con los datos obtenidos en nuestros experimentos, se ha hecho una correlación tentativa de radiación con eficiencia de remoción de coliformes, gráfico 21.

16.6. Experimento No. 6. Carga orgánica: 600 Kg.BOD₅/Ha./día.

Profundidad : 1.23 m.

Desagüe crudo sin pretratamiento.

Se hizo en el mes de Agosto durante 13 horas, cuadro No. 6.

La eficiencia de BOD₅ (crudo-efluente) fue de 68 %. Los valores promedio de BOD₅ del desagüe crudo y efluente fueron de 282 y 90 mg./l, respectivamente.

La temperatura de la laguna fué de 18.4°C.

El pH promedio fué de 7.9; el contenido de oxígeno disuelto fué nulo.

La coloración de la laguna fué marrón claro.

La acumulación de sólidos flotantes cubrió un área de 35 m².

Se percibieron emanaciones de olores desagradables hasta una distancia de 150 m.

Discusión.

Los resultados de este Experimento son similares a los del Experimento No. 5, como era de esperarse, ya que es su continuación, por lo tanto su discusión está expresada en el experimento mencionado.

Se hicieron determinaciones del pH a diferentes profundidades, gráfico No. 18, variando de 7.7 a 0.10 m. de profundidad a 7.55 a la profundidad de 1.00 m. Esta variación se debe a la mayor producción de CO₂, a medida que se acerca al fondo, por efecto de la descomposición del lodo.

17. Acumulación de Lodos.

Se hizo al cabo de 13 meses de iniciada la operación de la laguna, habiendo trabajado en forma efectiva durante 10 meses. En este tiempo (10 meses) hubieron oportunidades en las que no se introducía todo el gasto a la laguna, con la finalidad de disminuir la carga orgánica de operación, por lo que para consideración del aporte de la población total es decir suponiendo que se trabaje con todo el caudal, se admitira como un aporte de toda la población durante 8 meses.

El procedimiento empleado fué el siguiente: una vez vaciado el líquido (coincidió con la puesta fuera de operación de la planta), lo cual se hizo lentamente para evitar el posible arrastre del lodo, se hizo un levantamiento topográfico del fondo de la laguna para ubicar puntos y medir el espesor del lodo en forma directa.

El espesor del lodo encontrado varió de un máximo de 50 cms. en el punto de descarga, a un mínimo de 2 cms. en otros puntos de la laguna.

Con los datos obtenidos de las profundidades del lodo se ha dibujado curvas a nivel, figura No, 2, notándose que la mayor acumulación se encuentra en la zona de descarga y en las dos esquinas próximas a la

tubería de ingreso; esto es lógico puesto que el mate rial grueso sedimenta justamente en el punto de descarga, y además la acción del viento que si bien no tiene capacidad para arrastrar el lodo del fondo, moviliza hacia las esquinas los sólidos flotantes los cuales en un momento dado precipitan.

En base a las curvas de nivel hallados se calculó el volúmen de lodo por tres métodos diferentes ; los resultados obtenidos diferían muy poco entre ellos, dando un volúmen de 153 m³, el que traducido en espe sor, es decir, suponiendo uniformemente distribuído en el fondo de la laguna, arrojó 5.3 cms.

Se notó que la calidad del lodo era de dos tipos: el encontrado cerca a la descarga era gruesa, no uniforme y el que cubría la mayor parte de la lagu na era homogéneo, fino y de un color marrón.

Los análisis de lodo arrojaron los siguientes resultados:

- Contenido de humedad : 79 %
- Contenido de material volátil: 49 %

Discusión:

La medida del lodo se hizo al cabo de 8 meses efectivos, dando un espesor de 5.3 cm. por lo que podríamos predecir que al cabo de un año sería aproxima

damente de 8 cm. (72 lt/pers/año) esto es asumiendo una acumulación proporcional al tiempo. Indudablemente el fenómeno no ocurre así, porque la velocidad de acumulación va decreciendo con el tiempo por razones de consolidación y descomposición. Por este motivo parecería que la estimación podría ser en demasía, pero ésta se compensa con el hecho de haber considerado 8 meses de aporte de lodo pero hubo 12 meses de digestión (descontando el 1er. mes de operación por la poca cantidad de lodo acumulado).

Este valor no difiere mucho del que se podría haber calculado con la cifra proporcionada por Imhoff y Fair (7) de $9 \text{ pies}^3/1000 \text{ pers./día}$ ($255/1\text{t}/1000 \text{ pers./día}$) para lodo digerido proveniente de tratamiento primario con un contenido de sólidos de 13 %, el cual corregido para el valor obtenido por nosotros de 21 % (humedad 79 %) daría $0.18 \text{ lt/pers./día}$, el cual relacionado a la población y al área de fondo se traduciría en una altura de 6.6 cm.

El contenido de material volátil del lodo indica que ya estaba digerido. Es de hacer notar que había un pequeño sector junto a la descarga (lodo grueso no uniforme) que de acuerdo al contenido de materia volátil no se encontraba digerido (65 %). Esto podría deberse a la calidad de dicho material, y además que

este lodo era de acumulación más reciente (por su ubi
cación junto a la descarga).

Con relación al contenido de humedad del lodo nos sorprendió el valor bajo (79 %) encontrado pero posteriormente revisando literatura al respecto ha
llamos que, Bloodgood (1) y Finch (4) encontraron lodos con una humedad de 75 % y 70 % respectivamente, pa
ra períodos de retención de 18 y 24 meses, en lagunas empleadas para la digestión de lodos exclusivamente.

El bajo contenido de humedad se puede explicar de la siguiente manera, ya que, por efecto de di
gestión solamente es difícil llegar a ese contenido de humedad: inicialmente en la laguna hay una fuerte per
colación lo que posteriormente va disminuyendo confor
me se va saturando el suelo y obturando los poros el lodo, más tarde por efecto de la carga de agua, pene
tra agua en el lodo produciéndose una especie de lava
do del mismo, disminuyendo así el volúmen por consoli
dación; el agua del lodo por efecto de la digestión e infiltración va desocupando el lodo llegando así el contenido de humedad tan bajo.

18. Discusión General.

Los experimentos de acuerdo a la forma como se operó la laguna puede dividirse en: tratamiento

primario, experimentos del Nos. 2 al No. 6 (285-603 Kg.BOD₅/Ha./Día) y tratamiento secundario, experimento No. 1 (262 Kg./Ha./día); los resúmenes se adjuntan en el cuadro No. 7.

La eficiencia como tratamiento secundario ha sido satisfactorio con las limitaciones expresadas en la discusión del Experimento No. 1. No está demás afirmar que el uso de lagunas como tratamiento posterior, al primario en tanque Imhoff no es conveniente por el costo de este último, y además por la eficiencia del mismo, como ejemplo en nuestro caso la eficiencia de las dos unidades, tanque Imhoff y laguna fué de 71 %, comparando este valor con el 68 % de eficiencia obtenido utilizando únicamente laguna vemos que el proceso prácticamente no ha mejorado. Esto podría explicarse de la siguiente manera, el tanque Imhoff es un sedimentador y un digestor, requiere lechos de secado para la disposición final del lodo, mientras que en la laguna todos estos procesos están juntos, con la consiguiente economía y como vemos la eficiencia no es mayormente afectada.

Como tratamiento primario la variación de la eficiencia en relación a las diferentes cargas operadas entre 285 y 603 Kg.BOD₅/Ha./día ha sido poco significativa, de 68 % a 70 %, en lo que sí hubo diferen-

cia es en cuanto a consideraciones estéticas, es decir, la producción de olores que hubieron en la operación con cargas altas.

Para efecto de comparación respecto a las eficiencias tenemos que, Cuadro No. 8, para carga de 285 Kg.BOD₅/Ha./día, hay una eficiencia en relación al BOD₅ suspendido de 81.8 % y éste significa en relación al BOD₅ total un 58.9 %, mientras que para la carga de 550 Kg.BOD₅/Ha./día, la remoción de BOD₅ suspendida es de 84 % y significa en relación al BOD₅ total 59.1 %.

De lo expuesto podemos apreciar que la eficiencia de remoción de BOD₅ suspendido relacionado al BOD₅ total es del orden del 59 % para ambos casos, pese a que, el período de retención ha sido diferente, 11.5 y 7 días para 285 y 550 Kg. BOD₅/Ha./día, respectivamente. Se puede afirmar que la remoción del BOD₅ suspendido, se hace por sedimentación y por oxidación biológica, lo que no se pudo determinar es el orden de magnitud de cada una de ellas. Pese al admitir que la mayor parte de esta remoción sea por sedimentación, es considerar un valor muy alto (alrededor de un 35 % es posible eliminarse por sedimentación pura); pero debemos pensar que en la laguna hay también un proceso de floculación por acción biológica y del viento, que podría tener algún efecto dado el período de retención;

algo que también hace pensar que sea la mayor parte por sedimentación es el hecho de no variar este porcentaje de remoción (59 %) dentro de los diferentes período de retención, 11.5, 7 días, lo que nos indicaría que la sedimentación ha llegado a su máximo dentro del período de retención más corto, (7 días) no incrementándose posteriormente.

En cuanto a remoción de BOD_5 soluble, que en todo tipo de tratamiento es el más difícil de eliminar, hay para 285 Kg. BOD_5 /Ha./día una remoción de 40.6 % del BOD_5 soluble significando en el total el 11.3 %, y para 550 Kg. BOD_5 /Ha./día una remoción de 30 % significando al total 8.9 %. Si bien hay una diferencia de 10 % en cuanto a remoción de BOD_5 soluble, éste sólo se traduce en 2.4 % en relación al total por el porcentaje de BOD_5 soluble en el desagüe crudo (28 %). Este incremento de eficiencia (2.4 %) relacionado con la diferencia del período de retención (4.5 días) se traduce en una relación de 0.53 %/día de eficiencia, esto se discutirá más adelante cuando se trate de relacionar eficiencia con período de retención.

En relación al efecto de la temperatura para las cargas entre 550 y 603 Kg. BOD_5 /Ha./día que para efectos prácticos se pueden considerar las mismas, no hubo efecto en la eficiencia de BOD_5 , gráficos Nos. 4

y 7 (probabilidades del desagüe crudo y efluente) pese a una variación de temperatura de 9°C (discutido Experimento No.5). En lo que sí hubo efecto de la temperatura fué en la cantidad de sólidos flotantes , ya que en las temperaturas más altas obtenidas (28°C), la acumulación fué mayor por razón del incremento de la fermentación en el fondo (discusión Experimento No. 5), no significando esto un problema.

Se ha tratado de encontrar una solución entre la eficiencia de BOD₅ y el período de retención para lo cual se han graficado los resultados obtenidos por nosotros, y de otros investigadores, gráfico 19. Datos del Perú se han tomado los obtenidos en los Recaudadores; Ventanilla situada al Norte en el Departamento de Lima; y de San Juan situada al Sur en el Departamento de Lima, el cual ha sido reportado por el Ing. Vincés (12). Datos extranjeros se han tomado de experiencias en Mississippi (13); Pretoria (11), (8); Lusaka (9) y Rhodesia (8). Del gráfico se observa que si bien es notorio un incremento de la eficiencia al aumentar el período de retención, no es así en cuanto a las cargas orgánicas se refiere (cifras al lado de cada punto) ya que al disminuir las cargas la eficiencia no se incrementa en forma uniforme (dispersión

de las cifras); esto podría indicarnos la mayor importancia del período de retención sobre la carga orgánica, pese a que ambas están relacionadas por la ecuación 1; pudiéndose dar el caso que haya igualdad de carga orgánica, pero los períodos de retención ser diferentes, por razón de dilución del desagüe es decir un mayor o menor BOD.

c = carga orgánica (Kg. BOD₅/
Ha./día.

BOD = Demanda bioquímica O₂ al
5to. día.

$$C = \frac{\text{BOD} \times h \times 10}{R} \quad (1)$$

h = profundidad de laguna
(m)

R = período de retención
(días).

También se trató de comparar la curva trazada con los datos anteriores, con la resultante de experiencias de laboratorio de Gloyna y Suwannakarn (6), de éstas se han utilizado las correspondientes a 20°C; y con la curva teórica resultante de la ecuación planteada por Marais (8), ecuación 8 de este informe, las cuales son mostradas en el gráfico 20.

De la curva 1 que es la de resultados en lagunas (no en Laboratorio) se pueden apreciar dos tramos : el inicial (0 - 5 días) de tipo logaritmico, con un fuerte incremento de eficiencia al incrementarse el

período de retención; y el tramo siguiente al anterior (5 - 26 días) que para fines prácticos se puede asimilar a una función lineal, con esta consideración podríamos establecer una ecuación que tendría una validez para un período de retención (R) mayor de 5 días y menor de 26 días, que es hasta donde se extiende el período, y sería:

$$E = 65 + 0.48R \quad (2)$$

E = eficiencia (%)
R = período de retención
(días).

Analizando el término E (eficiencia) tenemos que:

$$E = \frac{P_o - P}{P_o} \quad \text{-----} (3)$$

$P_o = \text{BOD}_5 \text{ afluente (mg./l)}$
 $P = \text{BOD}_5 \text{ efluente (mg./l)}$

esto nos indica que el término E es la fracción de BOD₅ eliminada, pudiéndose entonces interpretar la curva así: que la rata de eliminación va disminuyendo conforme aumenta la fracción $(P_o - P) / P_o$ (fracción eliminada), con lo que podríamos estar en una ecuación de 1er. orden similar a la hasta ahora admitida por BOD.

Con lo arriba planteado se trató de linealizar las curvas 1 y 2, para lo cual se gráfícó en escala logarítmica los valores de P/P_o (fracción remanente) y período de retención en escala aritmética dando

para la curva 1 la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{P_0} = 10^{-0.147R} \quad \text{-----} \quad (4)$$

la cual puesta en términos de E (eficiencia) será:

$$E = 100 (1 - 10^{-0.147R}) \quad \text{-----} \quad (5)$$

y para la curva 2 (Laboratorio, Gloyna-Suwannakarn)

$$\frac{P}{P_0} = 10^{-0.115R} \quad \text{-----} \quad (6)$$

siendo expresada en términos de E como:

$$E = 100 (1 - 10^{-0.115R}) \quad \text{-----} \quad (7)$$

Si bien las dos ecuaciones tienen características semejantes, siendo para la curva 1 la eficiencia mayor, los tramos de validez para ambas ecuaciones son notablemente diferentes, mientras que la ecuación para la curva 1 tiene una validez hasta 3 días, para la ecuación de la curva 2 el tramo de validez es hasta los 15 días. Las razones de estas diferencias no se pueden precisar, tal vez podría deberse a las diferentes condiciones de operación, tales como temperatura e iluminación controlada para el experimento que da lugar a curva 2, y al tipo de desagüe, Gloyna y

Suwannakarn trabajaron con desagüe sintético mezclado con aguas negras.

La curva teórica (curva 3) planteada por Marais tiene un planteamiento lógico y matemático, que resume todas las variables que intervienen en el proceso por medio de una constante K, siendo ésta la siguiente:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{KR + 1}$$

----- (8)

P_0 = BOD₅ afluente (mg./l)

P = BOD₅ efluente (mg./l)

R = retención (días)

K = constante, da como valor
0.17 (Marais).

la cual puesta en términos de eficiencia es:

$$E = 100 \left(\frac{KR}{KR + 1} \right) \text{ ---- (9)}$$

Así vemos, gráfico 20, que para la curva 1, (experimental) respecto a curva 3 (teórica Marais), da un exceso de 6 % para retención de 10 días y de un 3 % por defecto para 25 días pasando por los valores intermedios dentro de los períodos de retención enunciados, con lo dicho podríamos afirmar que la validez de la curva de Marais se extiende para períodos de re

tención mayores de 10 días.

Marais toma un valor de $K = 0.17$ diciendo que es un valor conservativo y constante, esto se justifica para fines prácticos, en períodos de retención mayores de 10 días. Para períodos de retención menores, podremos afirmar que el valor de K es variable, graficando en papel aritmético los valores de P_0/P y R de la curva para períodos de retención entre 0 - 5 días, para aplicar la siguiente ecuación (inversa de ecuación 8).

$$\frac{P_0}{P} = KR + 1 \quad \text{----- (10)}$$

Esto nos dió como valor de tipo tentativo para K de 0.45. En el tramo de 5 - 10 días este valor va disminuyendo para seguir tiempo después, como aproximadamente $K = 0.17$.

De lo expuesto podríamos resumir que la ecuación de Marais dentro de 0 - 5 días de período de retención funciona con un valor de $K = 0.45$, y dentro de 10 - 25 días con $K = 0.17$; mientras que la fórmula empírica planteada por nosotros es válida para una retención mayor de 5 días y menor de 25 días.

Con respecto a remoción de coliformes hubo una eficiencia promedio de 93 % entre las cargas de 550 y 603 Kg.BOD₅/Ha./día (Probabilidades del desagüe

crudo y efluente, gráficos 9 y 10) y de 89 % para 285 Kg.BOD₅/Ha./día, pese a no haber suficientes datos como para intentar hacer alguna relación, en forma tentativa hemos correlacionado la remoción de coliformes con la radiación acumulada (Ver discusión Experimento N^o 5) gráfico 21. Esta correlación es discutible, pero si admitimos que las demás causas, que pueden dar motivo a la mortalidad de coliformes, han permanecido constantes tales como: acción de bacteriófagos y microorganismos antagónicos, sustancias antibióticas, etc. lo que más ha variado ha sido la radiación solar gráfico VI, razón por la cual puede tener significado dicha correlación.

De acuerdo a las experiencias por nosotros realizadas podemos afirmar que las cargas de 550 y 603 Kg.BOD₅/Ha./día han sido bajas para lagunas anaeróbicas, lo mismo que la profundidad, por lo que suponemos el proceso mejore, es decir se lleve a cabo la fermentación metánica aumentando la carga, entre 800 y 1,000 Kg.BOD₅/Ha./día y la profundidad entre 2.00 y 2.50 m. teniendo siempre en cuenta períodos de retención no menores de 4 días ni mayores de 6 (Ver gráfico 19). Se hace notar que el período de retención se mantiene dentro de los experimentados (cargas alrededor de 600 Kg.BOD₅/Ha./día, pese que al elevarse la

carga la retención debería disminuir, pero esto es com
pensado por el aumento de la profundidad, que favorece también el proceso anaeróbico. Debe tenerse en cuenta que para lagunas anaeróbicas el criterio de di
seño en base a la carga superficial no es muy signifi
cativa dado que éstas funciones como un digestor siendo
do más importante en el diseño el período de retención.

Para lagunas facultativas el proceso también mejoraría usando cargas que oscilen entre 150 y 200 Kg.BOD₅/Ha./día con profundidad entre 1.20 y 1.80 m. y con períodos de retención entre 15 y 25 días (Ver gráfico No. 19). Esto es suponiendo que estas traba
jen como lagunas primarias, es decir sin pretratamien
to, ya sea en lagunas anaeróbicas o facultativas. Para lagunas secundarias se recomienda que el diseño sea hecho con las consideraciones de profundidad dadas an
teriormente (1.20 - 1.80 m.) y períodos de retención de 8 días.

En lo que respecta al tipo de algas encontra
das en la laguna éstas han sido clorofíceas y de los siguientes géneros:

Chlorella

Euglena

Chlorococcum

Chlamydomonas

Lepocinclis

Ankistrodesmus

notándose una predominancia de chlorellas y euglenas sobre las demás.

En todas las observaciones que se hicieron del efluente se encontraron algas, a pesar de que por la coloración se podía pensar lo contrario. La pequeña concentración de algas, en algunos casos ⁱⁿsignificante, estuvo asociada a las mayores cargas orgánicas de operación.

19. Conclusiones y Recomendaciones.

1. Trabajando la laguna como primaria y con una carga orgánica de 285 Kg./BOD₅/Ha./día se obtuvo una eficiencia de remoción de BOD de 70 %.

2. Trabajando la laguna como primaria y con cargas orgánicas de 550 y 603 Kg.BOD₅/Ha./día, se obtuvo una eficiencia de remoción de BOD de 68 %.

3. Trabajando la laguna como secundaria luego de un tratamiento primario en tanque Imhoff y con una carga orgánica de 262 Kg.BOD₅/Ha./día, se obtuvo una eficiencia de remoción de BOD de 59 %.

4. Para las cargas de 285 y 603 Kg /BOD₅/Ha/día, no hubo diferencia significativa en relación a la eficiencia de remoción de BOD.

5. Se estima que la carga de 285 Kg.BOD₅/Ha./día, trabajando la laguna como primaria, sea el límite de la operación sin emanación de olores desagradables.

6. Para una diferencia de 9°C (28°C y 19°C) en la temperatura de operación de la laguna, con cargas de alrededor de 600 Kg.BOD₅/Ha./día no hubo diferencia en cuanto a remoción de BOD, siendo esta de 68%

7. Se estima que la acumulación de lodos en la laguna, trabajando con cargas de alrededor de 600 Kg. BOD₅/Ha./día de 8 cm. por año, lo que equivale a 72 lt./per./año.

8. Se encontró un aporte de BOD₅ por persona y por día de 60 grs.

9. Para el diseño de lagunas primarias se recomienda lo siguiente:

- Lagunas anaeróbicas: carga entre 800 - 1000 Kg.BOD₅/Ha./día, con períodos de retención entre 4 y 6 días y profundidad entre 2.00 y 2.50 m.

- Lagunas facultativas: carga entre 150-200 Kg.BOD₅/Ha./día, con períodos de retención entre 15 y 25 días y profundidad entre 1.20 y 1.80 m.

10. Para el diseño de lagunas secundarias se

recomienda lo siguiente:

- Lagunas facultativas: período de retención de 8 días, y profundidad entre 1.20 - 1.80 m.

11. Se plantea la siguiente fórmula para el cálculo de eficiencia de remoción de BOD, válida para períodos de retención entre 5 y 25 días.

$$E = 65 + 0.48 R$$

20.-BIBLIOGRAFIA

- (1) Bloodgood Don E. Sludge Lagooning. Water Sewage Works Set. 1947. Vol 94, N° 1, Pág. R-231.
- (2) Branco Murgel Samuel Informe sobre las actividades realizadas en el Perú para la O.P.S., 1968.
- (3) Fair & Geyer Water Supply and Waste Water Disposal Pág. 853.
- (4) Finch John Sludge Treatment and disposal reviewed in British Report. Water Sewage Works Abril 1955, Vol. 102, N° 1, Pág. 180.
- (5) Gameson A.L.H. & Saxon J.R. Field Studies on effect of day light on mortality of coliform bacteria. Water Research, vol. 1, N- 4, Abril 1967.
- (6) Gloyna Earnest & Suwannakarn Verachai Efecto de la temperatura en el tratamiento de aguas residuales mediante estanques de estabilización. Boletín de la O.P.S., Febrero 1964.
- (7) Imhoff Karl & Fair Gordon Sewage Treatment. Pág. 853.
- (8) Marais G.V.R. A rational theory for the design of sewage stabilization ponds in tropical and subtropical areas.
- (9) Marais G.V.R. New factors in the design operation and performance of waste stabilization ponds.

- (10) Miller Austin Climatología
- (11) Shaw V.A.; Meiring . .
P.G.J. Eck H. Van. Preliminary results of research
on raw sewage stabilization
ponds.
CSIR Research Report N° 189, Pre-
toria 1962.
- (12) Vences Araoz Alejandro Lagunas de Estabilización de
San Juan. Curso sobre Lagunas
de Estabilización, O.P.S., Fa-
cultad de Ingeniería Sanitaria,
Universidad Nacional de Ingenie-
ría, Julio 1967, pág. 147-150.
- (13) Williford Howard K. &
Middlebrooks E. Joe Perfomance of field-scale facul
tative waste water treatment
lagoons. Journal W.P.C.F. Diciem-
bre 1967, Vol 39, N° 12.