

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA SANITARIA

PROYECTO TESIS DE GRADO

TEMA

**LAGUNAS DE OXIDACION PARA LA
CIUDAD DE NAZCA**

PRESENTADA POR: JAIME SALCEDO LOBATON

**BACHILLER DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA SANITARIA**

**PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO SANITARIO**

PROMOCION 1965

LIMA - PERU

PROGRAMA DEL PROYECTO DE TESIS DE GRADO

TEMA

LAGUNAS DE OXIDACION PARA LA CIUDAD DE NAZCA

A.- Introducción.

B.- Teoría general.

1.- Definición.

2.- Clasificación de las lagunas de oxidación.

3.- Origen de las lagunas de oxidación.

4.- Mecanismo del proceso de estabilización.

4.1.- Estudio de bacterias.

4.1.1.- Definición de bacterias.

4.1.2.- Clasificación de las bacterias desde el punto de vista sanitario.

4.1.3.- Acción de las bacterias en la descomposición de la materia orgánica.

4.2.- Estudio de algas.

4.2.2.- Definición de algas.

4.2.2.- Importancia e inconveniencia de las algas.

4.2.3.- Clasificación de las algas.

4.2.4.- Acción de las algas en el tratamiento de las aguas negras.

4.3.- Estudio de la energía solar.

4.3.1.- Utilización de la energía solar en las lagunas de estabilización (Fotosíntesis).

4.3.2.- Cantidad de oxígeno liberado por las algas en el fenómeno de la fotosíntesis y eficiencia fotosintética.

4.3.3.- Cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica y eficiencia fotosintética crítica.

5.-Criterios para el diseño de lagunas de oxidación.

5.1.- Periodo de detención.

5.1.1.- Discusión de los factores en el diseño de la ecuación.

5.1.1.1.- Profundidad.

5.1.1.2.- Iluminación incidente.

5.1.1.3.- Coeficiente de absorción.

5.1.1.4.- Concentración de algas.

5.1.1.5.- Temperatura específica de combustión.

5.1.1.6.- Razón de oxígeno a alga en peso.

5.1.1.7.- Demanda bioquímica de oxígeno.

5.1.1.8.- Coeficiente de temperatura.

5.1.1.9.- Energía solar.

5.1.1.10.- Eficiencia fotosintética aparente.

5.2.- Carga superficial.

6.- Factores que afectan el funcionamiento adecuado de una laguna de oxidación.

6.1.- Ubicación.

6.2.- Forma

6.3.- Número de unidades.

6.4.- Dikes.

6.5.- Fondo de la laguna.

6.6.- Ingreso a la laguna.

6.7.- Salida de la laguna.

6.8.- Problemas de mantenimiento de una laguna.

6.9.- Nubosidad.

6.10.- Precipitación.

6.11.- Vientos reinantes.

7.- Pre-tratamiento.

8.- Recirculación.

C.- Experimentos en plantas pilotos en Richmond-California.

1.- Experimentos en plantas pilotos en Richmond-California.

2.- Experimentos en plantas pilotos en Córdoba-Argentina.

D.- Conclusiones generales.

E.- Diseño de las lagunas de oxidación para la ciudad de Nazca.

1.- Datos.

1.1.- Gasto máximo diario futuro del desagüe.

1.2.- Análisis del desagüe.

1.3.- Datos climatológicos y geográficos.

2.- Solución.

2.1.- Cálculo de la profundidad.

2.1.1.- Concentración de algas.

2.1.2.- Coeficiente de absorción.

2.1.3.- Iluminación incidente.

3.1.- Cálculo del periodo de detención.

4.1.- Cálculo de la carga de B.O.D.

5.1.- Cálculo del volumen de la laguna.

6.1.- Cálculo del área de la laguna.

7.1.- Número de unidades.

F.- Diseño del medidor Parshall.

G.- Diseño de la cámara de rejas.

H.- Diseño del canal distribuidor.

I.- Disposición final del efluente.

LAGUNAS DE OXIDACION

A.- INTRODUCCION

La descarga adecuada de las aguas negras domésticas e industriales es uno de los problemas más grandes de la Ingeniería Sanitaria. La descarga indiscriminada a los cursos de agua, en cantidades superiores a su capacidad de autopurificación respectiva, causa problemas de orden sanitario y estético.

Hasta ahora, la descarga de las aguas negras se hace en forma incontrolada a los cursos de aguas naturales más cercanos, sin tomar en cuenta las poblaciones ubicadas aguas abajo o la posibilidad de contacto directo con personas o animales. Esta situación es gravísima, ya que el crecimiento de la población es de tal magnitud, que el problema de la descarga es crítico. Es pues, de gran importancia el tratamiento de las aguas negras evitando así que empeoren las condiciones actuales precarias del saneamiento ambiental. Desde luego que esta solución no es nada fácil y sobre todo requiere una inversión grande en obras que no son reproductivas, pero son de gran necesidad desde el punto de vista sanitario.

El costo de las plantas de tratamiento de aguas negras convencionales es elevado y su operación delicada. En las ciudades pequeñas, el costo relativo por persona servida es desproporcionalmente mayor. Es pues necesario empezar con métodos que sean efectivos y tengan un costo inicial mínimo y el mantenimiento pueda efectuarse por personal no especializado siendo además deseable que el efluente pueda ser utilizado para el riego de cultivo.

El uso de las lagunas para el tratamiento de desagües ha recibido en los últimos años mucha atención. Corrientemente, tales lagunas se han conocido con una variedad de nombres casi si nónimos: lagunas para residuos de fábricas de conservas, estanques de oxidación, estanques de aguas cloacales, estanques de estabilización de residuos, embalses para sedimentación, estanques para retención, estanques para almacenamiento y regulación. Estos depósitos son usados para el tratamiento de aguas residuales en general, también son muy útiles en una gran variedad de industrias, tales como las que se dedican a la preparación de conservas alimen ticias, pulpa y papel, cuti embres de pieles, producción y proceso de petróleo, refinamiento de minerales, trabajos en metal y produc ción de fibras químicas y sintéticas. Recientemente, se ha notado mucho interés por la posibilidad de usar estas lagunas para la remoción de residuos radioactivos, obtención de nutrientes en forma de algas, o para evitar la pérdida de nutrientes de las aguas superficiales.

Al hacer uso de tales facilidades, los objetivos inmediatos pueden variar considerablemente, pero por lo general incluyen uno o más de los siguientes objetivos:

- a) Estabilización de la materia orgánica
- b) Reduc. de bacterias patógenas en las aguas cloacales
- c) Almacenamiento de aguas para descarga controlada bajo condiciones más favorables.
- d) Regulación de residuos intermitentes, para lograr descargas continuas.
- e) Separación y precipitación de sólidos suspendidos o disueltos.

Donde se disponga de terrenos de bajo costo cercanos a una población, el tratamiento de las aguas negras por medio de

lagunas de estabilización, representa una solución adecuada y económica. Aunque requiere bastante espacio, su operación es muy sencilla y el tratamiento obtenido es equivalente al de una planta de tratamiento completa, especialmente en un clima tropical con temperatura media alta e insolación fuerte. El costo de una laguna de oxidación es menos que la mitad de una planta convencional equivalente, tanto en construcción como en operación. El efluente es perfectamente apto para fines de irrigación.

Si bien es cierto que este método tiene sus ventajas, no debe olvidarse que también tiene sus inconvenientes. Quizás el más grande es su incontrabilidad, ya que como todos los procesos naturales depende para su funcionamiento correcto de factores climatológicos incontrolables como insolación, temperatura y vientos. Además si se abandona el mantenimiento, puede convertirse en criaderos de moscas, vectores de consabidas enfermedades. Pueden producirse también olores desagradables si las condiciones de las lagunas se vuelven anaeróbicas por largos periodos de tiempo.

Sin embargo estas desventajas son pequeñas en comparación con la economía de la construcción, sencillez de operación y grado de tratamiento obtenido.

B.- TEORIA GENERAL

1.- DEFINICION Y CLASIFICACION DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Una laguna de estabilización o una laguna de oxidación es un estanque o depósito construido y conservado bajo ciertas condiciones específicas para el tratamiento de aguas negras, desechos industriales tales como fábricas de conservas alimenticias, camales, lecherías y otros desechos que contengan adecuados nutrientes y no contengan materiales tóxicos.

Las lagunas de estabilización dependen de dos formas de vida primitiva que son las algas y las bacterias; y de energía para su operación que es la luz solar, lo que dá por resultado la estabilización biológica del líquido almacenado, la oxidación, la nitrificación y obteniéndose como productos finales sedimentos de complejos orgánicos y minerales inorgánicos.

2.- CLASIFICACION DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION

Se puede hacer de acuerdo a las condiciones biológicas de operación:

a) Lagunas anaeróbicas.- que son grandes digestores con cubierta, presentando mal olor. Son aplicados a pequeños desagües industriales pero no han tenido ninguna aplicación en desagües domésticos, aunque han sido utilizados como tanques de lodos. Su profundidad varía de 1.30 a 3.00 m. y soportan cargas por encima de 450 Kg. BOD/ha/día.

b) Lagunas facultativas.- En estas lagunas existe simultáneamente un proceso aeróbico (en la parte superior del líquido) y un proceso anaeróbico (en el fondo de la laguna). Son aplicadas a desagües domésticos y su profundidad es de 1.50 m. y soportan cargas superiores a 150 Kg BOD/ha/día.

c) Lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación o lagunas de estabilización.- Son las más complicadas ya que existen una serie de factores para poderlas mantener exclusivamente en condiciones aeróbicas. Su profundidad varía de 0.80 a 1.50 m. y puede soportar cargas superiores a 150 Kg BOD/ha/día.

3.- ORIGEN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.-

Las lagunas de estabilización es un proceso nuevo de tratamiento de desagües. En el Sur-Oeste de E.E.U.U. desde 1,920 fueron aplicadas para un tratamiento secundario y tratamiento terciario. Durante la última guerra (1,942 - 1,944) fueron construidas diversas lagunas para el tratamiento de aguas negras de campamentos e instalaciones militares (tratamiento secundario). Al final de la guerra fueron ejecutadas muchas lagunas para recibir efluentes de tratamiento primario en pequeñas comunidades del Estado de Texas - E.E.U.U.

La primera laguna protegida para tratar desagües crudos fué ejecutada en 1,948 en la pequeña ciudad de Maddock, North Dakota. Desde entonces fueron construidas muchas lagunas para recibir desagües brutos y promover un tratamiento completo.

Actualmente (1,964) en E.E.U.U. se estima en más de 1,000 el número de lagos de estabilización que se encuentran en funcionamiento. En el Estado de California existen 125 para desagües municipales y más de 300 utilizadas para desagües industriales.

En E.E.U.U. es en donde se han realizado casi todas las investigaciones en plantas pilotos y se han obtenido experiencias que han servido para deducir fórmulas experimentales de diseño

de la laguna. Estos estudios han sido hechos por Harold B. Gotaas y William J. Oswald profesores de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de California.

En Australia, desde 1,940 están siendo investigados por Parker combinación de lagunas anaeróbicas con lagunas aeróbicas tratando de conseguir una mayor eficiencia.

- MECANISMO DEL PROCESO DE ESTABILIZACION.-

Sabemos que el tratamiento de las aguas negras consiste en reducir los sólidos suspendidos, sedimentación, satisfacer la Demanda Bio-química de Oxígeno (DBO) por procesos de oxidación y en reducir en número las bacterias fecales.

En el caso de las lagunas de estabilización los sólidos sedimentables se depositan en el fondo de la misma en poco tiempo y el proceso de oxidación lo realizan las bacterias de la siguiente manera: Las bacterias que llevan consigo los desagües requieren principalmente para supervivir alimento y oxígeno. El alimento lo toman de la materia orgánica existente en los desagües descomponiéndola, hasta estabilizarla, y el oxígeno lo toman de diferentes orígenes a saber:

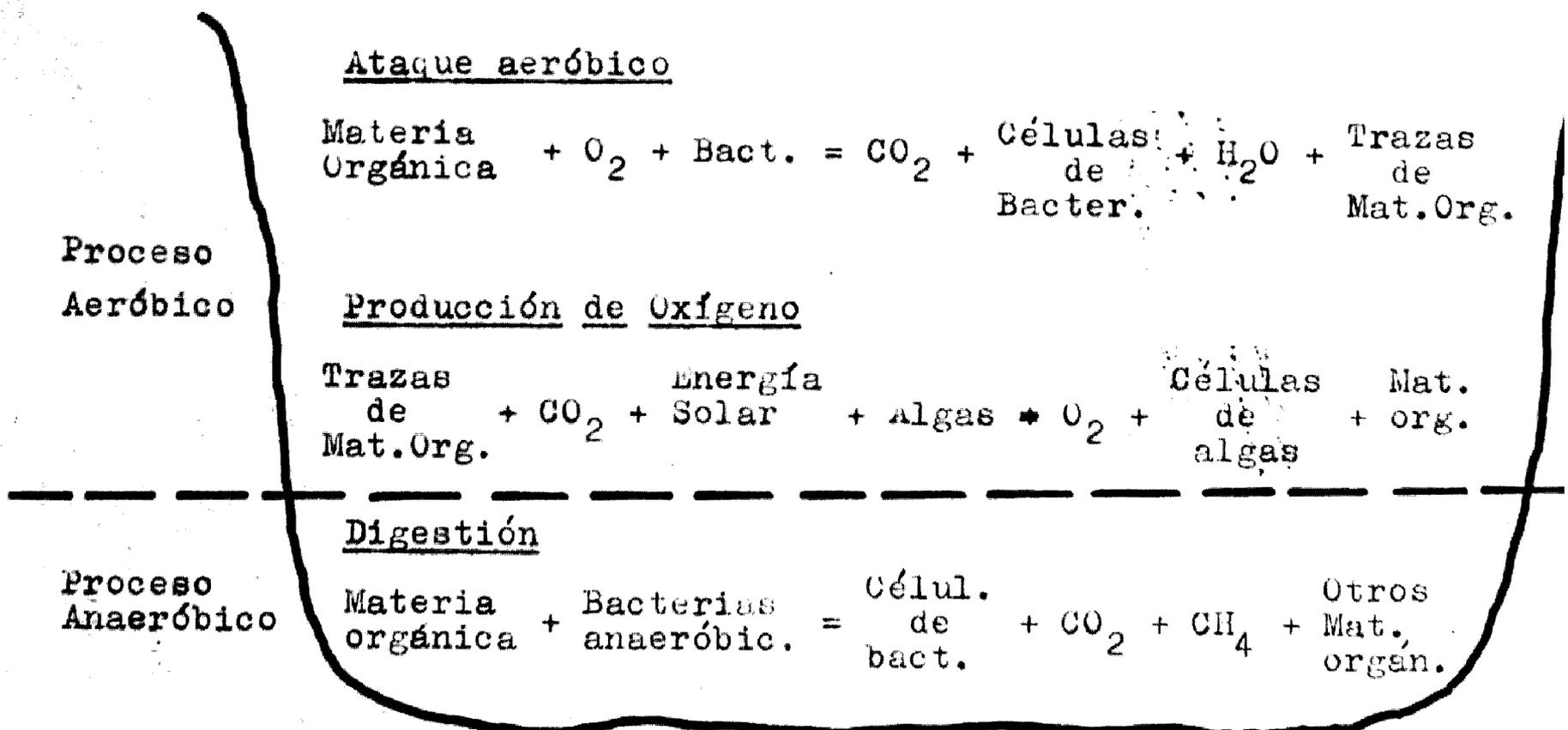
- a) Oxígeno disuelto en el desagüe líquido
- b) Oxígeno en compuestos orgánicos como nitritos, sulfatos y fosfat.
- c) Oxígeno de la atmosfera a través de la aereación del líquido.
- d) Oxígeno producido por la fotosíntesis de las algas en las lagunas

El valor del oxígeno naturalmente disponible de (a) y (c) es pequeño. Las condiciones anaeróbicas son necesarias para la utilización del oxígeno de la fuente (b) y las condiciones aeróbicas generalmente

prevalecen cuando el oxígeno es utilizado de la fuente (d) producido por fotosíntesis. La fotosíntesis es un fenómeno por lo cual las algas por intermedio de la absorción de la energía solar (luz) transforman el CO_2 liberado por las bacterias en su metabolismo a oxígeno. La acción simbiótica de bacterias y algas es quizás el factor más importante para la producción del oxígeno en las lagunas de estabilización.

Todo este proceso del ataque de las bacterias a la materia orgánica para estabilizarla y del fenómeno de la fotosíntesis por las algas para producir oxígeno, es un proceso aeróbico. Pero también en la laguna se pueda producir un proceso anaeróbico cuando las condiciones de la laguna son precarias. Es posible que los lodos y otras materias orgánicas que se encuentran en el fondo de la laguna se descomponga anaeróbicamente por motivos de que la fotosíntesis no se realice en este lugar crítico donde no puede llegar la luz.

En el siguiente esquema se muestra el proceso completo de estabilización que sucede en las lagunas:



Haremos un estudio de cada uno de los factores básicos que intervienen en el proceso de estabilización de las lagunas, como son:

3.1.- Bacterias

3.2.- Algas

3.3.- Energía solar (fotosíntesis)

4.1.- Estudio de Bacterias.-

4.1.1.- Definición de Bacterias.-

Son organismos vivos, de tamaño microscópico, que constan de una sola célula y su proceso vital así como sus funciones son similares a la de los vegetales. Las bacterias para vivir requieren de: alimento, oxígeno, humedad y temperatura adecuada.

4.1.2.* Clasificación de las bacterias desde el punto de vista sanit.

Las bacterias se pueden clasificar de acuerdo a su alimentación, de acuerdo a su respiración y de acuerdo a su temperatura.

a) Bacterias de acuerdo a su alimentación.-

a.1.- Bacterias parásitas.- Son las que viven normalmente a expensas de otro organismo llamado Huésped (hombre). Entre las bacterias parásitas hay ciertos tipos específicos que durante su desarrollo en el cuerpo del huésped, producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad a este huésped. Estas bacterias se conocen como bacterias patógenas.

a.2.- Bacterias saprofitas.- Son las que se alimentan de materia orgánica muerta, descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el sustento necesario, y produciendo a su vez sustancias de deshecho que consisten en sedimen^{tos} orgánicos.

b) Bacterias de acuerdo a su respiración.-

b.1.- Bacterias aeróbicas.- Usan solo el oxígeno disuelto en el

agua para llevar a cabo el proceso de degradación de sólidos orgánicos y que se denomina descomposición aeróbica, oxidación o degradación. No se producen olores ofensivos ni desagradables.

b.2.- Bacterias anaeróbicas.- Obtienen el oxígeno de los sólidos orgánicos y de algunos inorgánicos para descomponer la materia orgánica y se le conoce como descomposición anaeróbica o putrefacción. Se producen olores ofensivos y desagradables.

b.3.- Bacterias facultativas.- Se adaptan, viven y desarrollan ya sea en presencia del oxígeno disuelto como en presencia de oxígeno liberado por los sólidos orgánicos e inorgánicos.

c.- Bacterias de acuerdo a la temperatura.-

c.1.- Mesófilas.- Viven a temperaturas que oscilan de 20 a 40°C

c.2.- Termófilas.- Viven a temperaturas que oscilan de 55 a 60°C

4.1.3.- Acción de las Bacterias en la descomposición de la materia orgánica.-

La descomposición de las aguas negras tiene lugar como consecuencia de un metabolismo bacteriano, donde las bacterias estabilizan la materia orgánica haciéndola recorrer ciclos, tales como el ciclo del nitrógeno, el ciclo del carbono, el ciclo del azufre, etc. para poder llegar a dicha estabilización. La descomposición de las aguas negras puede ser aeróbica o anaeróbica, según las bacterias que actúen en ella y que depende de la cantidad de oxígeno que contiene el desagüe o la ausencia de él. Mientras que exista oxígeno en el desagüe, están actuando las bacterias aeróbicas en la descomposición de la materia orgánica y por lo tanto no se producen malos olores; pero cuando este oxígeno se agota comienzan a actuar las bacterias anaeróbicas que utilizan el oxígeno de sólidos orgánicos y algunos inorgánicos tales como de los nitratos, sulfatos,

etc., produciendo olores desagradables tales como el ácido sulfídrico y gases sin olor como el anhídrido carbónico y el metano, los que traen como consecuencia la putrefacción de las aguas.

En una laguna de estabilización es indispensable que halla suficiente oxígeno, el que debe ser liberado por las algas según el fenómeno de la fotosíntesis, para que solo puedan actuar las bacterias aeróbicas en la descomposición de la materia orgánica y por lo tanto no se produzcan olores ofensivos y desagradables.

4.2.- Estudio de algas.-

4.2.1.- Definición de algas.-

Las algas son microorganismos agrupados en colonias, son habitantes comunes y normales de aguas poco profundas y se encuentran en todo suministro de agua expuesta a la luz solar, tales como en los tanques, lagos, depósitos, corrientes y océanos. Las acumulaciones visibles a veces extensas de algas flotantes en la superficie, se llaman manchas, alfombras o mantos.

4.2.2.- Importancia e inconveniencia de las algas.-

Las algas en los abastecimientos de agua pueden realmente aprovecharse para mejorar la calidad del agua pero siempre y cuando ellas se encuentren en pequeña concentración por que de lo contrario generarían olores y sabores y taponarían los filtros de arena, se corrosionarían las tuberías metálicas a consecuencia de la acción despolarizante del oxígeno producida por ellas. La manera de mejorar la calidad del agua es que las algas modifican el pH, la alcalinidad, el color y la turbiedad del agua.

En los cursos naturales de agua prestan un útil servicio por que liberan oxígeno al agua, gracias a lo cual la descomposición bacteriana de la materia orgánica que llevan consigo los desagües vertidos a estos cursos de agua, se produzca en condiciones aeróbicas. Pero tambien los crecimientos masivos de algas pueden producir limo, generar olores y sabores y a veces causar la muerte de los peces, por actuar como barrera a la penetración del oxígeno en el agua subyacente.

En las aguas negras es quizás donde desempeñan el papel más importante, donde en los estanques de estabilización se utilizan para producir el oxígeno, elemento esencial que requieren las bacterias para oxidar la materia orgánica. Las masas de algas que se desarrollan en los embalses de estabilización de aguas negras pueden eventualmente llegar a convertirse en fuente productora de fertilizantes, alimentos animales y otros productos comerciales. Las algas tienen asimismo valor potencial por utilizar eficientemente las sales nutritivas que resultan de descomposición de la materia orgánica ayudando con ello al crecimiento de plantas de cultivo, de las que se obtienen muchas clases de productos orgánicos útiles al hombre. Así pues las algas de las aguas negras son útiles no solo como indicadores y estabilizadoras, si no como productoras.

En usos industriales, las algas constituyen asimismo la materia prima que se usa industrialmente para fabricar alginato sódico, agar, yodo, tierra de diatomeas y varios productos alimenticios. En un futuro próximo podrían servir las algas como fuente industrial de vitaminas, hormonas y antibióticos por sus elementos nutritivos que contiene principalmente las algas de los desagües.

4.2.3.- Clasificación de las algas.-

Las algas se pueden clasificar de acuerdo a su color y de acuerdo a la fuente de agua en que se encuentran.

a.- Clases de algas de acuerdo a su color

a.1.- Clorifáceas.- Son algas de color verde debido a que poseen clorofila; producen olor característico a mariscos.

a.2.- Diatomeas.- Son algas de color amarillo verdoso. La célula que lo constituye presenta una membrana externa a base de sílice a modo de caparazón. Cuando mueren, en el fondo de las aguas, su esqueleto se deposita en forma de polvo blanco llamado tierra de diatomeas o tierra de fuller. Producen olor aromático.

a.3.- Cianofáceas.- De color verde azulado que producen problemas de carácter estético. Emancian olor a pasto fresco.

a.4.- Flagelados pigmentados.- Son de color verde pardo.

b.- Clases de algas de acuerdo a la fuente de agua en que se encuentran

b.1.- Algas de agua limpia

b.2.- Algas de las paredes de los depósitos

b.3.- Algas de aguas negras.- Que son las que nos interesan siendo las principales la Euglena, Anabaena, Chlorococcum, Spirogyra, Scenedesmus, Ankistrodesmus, Chorella, Micratinium et.

4.2.4.- Acción de las algas en el tratamiento de las aguas negras.

Como ya se dijo anteriormente las algas cumplen un papel muy importante en la estabilización de la materia orgánica de las aguas negras ya que proporcionan el suficiente oxígeno a las bacterias para que estas se multipliquen y puedan desintegrar los detritos orgánicos en condiciones aeróbicas, acelerando enormemente

el proceso de tratamiento de las aguas negras. Este oxígeno lo liberan por medio del fenómeno de la fotosíntesis que es la capacidad de las algas (que poseen un pigmento interno verde llamado clorofila y en presencia de la luz solar) de combinar agua con anhídrido carbónico liberado por las bacterias en su metabolismo para formar almidón o sustancias análogas y desprender oxígeno. La rapidez de la fotosíntesis en las algas suele ser mayor que la de su respiración y por lo tanto, liberan más oxígeno del que consumen y absorben más CO_2 del que libera, mientras que no sucede en animales y otros organismos privados de actividad fotosintética.

Algunas clases de algas son capaces de crecer en presencia de alta concentración de contaminación, y su crecimiento puede estimularse y lograr que se multipliquen con gran rapidez. Parece que solo las células algales jóvenes producen cantidades grandes de oxígeno de manera que es conveniente mantener el proceso continuo de la multiplicación de nuevas células jóvenes en las lagunas de estabilización. Las aguas negras que se viertan en las lagunas de oxidación, se dejan que corran lentamente a través de la misma, para que las algas se reproduzcan rápidamente y produzcan oxígeno.

Otro efecto químico importante de las algas después de la liberación de oxígeno, es la remoción continua de CO_2 del agua durante las horas diurnas también como consecuencia de la fotosíntesis. Este proceso modifica la relación entre las cantidades de ácido carbónico (no combinado), semisoluble o semi combinado (bicarbonatos) y casi insoluble o combinado (monocarbonatos); en consecuencia parte de estos últimos precipitan y se reduce así la

dureza del agua hasta un tercio. Las mismas alteraciones de CO_2 y la dureza del agua hacen variar el pH; el pH aumenta a medida que lo hace la actividad fotosintética de las algas, durante las horas del día, después el pH decrece durante la noche cuando las algas no realizan fotosíntesis, si no que liberan CO_2 al respirar.

La importancia de las algas en las lagunas de estabilización nace principalmente de su producción del oxígeno necesario para el proceso. Estudios realizados en una planta piloto en California por Bartsch muestran una producción promedio de 1.65 libras de oxígeno por cada libra de algas y Oswald y Gottas consideran que la concentración máxima de algas que pueden soportar las aguas negras es $C = 10 N$ en donde C es la concentración de algas en p.p.m. y N la concentración total de nitrógeno que contienen las algas en p.p.m. Estos hechos justifican un interés en las diferentes variedades, cambios estacionales y distribución geográfica de las algas.

Estudios sistemáticos llevados a cabo entre los distintos tanques, revelan un parentesco de las algas a pesar de su marcado individualismo. Los nombres de ciertas algas como Chlorella, Scenedesmus, Euglena, Ankistrodesmus, Chlamydomonas y Microtinium, se encuentran tan a menudo con iguales características que parecen ser del mismo género. En los estanques usados para aguas cloacales frescas o sedimentadas, durante el invierno se encuentran predominantes ya sea la Chlorella o la Scenedesmus, aunque otros géneros pueden ser más importantes durante otras estaciones. También en las lagunas de residuos de fábricas de conservas, el alga más importante es la Chlorella, la cual tiende a aumentar a medida que avanza la temporada de empaque y puede alcanzar densidades de 66

millones de células por mililitro. Las variaciones geográficas en la distribución 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.

En estanques de aguas cloacales frescas, las fluctuaciones pequeñas en el número de especies diferentes de algas son debidas, probablemente a las estaciones y no al régimen de carga.

Los elementos necesarios para el crecimiento de algas se encuentran en las aguas cloacales. De importancia particular como componentes de las aguas cloacales son: el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el magnesio y el azufre, algunos de los cuales se encuentran frecuentemente en muy pequeñas cantidades en las aguas superficiales naturales. Estos elementos se encuentran en forma aceptable en los desagües y que se hacen asimilables por la acción de las bacterias. La comparación de la composición elemental de algas cultivadas en aguas frescas con aquellas producidas en desagües demuestra que difieren apreciablemente sólo en el hecho de que las algas de desagües contienen un porcentaje en carbón un poco menor. Esto se debe, probablemente, a la deficiencia en carbón de los desagües.

4.3.- ESTUDIO DE LA ENERGIA SOLAR

4.3.1 Utilización de la energía solar en las lagunas de estabilización (Fotosíntesis)

El proceso de utilización de la energía solar en el tratamiento de los desagües orgánicos se ha desarrollado en extensas investigaciones usando unidades de laboratorio con condiciones controladas en cuanto a medio ambiente y elementos nutritivos se refiere y también de plantas pilotos utilizando la luz del sol. Es-

tos estudios hechos por Oswald -Gotaas han demostrado que grandes cantidades de algas verdes unicelulares pueden crecer en desagües orgánicos siempre y cuando las condiciones apropiadas del medio ambiente se mantengan.

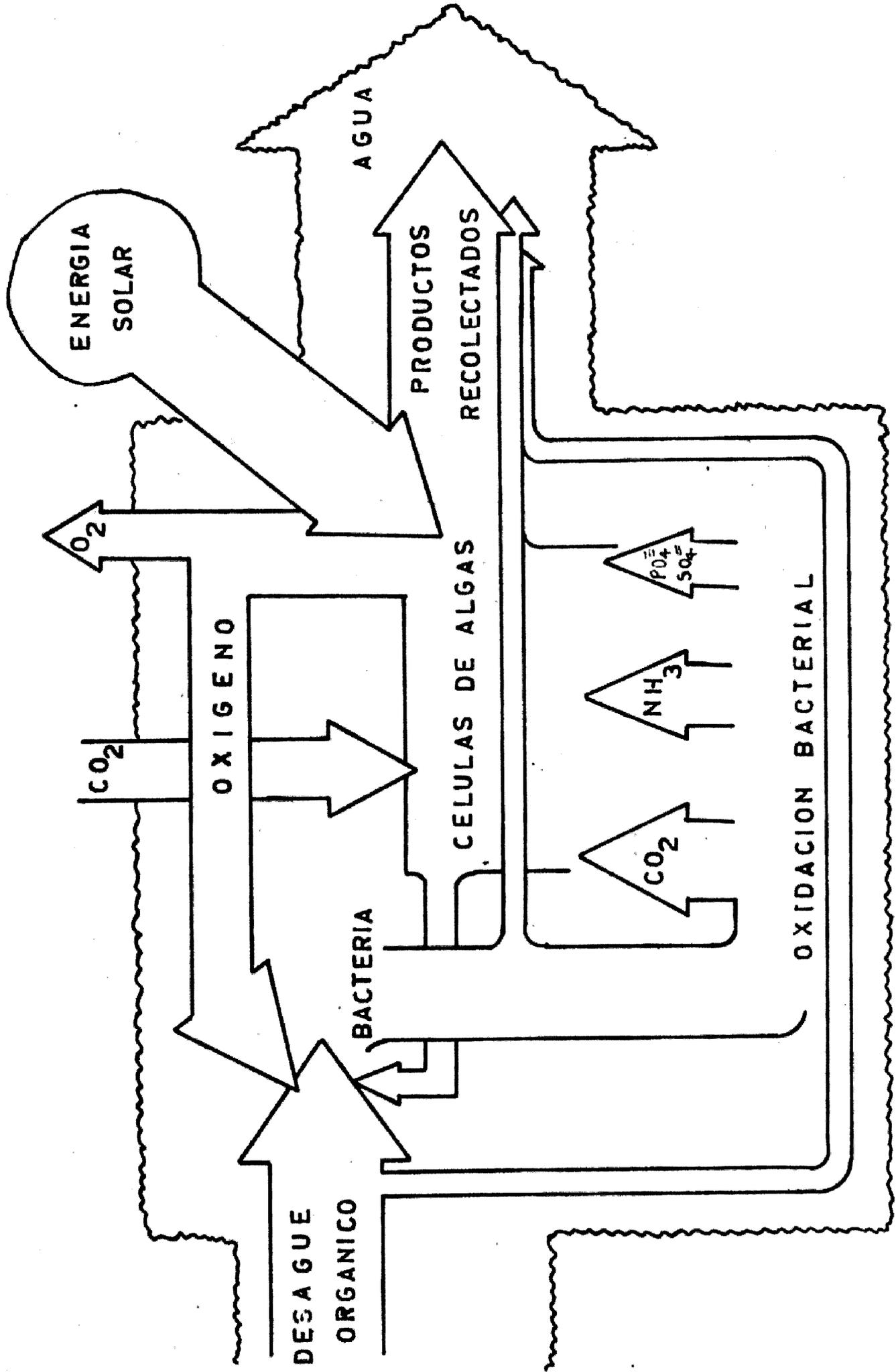
Utilizando la fotosíntesis para tratamientos de desagües que contengan materia orgánica, las algas y las bacterias crecen simultáneamente en un tanque. La capacidad de esta unidad de crecimiento debe ser suficiente como para retener el des^güe un tiempo suficientemente óptimo para su oxidación por las bacterias y para la ~~asimilación~~ asimilación de los elementos nutritivos ~~liberados~~, por las células de algas. El líquido se mantiene en esta laguna de tal manera que una cantidad adecuada de luz solar se pueda suministrar para poder mantener el cultivo de las algas en una densidad proporcional a los elementos nutritivos del líquido.

La fig. 1 ilustra gráficamente la mecánica de este proceso, las bacterias que se presentan normalmente en los desagües municipales ha descom^Puesto algo de la materia orgánica ocasionando la liberación de CO_2 , NH_4 y otros, lo mismo que el crecimiento de algas esenciales cuando los desagües llegan a la laguna. En presencia de la luz solar, el alga que contiene clorofila produce también a través de la fotosíntesis el oxígeno necesitado por la bacteria aeróbica para continuar oxidando la materia orgánica y producir más CO_2 , NH_4 , P y micronutrientes disponibles para el crecimiento de las algas.

La mayor parte de la materia orgánica en los desagües sufre un proceso de oxidación bacterial. Algunas cantidades desconocidas de los nutrientes inorgánicos influyentes, son utilizados directamente en la síntesis de las algas mientras que algunos compues-

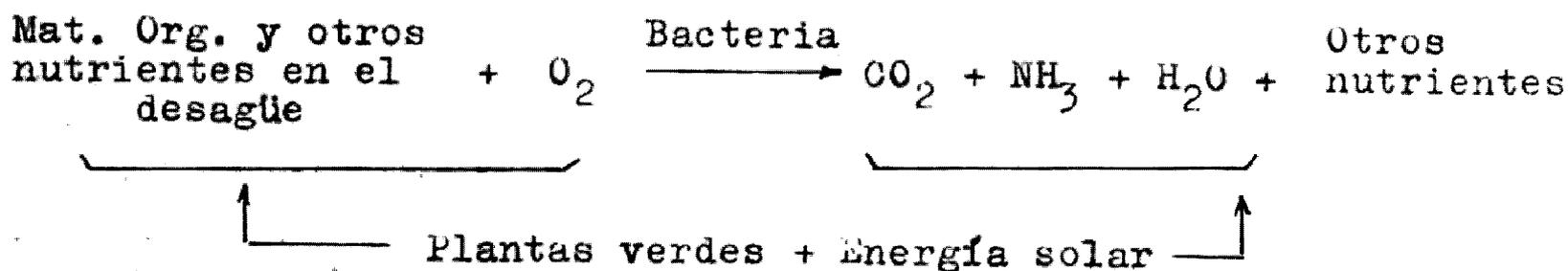
FIG 1

REPRESENTACION GRAFICA DEL PROCESO

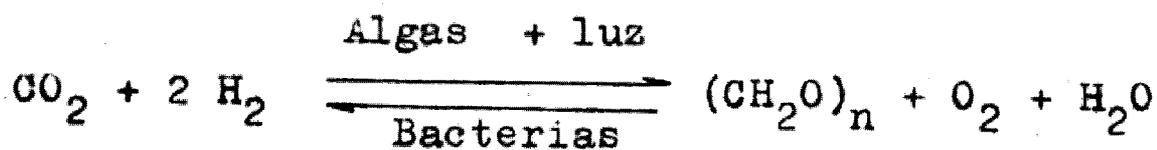


tos inorgánicos y orgánicos resistentes, tales como la celulosa y el lignis pasan al efluente sin haberse utilizado. Mientras el carbono es limitado en los desagües municipales la cantidad de células de algas que crecen puede exceder al contenido orgánico original del desagüe, puesto que el CO_2 de la atmósfera penetra en el líquido particularmente cuando el alga ha producido un alto pH. De otro lado algo de oxígeno escapa hacia la atmósfera.

Las reacciones básicas generalmente de la oxidación bacterial y de reducción fotosintética que se lleva a cabo en el proceso, se puede sintetizar de una manera simple como sigue:



o cuando se considera solamente el C, H y O esta debe ser representada por la acción reversible:



La reacción bacterial demuestra en parte la acción de la bacteria aeróbica sobre la materia orgánica no viviente en el desagüe. La cantidad de oxidación bacterial depende de la concentración de materia orgánica y de la disponibilidad del oxígeno. Debido al bajo índice de solubilidad el oxígeno que se deriva de la atmósfera es muy limitado y debe ser por consiguiente producido por las algas en una proporción adecuada y en cantidades suficien-

tes para permitir la oxidación bacterial sin ningún problema.

En la ecuación de la reducción fotosintética opuesta a la oxidación bacterial, $(CH_2O)_n$ representa la muestra de materia orgánica en el desagüe la cual es oxidada, más la vida de las células de la materia orgánica la cual es sintetizada.

La velocidad de estas reacciones es regida por la proporción del crecimiento de las algas el que depende principalmente de la disponibilidad del CO_2 y de la cantidad y penetración de luz.

4.3.2.- Cantidad de oxígeno liberado por las algas en el fenómeno de la fotosíntesis; y eficiencia fotosintética.

La cantidad de oxígeno producido por las algas en el fenómeno de la fotosíntesis está en función de la eficiencia fotosintética y de la energía solar visible que penetra en una superficie uniforme de agua. Se puede representar en las fórmulas siguientes de W.J. Oswald y H.B. Gotaas:

$$W_{O_2} = \frac{F S}{3.68} \quad (Ia)$$

$$W_{O_2} = 89 \frac{F S}{3.68} = 24.2 F S \quad (Ib)$$

donde: W_{O_2} en (Ia) y (Ib) es el peso de oxígeno en mgr. por litro y en libras por acre por día respectivamente.

S es la cantidad de energía solar visible la cual penetra a una superficie uniforme de agua en calorías por cm^2 por día
F es la eficiencia de la conversión de la energía luminosa a energía química expresada como la razón entre la energía de las células de las algas que están creciendo y la cantidad de energía visible, y que según investigaciones esta conversión de la energía raramente excede del 10 al 12% de

T A B L A N o 1

CANTIDAD TEORICA DE OXIGENO PRODUCIDA A TRAVES
DE LA FOTOSINTESIS EN LAGUNAS OPERADAS A VARIAS EFICIENCIAS
DE CONVERSION (LATITUD 36°N)

ENERGIA LUMINOSA VISIBILE CONVERSION EN %		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MES		LIBRAS DE OXIGENO POR ACRE POR DIA									
ENERO	Max	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
	Min	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
FEBRERO	Max	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
	Min	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170
MARZO	Max	47	94	151	188	235	282	329	376	423	470
	Min	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
ABRIL	Max	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
	Min	33	66	99	132	165	198	231	264	297	330
MAYO	Max	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700
	Min	42	84	126	168	210	252	294	336	378	420
JUNIO	Max	72	144	216	288	360	432	504	576	648	720
	Min	41	82	123	164	205	246	287	328	369	410
JULIO	Max	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700
	Min	43	86	129	172	215	258	301	344	387	430
AGOSTO	Max	64	128	192	256	320	384	448	512	576	640
	Min	38	76	114	152	190	228	266	304	342	380
SEPTIEMBRE	Max	52	104	156	208	260	312	364	416	468	520
	Min	31	62	93	124	155	186	217	248	279	310
OCTUBRE	Max	41	82	123	164	205	246	287	328	369	410
	Min	21	42	63	84	105	126	147	168	189	210
NOVIEMBRE	Max	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280
	Min	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
DICIEMBRE	Max	21	42	63	84	105	126	147	168	189	210
	Min	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

la energía luminosa disponible.

3.68 - es la energía requerida para producir un miligramo de oxígeno a través de la fotosíntesis, también obtenida en experimentos de laboratorio y plantas piloto para el caso de la *Chlorella*, *Scenedesmus* y otros organismos.

89 - factor para convertir mgr. por cm^2 a libras por acre.

La tabla N° 1 muestra los resultados del cálculo usando la ecuación (Ib) para una latitud de 36°N a nivel del mar. Valores similares pueden ser calculados para cualquier otra latitud, elevación y grado de nubosidad. Los valores máximos y mínimos en la tabla N° 1 representan la producción de oxígeno en tiempo seco y lluvioso en esta latitud. Las lagunas deben producir más oxígeno en verano que ~~en~~ en invierno. Por ejemplo, véase en la tabla 1 que una laguna operada a un 3% de eficiencia puede producir tan poco ^{como} 30 libras de oxígeno por acre y por día en diciembre y tanto como 216 libras y por día en Junio, prácticamente un incremento de 7 veces. Es también obvio que la capacidad de producción de oxígeno de las algas incrementa en proporción directa a su eficiencia fotosintética. De este modo, el área requerida para producir una cantidad dada de oxígeno a través de la fotosíntesis es una fracción solamente de la cantidad de energía luminosa visible y de la eficiencia fotosintética alcanzada por los organismos en la laguna. Es esencial, sin embargo, que las lagunas tomen un tiempo de carga y áreas determinadas. Los experimentos de las plantas piloto han demostrado que si se requiere que la concentración necesaria de algas sea mantenida, una laguna de estabilización no debe ser operada ordinariamente en un periodo de detención menor que 1 día. Cuando son considerados el tiempo de detención, D, en días y área, A, en cms., la ecuación (ia) llega a ser:

$$W_{O_2_t} = \frac{F S D A}{3.68} \quad (2)$$

El producto S D A en la ecuación (2) es el total de la energía de la luz del sol visible en la laguna y $W_{O_2_t}$ es el peso de oxígeno total que liberan las algas en la laguna.

El volumen de la laguna:

$$V = Q D \quad (3)$$

donde: Q : es el flujo por día expresada en las mismas unid. de V
Desde que el volumen de la laguna, V, debe ser expresado en litros y el área, A, en cm^2 , el área de la fuente de un litro es $\frac{1,000}{d}$, donde la profundidad, d, está en cms.; por consiguiente:

$$W_{O_2_t} = \frac{1,000 F S D}{3.68 d} \quad (4)$$

donde $W_{O_2_t}$: es el total de miligramos por litro de oxígeno producido en D días. Es evidente que la producción total de oxígeno es una función del período de detención y profundidad.

La actual eficiencia fotosintética, F, es igual a la energía de calorías, H, de las células de algas producidas por unidad de volumen por día, dividido por la cantidad de energía solar visible recibida por la laguna por unidad de volumen cada día, que es:

$$F = \frac{H}{E_s} \longrightarrow \begin{cases} H = C_c h \\ E_s = \frac{1,000 S D}{d} \end{cases}$$

Fórmulas deducidas por Gotaas y Oswald (ver capítulo de "criterios para el diseño de lagunas de oxidación") donde:

C_c : es la concentración de algas en mgr. por litro.

h : el calor de combustión en calorías por gramo de algas (6.0)

E_s : la energía luminosa total disponible en calorías por litro y por día.

Las cantidades C_c , h y E_s pueden ser medidas; D y d son conocidas.

4.3.3.- Cantidad de oxígeno requerida para estabilizar la materia orgánica; y eficiencia fotosintética crítica.

Cuando la profundidad de la laguna, el período de detención y el BOD a 5 días, L_t , en mgr. por litro son conocidos, la siguiente ecuación de Oswald y Gotaas indica la cantidad teórica de oxígeno, W_{BOD} , en libras por acre por día, la cual podría ser requerida para estabilizar el total de la carga de BOD a 5 días aplicada a la laguna:

$$W_{BOD} = 0.226 L_t \frac{d}{D} \quad (5)$$

Si la fotosíntesis es asumida para suplir prácticamente todo el oxígeno para la estabilización del BOD, la ecuación (Ib) y (5) deben ser igualadas para la luz visible, S ; entonces la eficiencia fotosintética, F_c , requerida para producir una cantidad de oxígeno igual a la carga de BOD a 5 días aplicadas a la laguna computada sería:

$$24.2 F S = 0.226 L_t \frac{d}{D} \quad (6)$$
$$F_c = 0.0094 \frac{L_t}{S} \frac{d}{D}$$

La ecuación (6) no produce la eficiencia fotosintética actual, F , alcanzada por la laguna, pero da la eficiencia

fotosintética teórica necesaria para abastecer suficiente oxígeno y para conocer el total de la carga de BOD para ser estabilizada por oxigenación fotosintética. Por consiguiente F_c , es denominada la "eficiencia crítica". Si F es igual a F_c , significa que las algas están produciendo suficiente oxígeno para oxidar el total de la carga de BOD en la laguna.

La razón, $\frac{F}{F_c}$, debe ser considerada como un "factor de oxigenación" para determinar si la laguna esta o no lo suficientemente capaz como para promover la remoción de BOD deseada. Teóricamente según decrece la razón $\frac{F}{F_c}$ debajo de un valor de 1, el porcentaje de remoción de BOD disminuiría. Cuando la eficiencia actual F , obtenida, cae por debajo de la eficiencia crítica, F_c , no puede conocerse la oxigenación fotosintética ni la demanda de oxígeno completa, pudiendo existir un grado de anaerobiasis. Por otro lado cada vez que F excede a F_c , se produce más oxígeno que el requerido y por lo tanto el oxígeno en exceso se presenta en la laguna.

Para mantener condiciones aeróbicas en la laguna, el período de detención y profundidad debe ser tal, que se alcance la eficiencia fotosintética y pueda producir suficiente oxígeno para satisfacer la remoción de BOD.

El valor crítico teórico para la eficiencia fotosintética, F_c , requerida para conocer la carga total de BOD a 5 días, es una función de la fuerza del desagüe, disponibilidad de la energía luminosa, profundidad y periodo de detención. Por otro lado, la eficiencia actual, F , es una función de estos factores y en primer lugar una medida de la función actual de las algas y bacterias contenidas en la laguna en la época de luz, temperatura, nutrición, y

otras condiciones que prevailezcan en el medio ambiente.

El factor de oxigenación $\frac{F}{F_c}$ se podría tomar como un parámetro o criterio para el funcionamiento de una laguna y revelar que proporción del oxígeno requerido es producido por fotosíntesis.

5.- CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAGUNAS DE OXIDACION

, Los resultados experimentales obtenidos en plantas pilotos hacen posible el establecimiento de ciertos elementos de juicio para un diseño racional de unidades de crecimiento que utilizan la energía solar para el crecimiento de algas en desagües orgánicos.

El desarrollo de tales criterios de operación de los sistemas requiere el establecimiento de ciertas relaciones entre los factores: el período de detención, el volumen de la unidad de crecimiento, el área, la profundidad, la energía solar disponible, la energía almacenada en la fotosíntesis, la cantidad de materia orgánica en el desagüe, el oxígeno producido por la fotosíntesis, la profundidad de penetración de los rayos solares a través del cultivo y la temperatura.

5.1.- Periodo de detención.-

Como los objetivos del tratamiento de desagües se deben cumplir, el proceso debe operar continuamente y el período de detención debe ser tal que muchos de los elementos nutritivos sean convertidos por fotosíntesis.

El período normal de detención en que el desagüe se

mantiene en la laguna de crecimiento, se puede expresar como sigue:

$$D = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Donde D: es el tiempo de detención en días

V: es el volumen de la unidad de crecimiento o laguna

Q: es el volumen de desagüe por día.

La energía total aparente, H, que se fija en la fotosíntesis en una unidad de crecimiento es una función de la eficiencia fotosintética, F, y del total de la energía de luz disponible E_s , penetrada en el volumen del cultivo durante el período de detención. De allí que:

$$H = F E_s \quad (2)$$

El total de la energía de luz disponible que penetra en la unidad de crecimiento es:

$$E_s = S A D \quad (3)$$

donde S = insolación visible en calorías gramo por $\text{cm}^2/\text{día}$ (langley por día)
A = superficie del área expuesta a la luz en cm^2

consecuentemente:

$$H = F S A D \quad (4)$$

Si el peso de la materia orgánica fotosintetizada durante el período de detención, D, es expresada como una concentración de células, C_c , en miligramos por litro y las algas tienen una unidad de temperatura de combustión, h, entonces el total de energía, H en la fotosíntesis es:

$$H = h C_c$$

El área, A, de un volumen de 1 litro de, d, cms. de profundidad es:

$$A = \frac{1,000}{d}$$

sustituyendo estos valores de A y H en la ecuación (4) se tiene:

$$H = h C_c = F S \frac{1,000}{d} D \quad (5)$$

de donde despejando el valor de D:

$$D = \frac{h C_c d}{1,000 F S}$$

La eficiencia fotosintética aparente es:

$$F = \frac{h C_c d}{1,000 S D}$$

La razón de oxígeno desprendido, W_o , a la materia orgánica sintetizada, C_c , se puede expresar como un factor P:

$$P = \frac{W_o}{C_c} \quad (6)$$

Si el peso de la materia orgánica en el desagüe disponible, a un cierto tiempo para la oxidación por las bacterias se mide como BOD, L_t , esto es, la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación bacterial de materia orgánica oxidable, y comparando con el oxígeno producido a través de la fotosíntesis, W_o , se tiene:

$$P = \frac{W_o}{C_c} = \frac{L_t}{C_c} \quad \text{o} \quad C_c = \frac{L_t}{P} \quad (7)$$

combinando las ecuaciones (5) y (7)

$$D = \frac{d h L_t}{1,000 F S P} \quad (8)$$

La eficiencia fotosintética aparente, F, en las ecuaciones (5) y (8) se ven influenciadas por ciertos factores del medio ambiente y de los efectos cuantitativos de los cuales generalmente dos son conocidos. Entre los factores del medio ambiente que afectan a, F, tenemos la temperatura y la turbulencia del líquido. Un coeficiente de temperatura se puede agregar a la ecuación (8)

$$D = \frac{d h C_c}{T_c F 1000 S} = \frac{d h L_t}{T_c F 1000 S P} \quad (9)$$

Esta ecuación nos dá el tiempo de detención de una laguna de crecimiento en una base de volumen unitario cuando la profundidad de la laguna y otros factores son conocidos.

5.1.1- Discusión de los factores en el diseño de la ecuación .-

Las aplicaciones prácticas de la ecuación requiere de conocimientos de magnitudes e interrelaciones de los distintos factores de la ecuación, así como el efecto de los factores del medio ambiente en la eficiencia del crecimiento bacterial y de las algas.

5.1.1.1.- Profundidad

La profundidad de la penetración y absorción de luz visible en un cultivo de células de algas de diferentes concentraciones ha sido investigada por Gottas, cambiando la profundidad del cultivo en una probeta visible, midiendo la penetración de la

luz con un filamento de tungsteno en la parte superior y con una fotocélula de selenio en la parte inferior del tubo. Estos experimentos han demostrado que la penetración de la luz en suspensiones de células de algas o absorciones de luz por el cultivo se pueden determinar con cierta precisión por la ley de Beer-Lambert

$$\frac{I}{I_i} = e^{-C_c \alpha d}$$

- siendo I_i = iluminación en la superficie libre o iluminación incidente (se mide en bujías-pié)
- I = Iluminación a la profundidad "d" (en bujías-pié)
- C_c = concentración de algas (en mgr/litro)
- α = coeficiente de absorción (su dimensión hace homogénea la fórmula ya que el exponente de "e" debe ser un #)
- d = profundidad (en cm.)

Aplicando logaritmos a la ley de Beer-Lambert resulta:

$$\log_e I - \log_e I_i = -C_c \alpha d$$

y despejando "d" resulta:

$$d = \frac{\log_e I_i - \log_e I}{C_c \alpha}$$

La iluminación I puede hacerse tan pequeña como se quiera con la finalidad de aumentar la profundidad. Cuando I se hace igual a 1 bujía-pié, es ya lo suficientemente pequeña como para considerar su influencia, por lo tanto:

$$d = \frac{\log_e I_i}{C_c \alpha}$$

Si se mezcla el cultivo para permitir una utilización

más eficiente de la luz es posible que la profundidad de una unidad de crecimiento puede ser algo superior a lo que la luz pueda penetrar. Sin embargo, los datos obtenidos de los estudios realizados no indican que la profundidad se puede aumentar apreciablemente sin restar la eficiencia general del proceso.

Bertch, también por experimentos hechos en lagunas de Dakotas (E.E.U.U.), dedujo que la profundidad está en función de la penetración efectiva de la luz, representada por la ecuación

$$\frac{I}{I_i} = e^{-k d}$$

donde I : es la intensidad de la luz a la profundidad "d" en metros.

I_i : es la intensidad de la luz que llega a la superficie

k : es el coeficiente de extinción

En 6 instalaciones de las Dakotas este coeficiente varió entre 0.58 y 10.8. Como se podrá apreciar "k" tiene límites de variación amplios y sería aventurarse calcular la profundidad por medio de esta fórmula.

Según el Manual of Practice en Sewage Treatment Plant Design, el cálculo de la profundidad óptima de las lagunas se pueden calcular por la fórmula:

$$\frac{d}{D} = \frac{70 F S}{L_t}$$

donde d : la profundidad de la laguna en pulgadas

S : penetración de la energía solar v. en la fuente de agua en calorías por cm^2 , la cual puede ser obtenida de datos publicados, observados para diferentes localidades.

La cantidad de luz varía con la latitud, altitud y nubosidad. S varía de 150 a 270 calorías por cm^2 en verano y 0 a 270 en invierno, dependiendo de la latitud.

F = eficiencia de la conversión de la energía luminosa a energía generada por algas. Estas variaciones son de 0.02 a 0.06

L_t : BOD en miligramos por litro.

70 : constante

El valor óptimo de $\frac{d}{D}$ varía de 2.0 en invierno a 5.5 en verano en climas de temperatura moderada. Cerca al Ecuador será cercano a 5.0. Las condiciones de invierno requiere una área máxima de la laguna. El valor promedio de energía solar vis.S, para el mes que tiene el mínimo de luz debe ser usado en el diseño para operación en invierno. La fórmula supone una oxidación aeróbica del 85% de L_t . Según esta formula se han podido obtener profundidades eficientes para máximas cargas que varían de 60 cms. en verano a 25 y 30 cms. en invierno en climas de temperatura moderada.

Van Heuvellen recomienda profundidades que varían de 0.80 a 1.50 m. y para lagunas mayores de 30 acres recomienda una profundidad superior a 1.50 m. en climas cálidos.

Como se verá la gran mayoría de los estudios sobre esta materia convienen en que la profundidad óptima aumenta proporcionalmente a la intensidad solar visdisponible.

4.1.1.2- Iluminación incidente.-

La incidencia de la intensidad de la luz solar I_1 , varía respecto a factores no previsibles o que no se pueden determi-

nar, tales como las propiedades de la absorción de la luz en la atmósfera y la hidrósfera, condiciones climáticas, así como factores sistemáticos sujetos al análisis matemático y la predicción tal como la de la constante solar y la posición del sol en el cielo.

En la superficie líquida de un cultivo de algas existe reflexión de la luz, de tal manera que hace decrecer la intensidad inmediata bajo la superficie. La cantidad de reflexión es una función del ángulo de incidencia, la longitud de las ondas de luz y los índices relativos de refracción del aire y del líquido. La intensidad lumínica justamente debajo de la superficie es aproximadamente 98% de la intensidad incidente. Sin embargo tenemos que los rayos solares y la superficie líquida que forman un ángulo de 10° , solo 60% de la luz incidente penetra en la superficie. La luz que penetra en la superficie líquida es absorbida por el cultivo de algas en proporción a la concentración de algas, la pigmentación de las células y la cantidad de turbiedad, produciendo sustancias tales como el barro en suspensión.

Las investigaciones de la planta piloto realizadas por Gotaas y Oswald nos indican que el promedio de la intensidad de la luz a usarse durante las 24 horas, expresada en bujías-pié para determinar la profundidad del cultivo, es aproximadamente 10 veces el total de insolación mínima expresada en langleys por día (tabla II) multiplicada por la fracción del tiempo que el sol permanece en el cielo. Además esta intensidad de luz varía de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar y de acuerdo a la influencia de la nubosidad existiendo coeficientes que lo afectan (ver tabla II)

5.1.1.3.- Coeficiente de absorción.-

La penetración de la luz y la absorción de ella es mayormente afectado por la concentración celular de las algas, pero dependiendo también del coeficiente de absorción de especies particulares de algas. El coeficiente de absorción es relativamente constante para condiciones de crecimiento normales. Los valores del coeficiente de absorción están comprendidos entre 1×10^{-3} y 2×10^{-3} aún cuando se han observado valores tan altos como 4×10^{-3} para el crecimiento de algas a baja luz y en un sustrato muy nutritivo. Los estudios que se han hecho sobre las plantas piloto han demostrado que el coeficiente de absorción de la luz por las algas aumenta con la profundidad del cultivo y decrece con el período de detención. El aumento con la profundidad se debe en parte a un mayor contenido de clorofila en las células que crecen bajo intensidades de luz menores asociadas con las mayores profundidades. Las células que crecen en períodos más prolongados de detención tienen coeficiente de absorción menor, puesto que contienen menos clorofila, ya sea como resultado de elementos nutritivos menores o mayores de luz o ambos.

También se ha demostrado que el coeficiente de absorción varía con los cambios de estación aumentando en época de invierno y disminuyendo en verano. Gottas y Oswald recomiendan valores de 1.8×10^{-3} para invierno y 1.3×10^{-3} para verano.

5.1.1.4.- Concentración de algas.-

La concentración de algas, C_0 , que se puede producir en un cultivo depende de la concentración de nutrientes disponibles, de la cantidad de luz disponible y del período de detención.

Los factores son interrelacionados. Si para cierta profundidad de cultivos el período de detención es demasiado corto, la concentración de células de las algas se verá limitada principalmente por el tiempo de regeneración de las especies, debido a que se disuelve la corriente del desagüe. Cuando el tiempo de detención aumenta y los nutrientes son suficientes, la concentración de las células aumenta a lo largo de una curva, y la curva de la misma se determina por la cantidad de luz disponible. Cuando hay suficiente luz, la concentración de las células puede aumentar con un período de detención que va aumentando hasta que los nutrientes se conviertan en limitantes. La concentración del material celular se ve también grandemente influenciada por la profundidad de cultivo, particularmente cuando limita la cantidad de luz. La figura N° 2 presenta una comparación de las concentraciones a diferentes niveles de profundidad por un período de detención de 2.5 días. Se puede apreciar que para las condiciones experimentales particulares una concentración celular máxima de 225 mg/litro se produjo a una profundidad de 20 cms. Como se indica en la línea descontinua marcada A, en la fig. N° 2 la concentración celular podría normalmente aumentar hasta 300 mg/l cerca de la profundidad cero. Sin embargo, altas intensidades de luz en cultivos de poca profundidad producen un aumento de temperatura que no permite la síntesis de las células destruyendo la clorofila. La concentración celular decrece a mayores profundidades debido a que la cantidad de luz por unidad de volumen fueran insuficientes. Se se hubiera empleado un período de detención mayor que 2.5 días, la concentración celular hubiera aumentado a mayores profundidades en relación al actual período de detención.

El valor de C_c puede ser calculada mediante la fór-

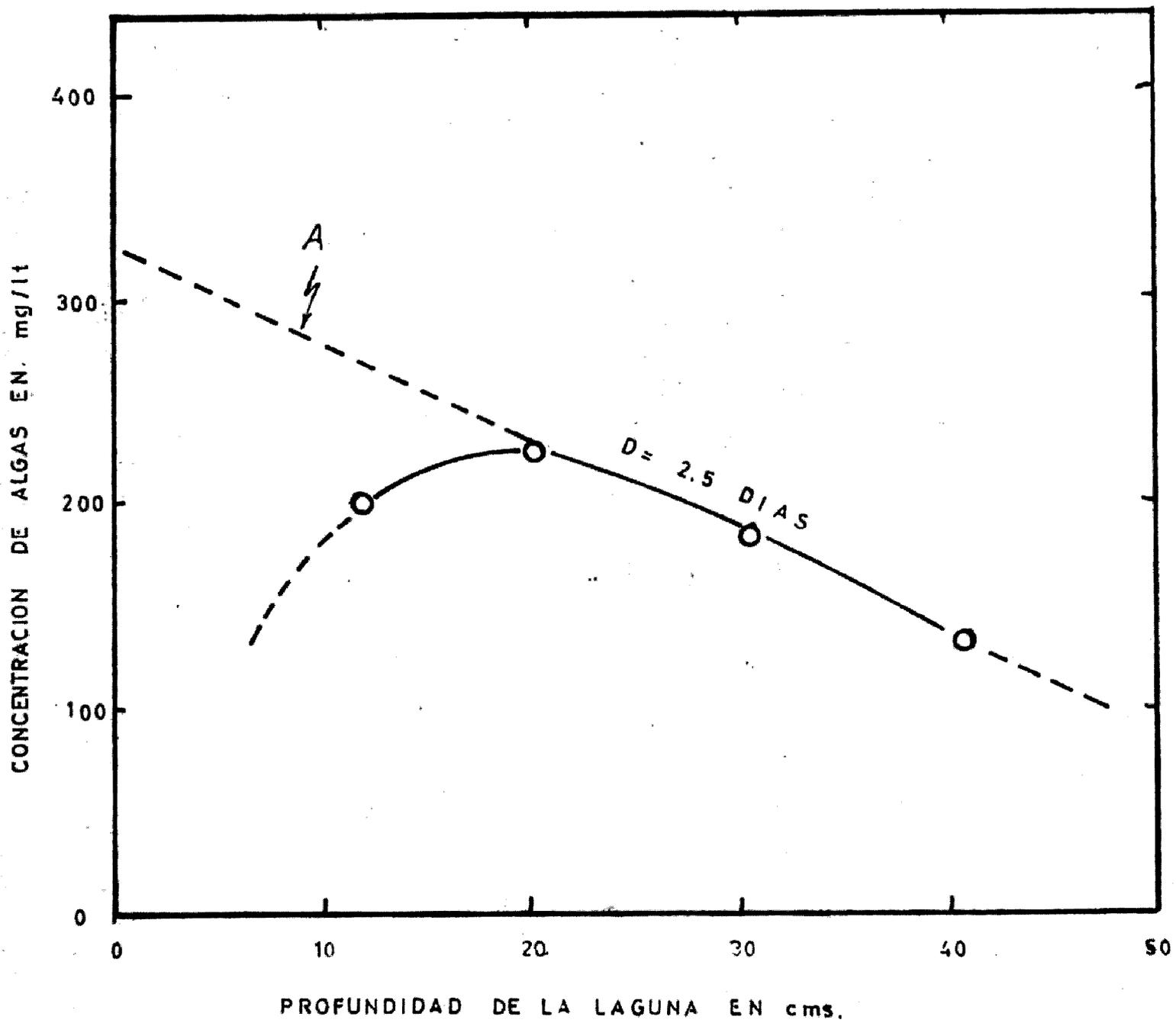


FIG. 2 CONCENTRACION DE ALGAS
 VS
 PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA

mula tambien de tipo experimental:

$$C_c = 10 N \times \% \text{ de recuperación de nitrógeno}$$

Tanto C_c como N se expresan en mgr/litro por lo que el coeficiente es adimensionado. El valor del nitrógeno total puede sacarse de los análisis del líquido cloacal a tratar. El porcentaje de recuperación de nitrógeno que absorven las algas varía de acuerdo a la temperatura del ambiente, habiendo determinado Oswald y Gotaas que varía desde el 50% en tiempo de invierno a 75% en tiempo de verano.

Cuando el nitrógeno se obtiene solo del análisis de las células de algas la fórmula quedaría reducida a

$$C_c = 10 N$$

Experimentos efectuados en el laboratorio y en las plantas pilotos han demostrado esta correlación entre el crecimiento de las algas y la desaparición del nitrógeno del amoníaco del medio.

5.1.1.5.- Temperatura específica de combustión.-

La magnitud de la temperatura específica de combustión h , para varios cultivos ha sido determinada por dos métodos independientes:

El primer método se puede determinar mediante fórmulas empíricas de Spocher y Milner partiendo del análisis elemental de las algas. Conociendo el porcentaje de C , H , y O podemos escribir:

$$R = \frac{2.66 \times \%C + 7.94 \times \%H + \%O}{398.9} \times 100$$

$$h = \frac{R}{7.89} + 0.4$$

h = Kilo-calorías

Un segundo método experimentado por Gotaas y Oswald para determinar la temperatura de las algas es la combustión de las células deshidratadas de las algas en un calorímetro de una bomba de oxígeno. Valores de, h, entre 5.5 y 6.5 K calorías gramo de material de algas volátiles han sido determinadas por este método. Estos valores son algo más altos de lo que podría esperar en vista del alto contenido de proteínas en las algas, e indica probablemente una alta propensión de lípidos en el contenido celular orgánico.

Desde que hay una pequeña variación en la magnitud de los valores de la temperatura de combustión un valor promedio de 6.0 Kcalorías por gramo de materia orgánica de las algas se puede utilizar en el diseño de las unidades de crecimiento.

5.1.1.6.- Razón de oxígeno a alga en peso

El factor, P, que expresa la razón del peso del oxígeno liberado y el peso de las células de las algas del material sintetizado, se puede determinar del análisis de la composición elemental de la materia orgánica en las algas. Por ejemplo, un análisis de las células de las algas en una laguna demostró los siguientes porcentajes de los elementos indicados: C = 59.3% ; H = 5.24% ; O = 26.3% y N = 9.1% sobre la base de peso en seco sin cenizas.

Luego:

$$\text{Peso de oxígeno} = \frac{26.3 \times 16}{100} = 4.21 \text{ mgr/litro}$$

$$\text{Peso del Nitrógeno} = \frac{9.1 \times 28}{100} = 0.254 \text{ mgr/lit}$$

Concentración de algas = $C_c = 10 N = 10 \times 0.254 = 2.54 \text{ mgr/lit}$

$$\text{Factor } P = \frac{W_o}{C_c} = \frac{42.1}{2.54} = 1.56$$

Valores de, P, en experimentos de plantas pilotos han variado entre 1.50 y 1.75. Un valor promedio de 1.6 gr. de oxígeno por gramo de células de algas se recomienda para el diseño de la laguna.

5.1.1.7.- Demanda Bio-química de oxígeno.-

La BOD, L_t , es una medida de la materia orgánica oxidada en el desagüe; también se puede usar para estimar la cantidad de alimentos nutritivos disponibles para el crecimiento de algas luego de la oxidación bacteriana, así como para estimar la cantidad de oxígeno, que debe ser disponible para mantener las condiciones aeróbicas. Dado que la razón del peso de oxígeno que se desprende al material celular sintetizado de las algas es conocida; el peso deseado de las algas C_c , para ser desarrollada o cultivada para satisfacer la demanda de oxígeno se puede estimar en la ecuación (7). Normalmente el peso de las algas estimadas de esta manera es menor que el que actualmente pesa, puesto que algo de CO_2 de la atmósfera se disuelve en el líquido, suministrando una fuente adicional de carbono aumentando el L_t . De allí que la razón del peso de las algas al peso del BOD es generalmente menor que 1 bajo condiciones normales promedios.

5.1.1.8.- Coefficiente de temperatura

La influencia de la temperatura en el crecimiento de la *Chlorella* en desechos orgánicos cuando otras condiciones estuvieran cerca del punto óptimo se muestra en la fig. N° 3. La BOD a

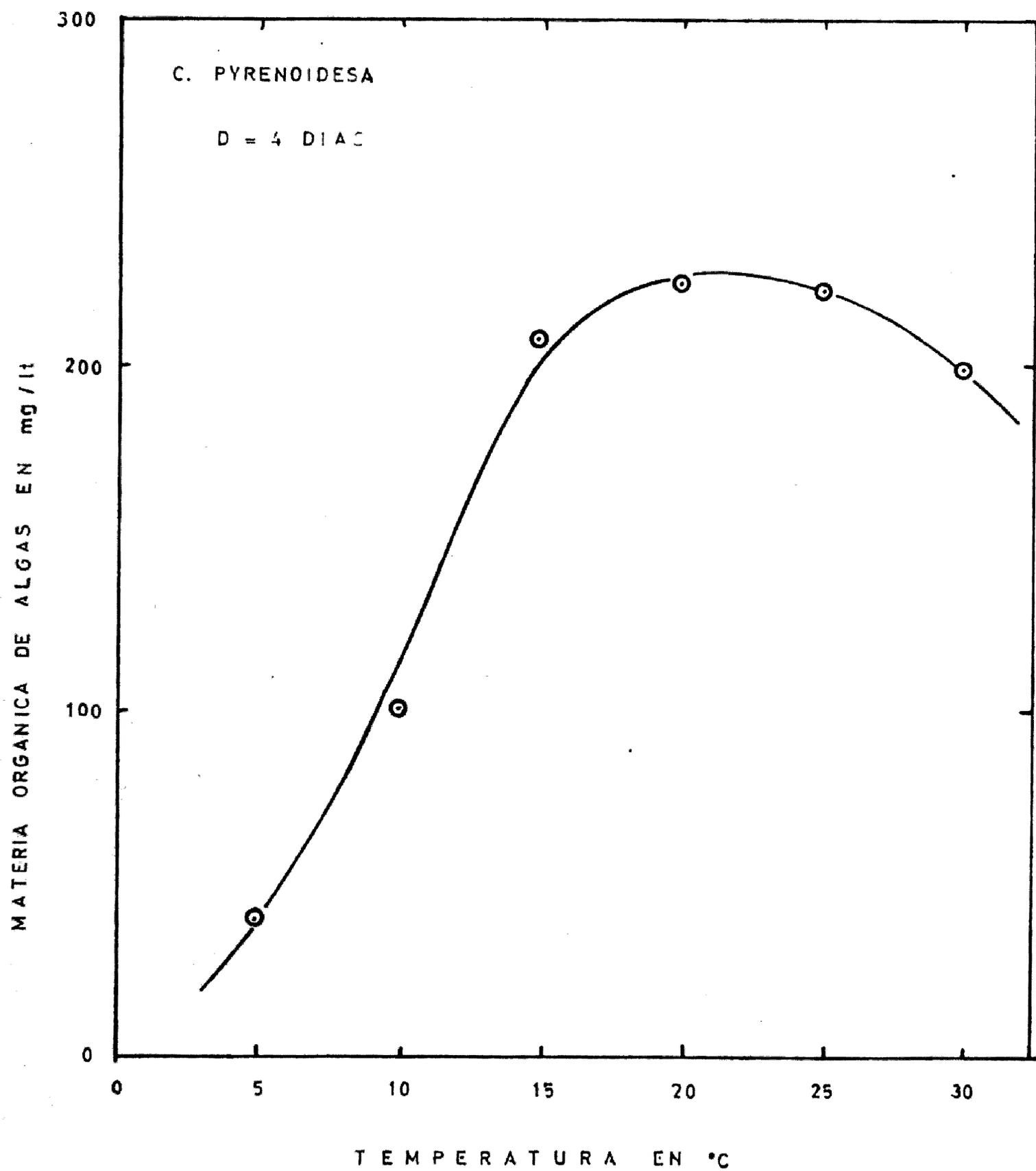


FIG. 3 MATERIA ORGANICA DE ALGAS
VS
TEMPERATURA

20°C del desagüe en este experimento fué cerca de 175 mgr/litro. Una máxima concentración de células de cerca de 225 mgr/litro, fué obtenido cuando la temperatura del cultivo fué cerca de 20°C. Sin embargo una concentración de células de 100 mgr/litro pudo haber liberado oxígeno equivalente a la BOD del desagüe. Pero la mayor eficiencia del desagüe ocurre a temperaturas entre 15 y 25°C, pudiendo deducir que la proporción disminuída de excreción del BOD a bajas temperaturas, las algas producirían oxígeno suficiente para satisfacer los requisitos del BOD a temperaturas reducidas.

El contenido de clorofila en las algas que crecieron a 30°C es significativamente más bajo que cultivos a 20 y 25°C de lo que deduce aparentemente que a temperaturas más altas no son favorables para la producción de clorofilas en estas especies de *Chlorella* cuando crecen en desagües; a pesar de que Myers ha encontrado especies de *Chlorella* cuya temperatura óptima de crecimiento está sobre los 30°C. Estudios referentes a la temperatura óptima de la producción de las algas no han sido suficientemente desarrolladas como para permitir coeficientes de temperatura muy precisos para ser utilizados en el diseño. Sin embargo es aparente que los márgenes de temperatura para las condiciones óptimas de crecimiento de la *Chlorella pyrenoidosa*, *Sckenedesmus oblicus*, *Euglena brasiliis* y otras algas que crecen bastante bien en desagües es de aproximadamente 20 a 25°C. Oswald y Gotaas recomiendan coeficientes de temperatura de 0.60 a 0.75 para invierno y de 0.95 a 0.98 para verano.

5.1.1.9.- Energía solar

Como se indica anteriormente, la intensidad de la luz y la cantidad diaria de energía solar que llega a la superficie de la tierra es una función astronómica, geográfica y meteorológica,

son fenómenos de este tipo que producen grandes variaciones día a día y de estación a estación. Sin embargo el promedio mensual de insolación se puede predecir en cualquier localidad con razonable exactitud si los datos geográficos y climatológicos son disponibles. La tabla II publicada por Oswald y Gotaas para la Latitud Norte presentan las predicciones de los valores máximos y mínimos de la energía solar en un determinado lugar de la tierra. El uso de la tabla II se indica con la siguiente porción del cuadro para el mes de Junio con una Latitud de 21°N

Latitud Norte		Mes: Junio		
Grado	Rango	Visible	Total	
21°N	Max	285	742	cielo despej.
	Min	150	388	tiempo nublado

Los números mostrados en el rectángulo representan la visibilidad de la insolación total, ambos directos y difusos, incidente en una superficie horizontal expresada en langleys por día. Los valores de la columna derecha son la insolación total (ultravioleta, visible e infrarrojos) mientras que en la columna izquierda es la porción de esta radiación total, en la cual cae dentro del rango visible, esto es la importancia de radiaciones de longitud de onda de 4,000 Å a 7,000 Å la cual penetraría una superficie de agua con facilidad. Los máximos valores representan en cada caso el promedio diario del valor de la energía radiante la cual debe ser recibida durante tiempo seco. El cálculo de los valores máximos están tomados dentro de todas las consideraciones de los factores de la influencia de la insolación. Hay pequeñas posibilidades que estos valores podrían ser excedidos por el valor promedio

para cualquier entrega mensual. Los valores mínimos representan el valor promedio diario que deben ser recibidos durante tiempos muy nublados. Estos mínimos reflejan interpolaciones gráficas o extrapolaciones de observaciones mínimas durante el período de 10 años. De este modo, aunque estos valores mínimos no reflejan los records de los peores días, hay pequeños accidentes que en cualquiera de las estaciones experimentaría mensualmente promedios apreciablemente bajos.

Para los calculos de diseño se tomarán los datos de energía solar visible mínima los que serán corregidos por efecto de altura y nubosidad. En la misma tabla se encuentran fórmulas para estas correcciones.

5.1.1.10.- Eficiencia fotosintética aparente

La eficiencia aparente, F , de la utilización de la energía solar en la fotosíntesis varía con cada uno de los factores discutidos afectando como consecuencia la vida de las células de algas. Aunque el límite superior de, F , no ha sido absolutamente establecido, según Kraus debe ser más del 50% en ciertas condiciones. Sin embargo, en la utilización de la energía solar para la estabilización de desagües el problema de máxima eficiencia es grave, existiendo muchos impedimentos prácticos. Por ejemplo un impedimento práctico es la intensidad de saturación de las células de algas ya que el mecanismo de las células de algas llegan a saturarse en la época de luz de alta intensidad. Bush con su ecuación:

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

en lo I_i es la intensidad de luz incidente

I_s " " " " " de saturación de las algas

Investigaciones hechas por Kok y otros han demostrado que exponiendo las células de algas intermitentemente a la luz y parcialmente a la obscuridad se sobreponen al problema de la saturación y mejora en algo la eficiencia. Como un medio de efectuar este objetivo en lagunas grandes es mezclar vigorosamente a las algas en forma artificial.

La profundidad y el período de detención de la laguna tienen un gran efecto sobre la eficiencia en el crecimiento de los cultivos de algas en desagües orgánicos, expuestos a la luz natural. La fig. 4 presenta el promedio aparente de la eficiencia lograda en una planta piloto en Richmond, California, durante el verano y otoño de 1,954. En estos experimentos el control de la laguna se hizo tomando en cuenta variaciones en la temperatura, luz y características del desagüe. Los datos de la curva A demuestran que para las condiciones anotadas una eficiencia óptima de 6.8%, fué lograda en un período de detención de 2 días; mientras la eficiencia baja con un período de detención de 1 día donde la presencia de células de algas es insuficiente para absorber el promedio de luz y también la eficiencia baja para un período de detención de 3 y 4 días donde refleja una disminución importante de nutrientes según el incremento de la concentración de células. La curva B indica que la eficiencia incrementa aproximadamente linealmente con la profundidad, probablemente por que la luz llega a ser absorbida por una porción grande del cultivo a grandes profundidades y también por que el valor de nutrientes por célula se incrementa.

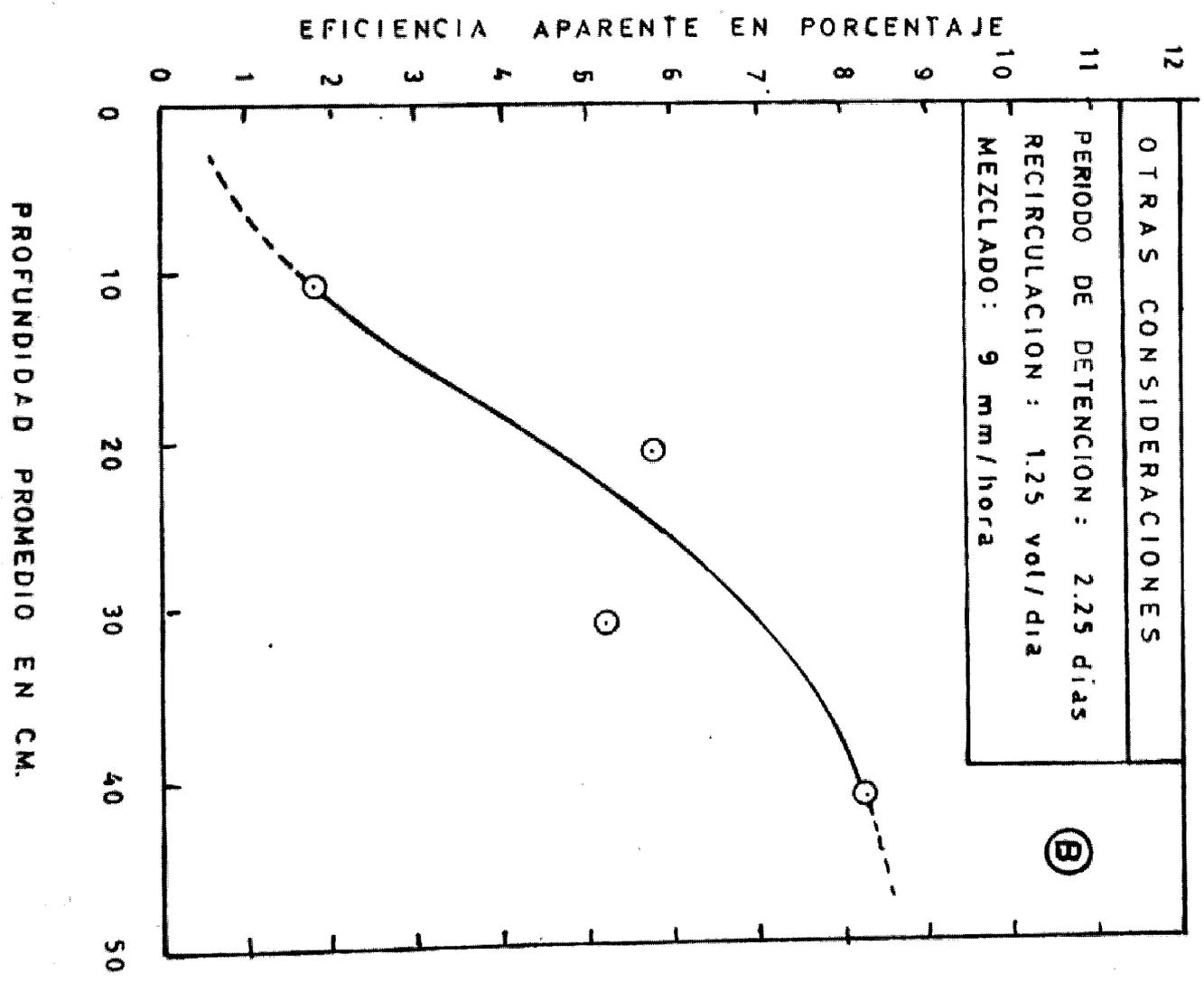
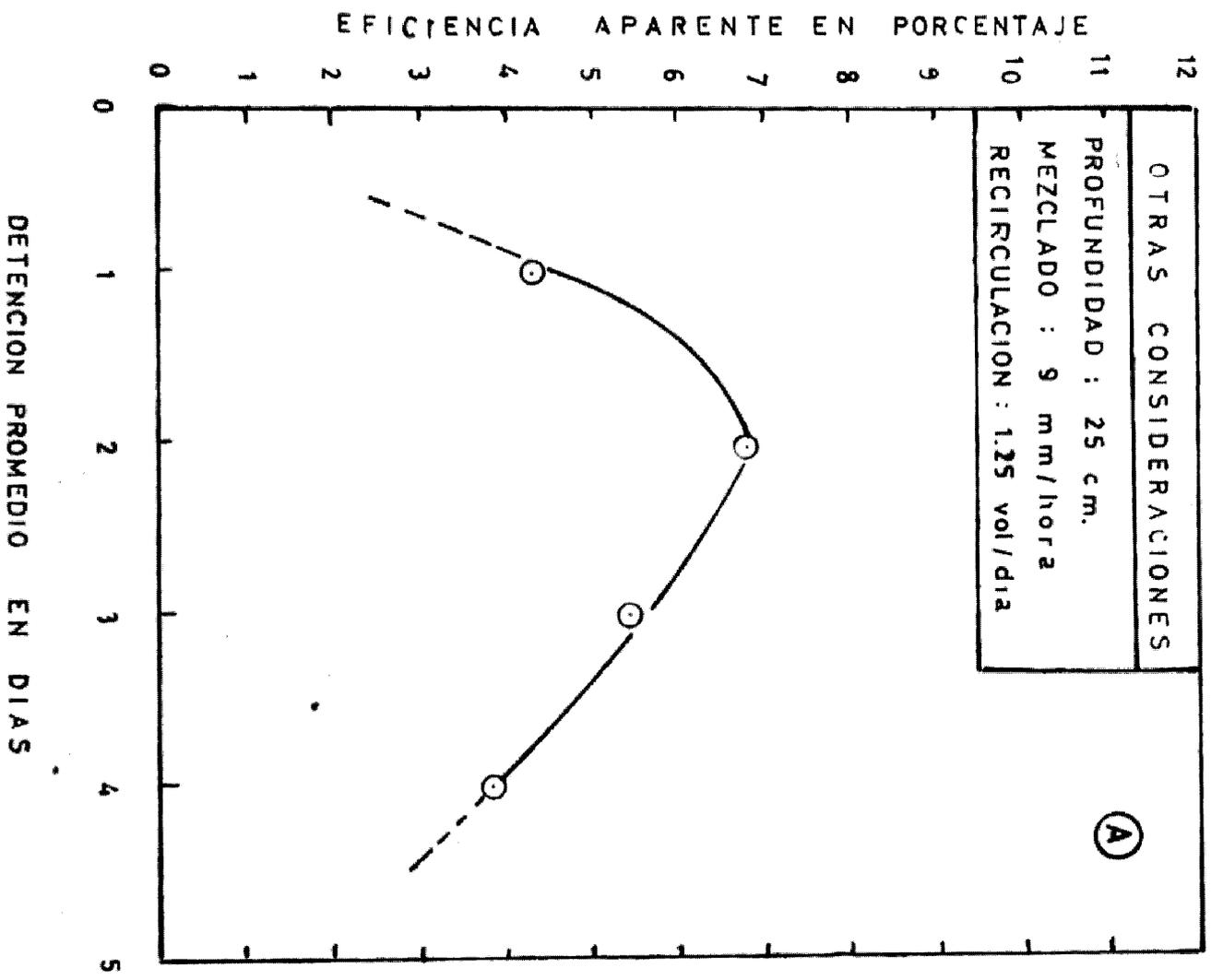


FIG: 4 EFICIENCIA FOTOSINTETICA APARENTE

Si bien esto es considerado a lograr una alta eficiencia fotosintética hay dos requerimientos en los cultivos de algas en desagües orgánicos los cuales limitan la eficiencia fotosintética que debe ser económicamente lograda:

1ro.- Con alta eficiencia los nutrientes se convertirán en células de algas resistentes

2do.- La concentración de células puede ser suficientemente alta para permitir una separación económica de las algas del líquido.

Los resultados de los estudios de las plantas piloto indican que la eficiencia fotosintética aparente de 5 a 8% es alcanzada con concentraciones de células de algas suficientemente densas para utilizar los nutrientes y permitir la recolección de las células. Gotaas y Oswald recomiendan valores de F de 6% para verano y 8% para invierno.

5.2.- Carga superficial

Al considerar este factor hay que tener en cuenta de que es aquí donde los criterios de diseño difieren más entre sí. Hay que tener en cuenta que los estudios y experimentos realizados han sido hechos en diferentes climas.

Existen en la actualidad muchos criterios para estimar la carga orgánica de las lagunas de estabilización; los principales son:

a) Matemáticamente su puede obtener por la fórmula:

$$\text{Carga} = \frac{\text{Profund.} \times \text{BOD}}{\text{Período detención}}$$

o por la formula experimental de Neel:

$$C_{\text{BOD (5 días)}} \text{ (lib/acre/día)} = \frac{\text{Intensidad lumínica mínima total}}{2}$$

b) Experiencias Norteamericanas indican como valores recomendables de 10 a 50 Kg BOD/ha/día, así tenemos que en Dakotas han sido utilizados valores de 10 a 20 Kg BOD/ha/día y en Texas valores de 10 a 50 Kg BOD/ha/día.

En países tropicales la carga aplicada puede superar los 100 Kg BOD/ha/día, así en Rodesia del Sur (Africa) se ha obtenido buenos resultados en lagunas que reciben efluentes de 150 Kg de BOD/ha/día y en Kenya (Africa) se obtuvieron buenos resultados con tasas de aplicación más elevadas 225 Kg/ha/día.

5.3.- Area

El área puede calcularse de acuerdo a dos criterios:

1ro Usando como criterio la carga de BOD según la fórmula:

$$A = \frac{\text{BOD} \times V}{100 C}$$

2do Usando como criterio la carga hidráulica según la fórmula:

$$A = \frac{Q_{\text{máx diar}} \times \text{P.D.}}{d}$$

en lo que A : área dado en hectáreas

V : volumen de desagüe por día : lit/día

C : carga superficial : Kg BOD/ha/día

$Q_{\text{máx diar}}$: Gasto máximo diario en m^3/seg

P.D. : período de detención en segundos

d : profundidad en metros

Estas áreas deben estar afectadas por consideraciones de evaporación y precipitación. De estas dos fórmulas la de mayor criterio es la que está en función de la carga de BOD.

El área de las lagunas de oxidación varía de acuerdo a una serie de factores como volumen del agua a tratar, datos climatológicos, períodos de retención, profundidad etc.

En climas fríos los desagües son retenidos en la laguna con pequeñas descomposiciones, y requiere cargas bajas de BOD para la transición de las condiciones aeróbicas a anaeróbicas. En algunos estados de E.E.U.U. de clima frígido se emplean cargas de 20 a 25 Kg BOD/ha/día.

En los climas calurosos donde la temperatura y luz del sol permiten la actividad fotosintética se puede permitir una carga de BOD de 56 Kg BOD/ha/día en invierno a 168 Kg BOD/ha/día en verano para lagunas de 0.60 a 1.20 m. de profundidad.

En climas intermedios, donde los inviernos son caracterizados por largos períodos fuertemente nublados y cubiertos de hielo, requieren máxima flexibilidad operacional de profundidad y área.

6.- FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO ADECUADO DE UNA LAGUNA DE OXIDACION

Los factores que afectan el funcionamiento adecuado de una laguna de oxidación se dividen en dos grandes grupos:

a) Factores controlables como: ubicación, forma, área, profundidad, número, y disposición de las unidades, detalles de construcción como diques, uniformidad del fondo, tipo de entradas y salidas y

problemas de mantenimiento.

2.- Factores incontrolables, como: temperatura, nubosidad, intensidad de la radiación solar, precipitación y evaporación y vientos reinantes.

6.1.- Ubicación

a) Las lagunas de estabilización deben estar tan alejadas de las poblaciones como esto sea práctico y económicamente posible. Se recomienda una distancia de 800 m. de la comunidad más cercana y 400 m. de la residencia más próxima. Estas distancias pueden reducirse si se emplean únicamente lagunas aeróbicas de carga baja.

b) Las lagunas de estabilización deben ser ubicadas de tal forma que el olor sea llevado en dirección a áreas deshabitadas.

c) De preferencia se deben ubicar en los sitios en los cuales se permita un discreto viento a través de la superficie de la laguna.

d) Las lagunas deben estar orientadas, para permitir una máxima utilización de la luz del sol.

e) Debe evitarse que filtraciones provenientes de una laguna contaminen fuentes subterráneas de agua. La contaminación bacterial solo es probable donde existen terrenos rocosos con fallas, pero la contaminación química, incluyendo detergentes, puede llegar hasta unos 100 m. en terreno granular grueso.

6.2.- Forma

La forma de una laguna no es un factor decisivo y por eso es conveniente usar la forma que requiere menor movimiento de tierra. No deben haber partes muy estrechas o islas, para evitar la acumu-

lación de supernadantes.

6.3.- Número de unidades

Una serie de unidades o uno dividido en compartimientos proporcionan mejor tratamiento que uno solo sin dividir. Pero en un gran número de casos ha sido adoptado una sola unidad generalmente cuando no hay mucha área o los terrenos son costosos. Esta unidad según Parker debe tener como máximo 4 ha., aunque en E.E.U.U. existen lagunas comprendidas entre 3 y 20 ha. Cuando se adopta varias unidades se pueden considerar ya sea en paralelo o en serie, pero es más recomendable que el sistema de unidades sea en serie para permitir que el efluente pueda alternarse entre varios estanques.

6.4.- Dikes

Los dikes deben tener de 0.60 m. a 1.00 m. más de altura que el nivel máximo previsto de las aguas. Deben ser de un material compacto e impermeable. El ancho de la cresta debe ser suficiente como para permitir el paso de vehículos de mantenimiento y control de la mala hierba.

El talud hacia la laguna debe tener de 1 vertical a 3 horizontal para instalaciones pequeñas y de 1 vertical a 5 horizontal en instalaciones grandes. El talud exterior no debe ser menor que el talud interior. Estos valores deben servir de guía solamente y se deben modificar de acuerdo con el material empleado.

6.5.- Fondo de la laguna

- a) Debe estar nivelado, no permitiéndose tener irregularidades de ± 10 cms,
- b) Debe estar completamente libre de vegetación y escombros.

6.6.- Ingreso a la laguna

La entrada a la laguna puede ser simple o múltiple, siempre que se asegure una distribución adecuada, reduciendo al máximo los cortos circuitos y áreas muertas en las lagunas. Esta puede ubicarse en el centro, en lagunas pequeñas; o a 15 o más metros en lagunas grandes.

El uso del ingreso múltiple llevará a cabo una distribución más grande y uniforme del asentamiento de los sólidos y reduce el problema de anaerobiasis en torno al ingreso de la laguna.

Para evitar la erosión en la entrada, esta debe protegerse con una estructura de concreto de por lo menos 3 metros de diámetro.

6.7.- Salida de la laguna

- a) La salida debe colocarse de tal forma que evite los cortos circuitos en la laguna
- b) Debe ser construída de manera tal, que flexibilice la operación de la laguna según la profundidad deseada.
- c) Debe ser construida de tal forma que permita descargar completamente la laguna, para permitir la limpieza del fonde.
- d) La salida puede ser limpia o múltiple, pero debe estar lo más alejada posible de la entrada.

6.8.- Problemas de mantenimiento en una laguna

- a) Control de la erosión
- b) Erradicación de malezas limpiando periódicamente los taludes interiores de los dikes

- c) Control de animales minadores colocando cercas
- d) Eliminación de criaderos de mosquitos haciendo variar periódicamente el nivel de las lagunas o empleando insecticidas o haciendo criar peces tal como la liza que se alimenta de las larvas.
- e) Mantenimiento del nivel del agua, el cual es afectado por las precipitaciones, evaporación e infiltración.

6.9.- Nubosidad

El grado de nubosidad en el cielo es un factor que tiene una gran influencia en la eficiencia fotosintética de las algas por cuanto su presencia en el cielo impide el paso de la energía luminosa la cual es grandemente aprovechable en el proceso fotosintético.

6.10.- Precipitación

La precipitación es un factor que debe ser considerada, puesto que de acuerdo a su intensidad aumentaría el volumen de las lagunas de estabilización. Además la precipitación constituye un problema por cuanto ella puede contribuir en parte a dañar los terraplenes o diques de las lagunas o también originando el lavado de las orillas incrementando en parte los sólidos sedimentables en el fondo de la laguna. Por otra parte la precipitación contribuye a una mayor dilución de las aguas negras en las lagunas, lo que permite una menor carga de BOD necesaria para la estabilización de la materia orgánica.

6.11.- Vientos reinantes

La acción de los vientos favorecen en algo la aeración superficial de los desagües proporcionándoles oxígeno, per-

mite la formación de ondas en la superficie actuando como agente dispersante de las algas y bacterias; de allí que hay que orientar a las lagunas en su mayor longitud en la dirección de los vientos. Las ondas provocadas por los vientos fuertes pueden provocar la erosión de los dikes.

Los factores de temperatura, área, profundidad, intensidad lumínica, energía solar ya han sido tratados anteriormente.

7.- Pretratamiento

El pretratamiento depende de la calidad de los desagües así por ejemplo en los E.E.U.U. donde los desagües casi siempre están libres de materiales sólidos sedimentables por el cuidado que tienen sus habitantes de no arrojar estos sólidos pesados al desagüe, no requieren un tratamiento previo; en cambio acá en los países de Sudamérica donde no existe ese cuidado que se le debe dar al desagüe en el momento de su evacuación, es necesario darle un tratamiento previo a base de rejillas y desarenador con el objeto de eliminar los sólidos sedimentables.

8.- Recirculación

La recirculación solo es recomendable en los sistemas aeróbicos-anaeróbicos y en los sistemas anaeróbicos con carga alta a partir de 225 lib/acre/día o más. La cantidad recomendable para la recirculación varía de 10 veces el gasto medio diario aunque está sujeta aun a experiencias.

La recirculación en el interior de la laguna puede ser usada con ventaja cuando es deficiente en algas, levantando el ni-

vel de oxígeno disuelto y para alterar y nivelar el pH.

Tambien la recirculación es de vital importancia en la transferencia de oxígeno disuelto, alcalinidad, CO₂ de una laguna a otra, tanto, como para obtener una operación eficiente del complicado proceso biológico.

.....
.....

C.- EXPERIMENTOS EN PLANTAS PILOTOS

Las clases de experimentos que vamos a exponer tienen fines distintos ya que los primeros que fueron realizados en Richmond-California-E.E.U.U. por Oswald y Gotaas se refieren al logro del comportamiento de las lagunas, sus factores de oxigenación, la razón de la profundidad y período de detención requeridas para su máxima eficiencia, en conclusión obtener todos los factores que intervienen en el diseño de una laguna; mientras que los segundos realizados en la ciudad de Córdoba- Argentina por el Ing. Juan Manuel Martínez se refieren a la eficiencia de la laguna en el tratamiento de los desagües en cuanto a remoción de BOD, a remoción de sólidos, a determinaciones de pH, de amoníaco y a análisis bacteriológicos.

I.- EXPERIMENTOS EN PLANTAS PILOTOS DE RICHMOND-CALIFORNIA-E.E.U.U.

Estas investigaciones fueron hechas en varias lagunas mostradas diagramáticamente en la fig. N° 5 . Las dimensiones para la laguna I son 80 pies (24.00 metros) de largo por 36 pies (1.05 m) de ancho en la parte superior, 2'6" (0.75 m) de ancho en el fondo. Para la laguna II sus dimensiones son 65 pies (19.5 m) de largo, 14 pies (4.20 m) de ancho en la parte superior y 10 pies (3.00 m) de ancho en el fondo. La laguna III está compuesta de 3 unidades idénticas denominadas III A, IIIB, IIIC; las cuales tienen por medidas 35 pies (10.50 m) de largo, 11 pies (3.30 m) de ancho en la parte superior y 5 pies (1.50 m.) de ancho en el fondo. La profundidad del líquido a usar en los experimentos en los cuales los análisis reportados están basados, varían de 8 a 36 pulgadas (0.20 a 0.90 m) para condiciones de verano e invierno, los períodos de de-

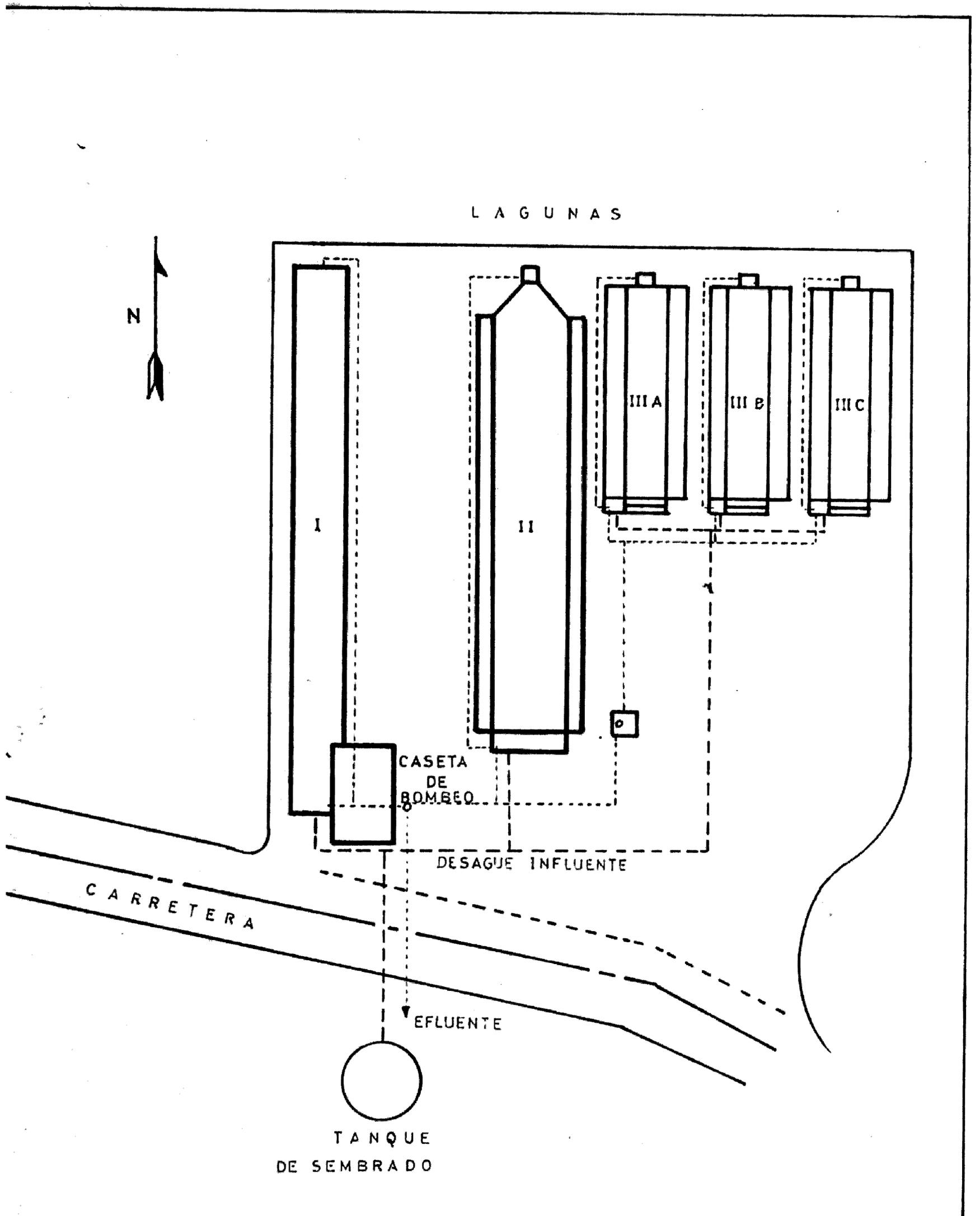


FIG. 5 DISPOSICION DE UNA PLANTA PILOTO DE LAGUNA DE ESTABILIZACION EN RICHMOND - CALIFORNIA.

tención fueron variables según se muestra en las tablas III y IV; y las lagunas fueron operadas continuamente con mantenimiento automático de las profundidades y períodos de detención deseados.

El desagüe usado en los experimentos fueron obtenidos de origen doméstico de una de las principales cloacas de la ciudad de Richmond, California. El promedio del tiempo de sembrado para este desagüe fué de 1 1/2 horas previas al uso.

La profundidad y período de detención se ajustaron en cada experimento del cual las lagunas fueron usualmente operadas para un mínimo de 3 a 30 días de periodo de detención. Cuando se ensayó períodos de detención de 1, 2 o 3 días los experimentos fueron continuados despues que la laguna había sido aclimatada en un mínimo de 10 días.

Determinaciones diarias de la intensidad de luz y la energía, del pH de las células de algas y del oxígeno disuelto fueron hechas en el efluente de la laguna; y el BOD, pH y alcalinidad en el desagüe influente durante el tiempo de aclimatación de la laguna durante el experimento. El Oxígeno disuelto en la laguna fué medido en la mañana y en la tarde. Observaciones del BOD, del supernadante de la laguna, fueron hechas despues de haber sido removidas las algas por centrifugación. La energía de luz visible por cm^2 recibido por la laguna fué medida por un Pyroheliometer. La medida de la población de algas, del peso, calor de combustión y contenido de clorofila tambien fueron hechas.

1.1.- Resultados

Los resultados de los experimentos en el cual la profundidad y períodos de detención fueron variados durante las condi-

ciones de operación de verano están demostrados en la tabla N° III. Los resultados de los estudios similares conducidos durante el invierno están mostrados en la tabla N° IV.

1.2.- Comportamiento de la laguna en verano

Para ilustrar el comportamiento de las características en las lagunas en el verano algunos de los resultados de la laguna II para 12, 24 y 36 pulgadas (0.30, 0.60 y 0.90 m) de profundidad están ploteados en las figuras 6., 7. y 8.

En la figura N° 6, la carga de BOD, remoción de BOD, producción fotosintética de oxígeno determinadas del peso de células de algas y la eficiencia de la utilización de la energía luminosa para las 12" (0.30 m) de profundidad experimentales están ploteadas con respecto al período de detención. Después de un período de detención de 2 días la diferencia entre el BOD aplicado y remoción de BOD es aproximadamente constante, donde el porcentaje de remoción de BOD es máximo a partir del período de detención de 2 días a pesar de que con un período de detención de 1 día, la remoción de BOD es un máximo; pero sin embargo representa solo un 50% de la aplicación de BOD.

El oxígeno disuelto detectable no se presentó en la laguna durante el experimento de un período de detención de 1 día indicando el fracaso o debilitamiento del proceso fotosintético para suplir suficiente oxígeno. A un período de detención de 2 días la producción de oxígeno fotosintético fue igual a la carga de BOD. Como se indica en la línea 15 de la tabla N° III, la eficiencia fotosintética para proveer oxígeno igual a la carga de BOD en este crítica

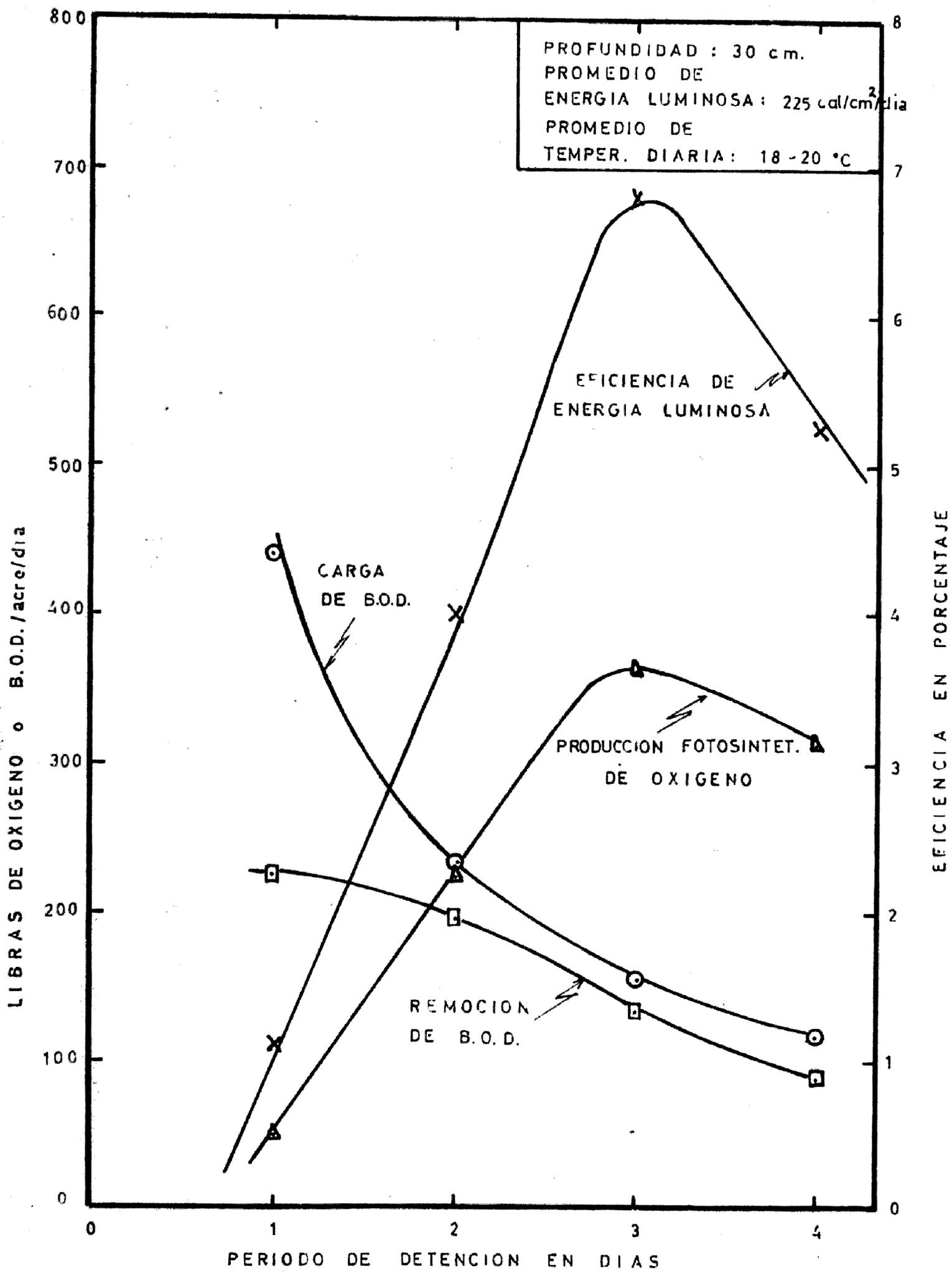


FIG 6 COMPORTAMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE 30 cm. DE PROFUNDIDAD OPERADA EN VERANO EN DIFERENTES PERIODOS DE DETENCION.

caso es 4%. La eficiencia fotosintética aparente para este periodo de detención de 2 días es también 4% y por lo tanto el factor de oxigenación $\frac{F}{F_c}$ es 1. Con un periodo de detención de 3 y 4 días, la eficiencia fotosintética aparente fue por encima que el requerido y el oxígeno producido excede a la carga de BOD por más del doble.

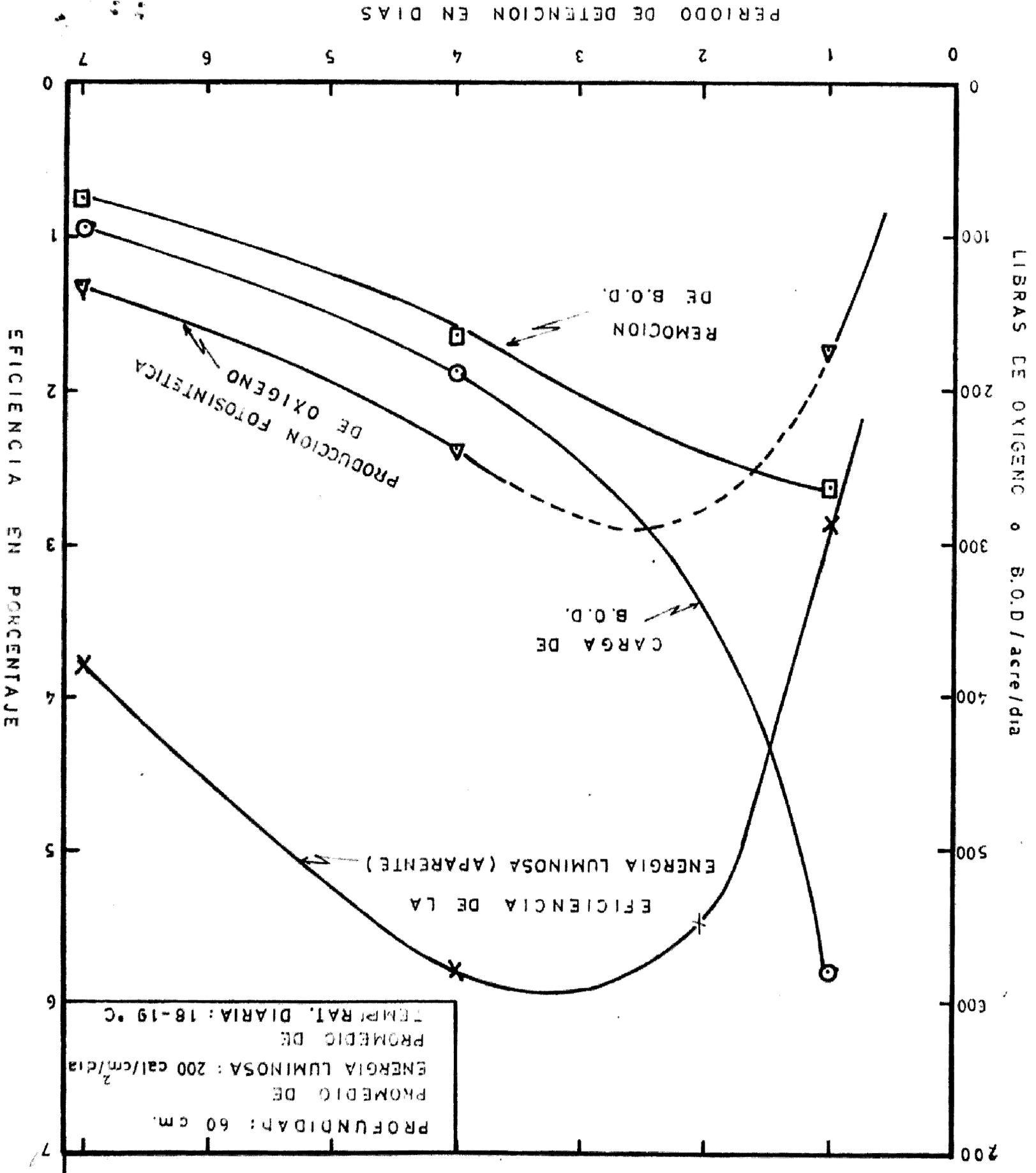
Se notó que el consumo de energía luminosa anotada en la tabla N° III para los 3 experimentos de 0.20 m. de profundidad en la laguna I es considerablemente menor que la energía visible reportada en la laguna II durante un periodo de tiempo. A una profundidad de 8" (0.20 m.) el muro alto de la laguna I impidió aproximadamente 40% de la luz visible diaria de cada superficie de agua, bajando la concentración del oxígeno disuelto durante las horas de la mañana.

Los resultados de los experimentos de la laguna III (tabla N° III) en la cual fueron usados una profundidad de 14" (0.25 m.) y un periodo de detención de 4 días, demuestran que el comportamiento de variados factores de oxigenación de 2.2 a 3.8, indicando que mucho más oxígeno fue producido en esta prueba que el que fue requerido.

Los resultados de los experimentos para la laguna de 24" (0.60 m) de profundidad tomados en serie de Julio a Agosto de 1954, que son buenas épocas de temperatura, son mostrados en la fig. N° 7. La más alta remoción de BOD en lagunas en libras por acre por día fueron obtenidas con un periodo de detención de 1 día cuando la carga fue de 580 de libras BOD/acre/día; sin embargo solamente el 41% del BOD total fue removido. Puesto que el factor de carga $\frac{d}{D} = \frac{\text{Profundidad}}{\text{Periodo de detención}}$ fue muy bajo y el oxígeno disuelto

VERANO A DIFERENTES PERIODOS DE DETENCION.

FIG 7 CARACTERISTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE 60 CM. DE PROFUNDIDAD OPERADA EN



se presentó raramente en la laguna, se pensó que una gran parte de la remoción de BOD fué acompañada por la descomposición anaeróbica del fango sembrado en el fondo de la laguna. El más alto porcentaje de remoción de BOD en esta serie ocurrió con una detención de cerca de 3 días. La curva para la producción de oxígeno fotosintético (fig 7) indica que la producción de oxígeno fué igual a la carga de BOD con un período de detención de cerca de 2.5 días, tiempo en el cual la eficiencia fotosintética aparente fué aproximadamente 6.0% y la eficiencia requerida con respecto a la máxima remoción de BOD que ocurre en un período de detención de 3 días la ~~eficiencia~~ ~~aparente~~ fué de 5.5.%, mientras que la eficiencia empírica según se demuestra en la tabla N° III, fué 3%. Con un período de detención de 7 días, la eficiencia aparente comenzó a decrecer, mientras que el factor de oxigenación incrementó a 2.3% indicando un exceso en la producción de oxígeno. La remoción de BOD disminuyó probablemente por que el alto pH producido por las algas deben haber inhabilitado parcialmente la oxidación bacterial.

Los resultados de la tabla N° III para los 36" (0.90 m) de profundidad de las lagunas operadas en períodos de detención de 5, 10, 20, y 30 días están representados en la figura N° 8. A causa de la niebla intermitente el promedio de energía luminosa fué solo cerca de 200 calorías por cm^2 por día. Debido a largos períodos de detención y un desagüe un tanto más débil, la carga de BOD es mucho más baja que aquellos de los otros experimentos. La producción fotosintética de oxígeno excedió a la carga de BOD con un período de detención más largo que 8 días, y fué grandemente en exceso en 20 y 30 días de detención. La máxima eficiencia lograda fué aproximadamente 4% en un período de detención de 5 días. Según está indicada en la tabla N° III, fueron observados factores de oxigenación 0.7, 1.5

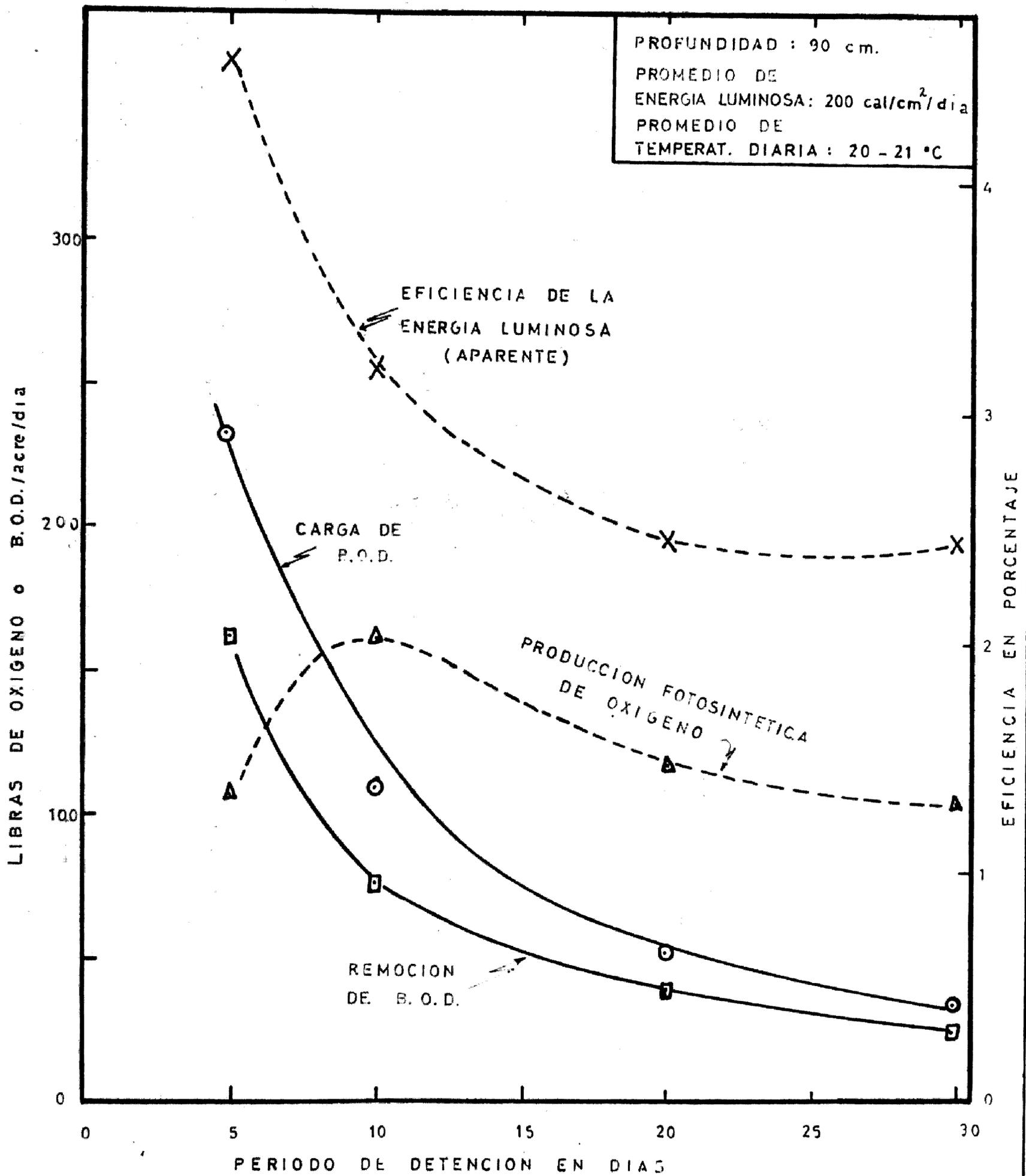


FIG 8 CARACTERISTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE 90 cm. DE PROFUNDIDAD OPERADA EN VERANO A DIFERENTES PERIODOS DE DETENCION

2.2 y 3.2 respectivamente para períodos de detención de 5, 10, 20 y 30 días.

1.3.- Operación de las lagunas en invierno

Los resultados para lagunas operadas a profundidades de 0.30 a 0.90 m (12 a 36") en invierno están mostradas en la tabla N° IV. Seis experimentos en la laguna II usando una profundidad de 12" (0.30 m) y una detención de 3 días con cargas variables de BOD, fueron operadas durante el invierno de 1,954-55. Estos experimentos demostraron que la remoción de BOD varía de 65 a 92%. Pudo ser notado que la energía luminosa disponible fué más baja en verano y el factor de oxigenación fué bajo excepto en Diciembre y Feb.

La fig. N° , presenta los resultados de la operación de la laguna I a una profundidad de 18" (0.45 m) con períodos de detención de 1.5, 3, 5, y 7 días. El tiempo fué nublado durante estos períodos, así que la cantidad de energía luminosa diariamente recibida por la laguna fué pequeña. Se vé de los resultados de la tabla N° IV y fig. N° 9 que la laguna fué sobrecargada y el factor de oxigenación fué siempre menor que 1. Sin embargo, la remoción de BOD fué tan alta como 77% en los 5 días de período de detención. La laguna fué más aeróbica durante el tiempo de las horas de luz al día cuando los períodos de detención fueron 5 y 7 días; sin embargo la laguna llegó a ser anaeróbica y produjo mal olor en la noche. El oxígeno disuelto no se presentó en un período de detención de 1.5 días, y apareció ocasionalmente solo durante los días iluminados con un período de detención de 28 días. El factor de oxigenación para 7 días fué de 0.79. Se estimó que un período de detención de aproximadamente 10 días pudo haber sido necesario para producir un fac-

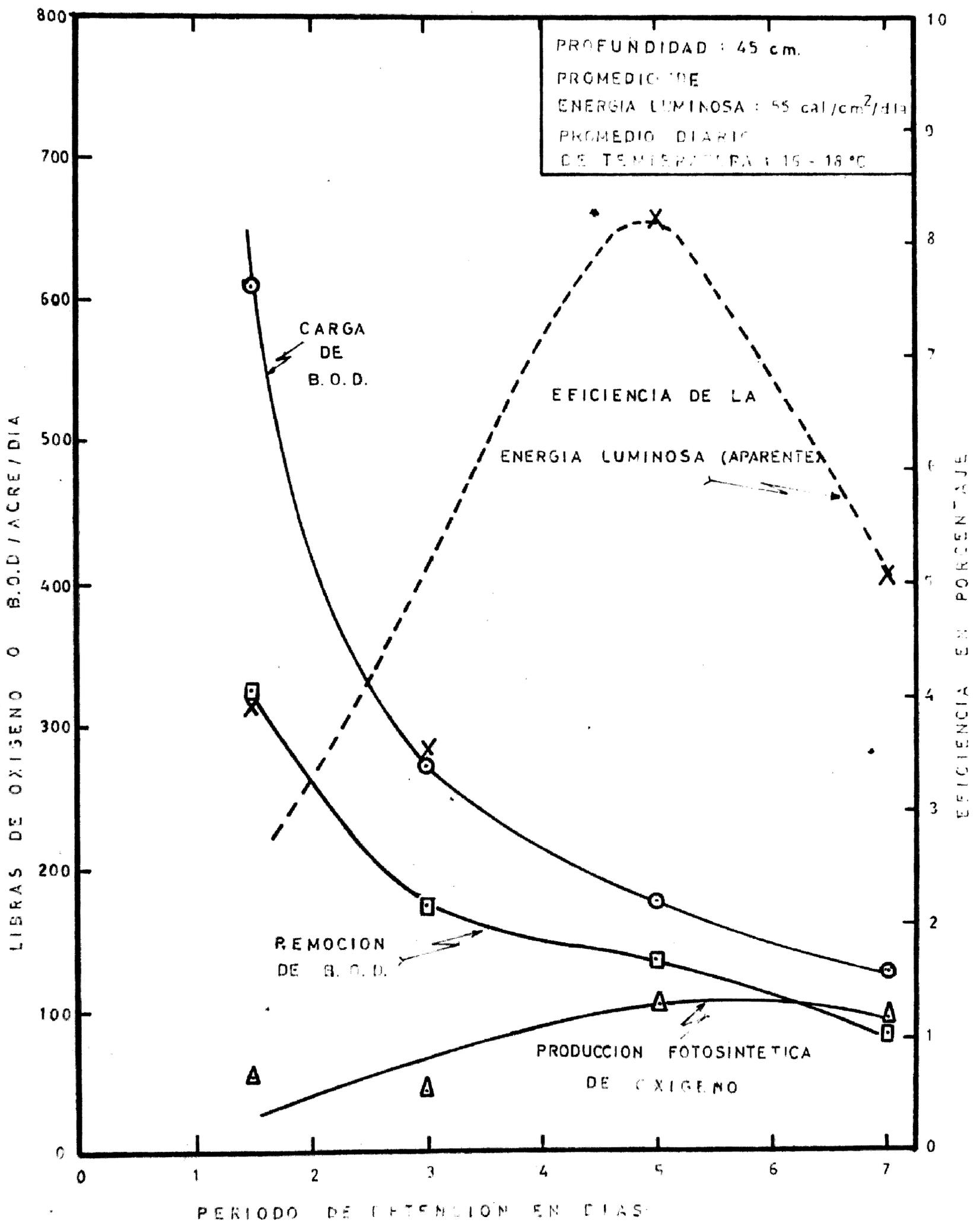


FIG. 9 CARACTERISTICAS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE 45 cm. DE PROFUNDIDAD OPERADA EN INVIERNO A DIFERENTES PERIODOS DE DETENCION.

tor de oxigenación mayor que 1.2. Pudo notarse que la temperatura del agua fué más alta que la normal para invierno ya que la cantidad de oxidación bacteriana fué más grande que la que usualmente pudo ocurrir durante estas estaciones cuando la cantidad de energía luminosa disponible es baja.

La laguna I fué operada a profundidades de 24, 30 y 36" (0.65, 0.75 y 0.90 m) durante algunos períodos y la laguna II fué operada a profundidades de 12" (0.30 m) y períodos de detención de 3.0 días de Noviembre a Febrero.

Examinando los resultados para la laguna I en este experimento registrado en la tabla N° IV, demuestran que sin embargo la carga de BOD no fué alta, el factor de oxigenación varió de 0.3 a 0.8 y el oxígeno disuelto se presentó sólo en la tarde. Cuando el período de detención fué aumentando a 30 días en Febrero señaló el mejoramiento en el resultado de la laguna. El factor de oxigenación incrementó a 2.0, la remoción de BOD ascendió a 87% y el oxígeno disuelto se presentó en la laguna.

El comportamiento de las lagunas en invierno rinde un efecto pobre; la carga de BOD baja y el período de detención es largo. La fig. N° 10 muestra una comparación de las libras de remoción por acre por día como una función de la energía luminosa visible recibida en la laguna II (12" - 0.30 m. de profundidad) y la laguna I (24 a 36" - 0.60 a 0.90 m de profundidad) cuando ellas fueron operadas en la misma fecha. Los números en el interior del círculo indican la profundidad, período de detención y temperatura de las lagunas según se muestra en la clave.

Exámenes en la cual fueron simultáneamente funcionadas

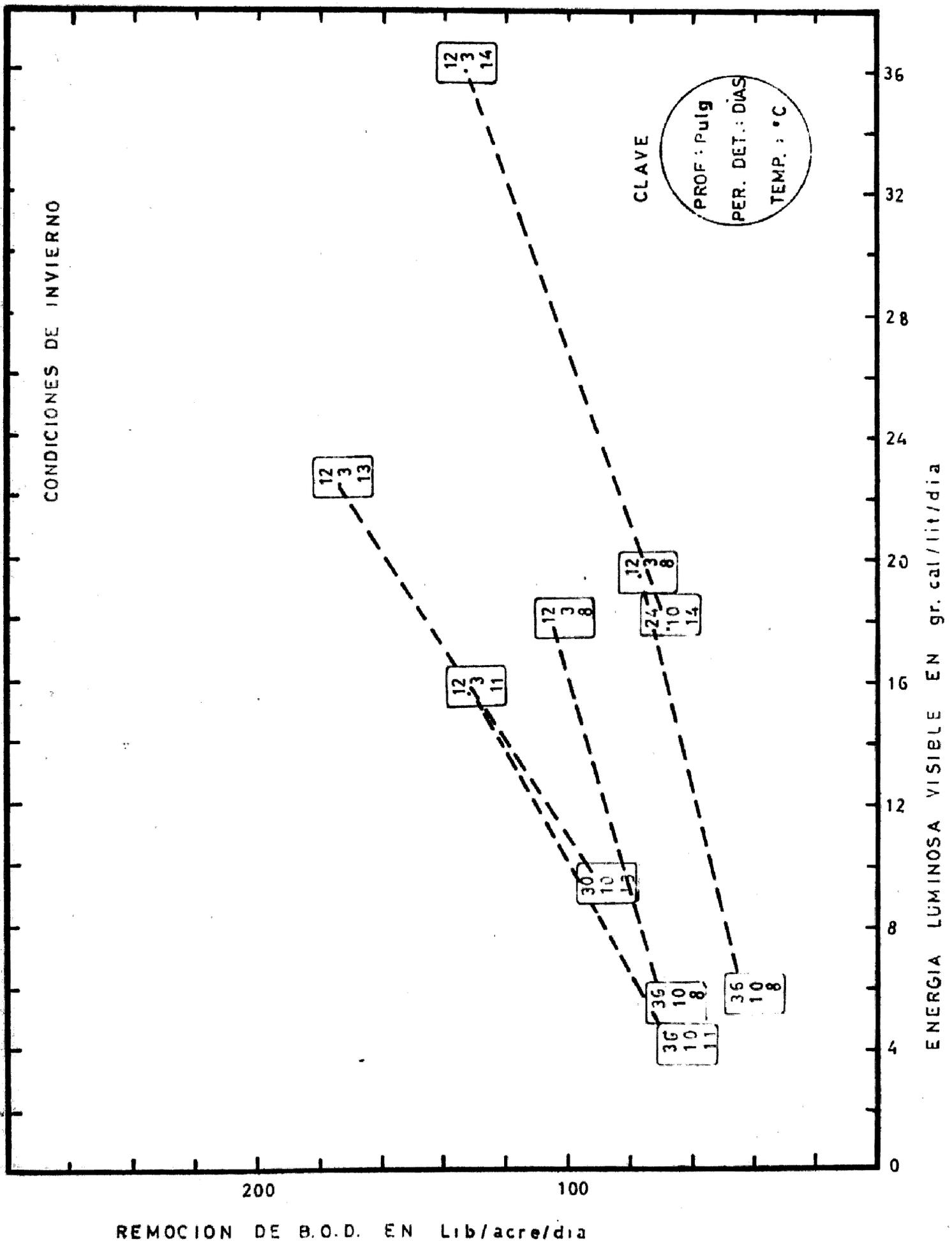


FIG. 10 REMOCION DE B.O.D. EN PLANTAS PILOTOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION OPERADAS EN INVIERNO.

están indicadas por la unión de las líneas. Estas figuras ilustran la importante relación entre la remoción de BOD y la energía luminosa. También muestra que la capacidad de oxidación de la laguna de 12" (0.30 m) de profundidad por unidad de volumen es mucho más grande que la de 24 y 36" (0.60 y 0.90 m) en las condiciones de época de invierno.

1.4.- Relación entre la profundidad y período de detención

Analizando los resultados adicionales de los experimentos en lagunas pilotos el porcentaje de remoción de BOD está ploteado como una función del factor de oxigenación, $\frac{F}{P_c}$, en la fig. N° 11. A causa de la sedimentación, reaeración atmosférica y otros factores de oxigenación fotosintética, no han sido obtenidas remociones de BOD menores que el 40%. Cuando el factor de oxigenación fué menor que 0.6 el promedio de remoción del BOD aplicado fué usualmente menor que el 70% y las lagunas fueron anaeróbicas más de las veces a través de una gran porción de su volumen. El oxígeno disuelto fué raramente cercano a 5.0 mgr. por litro y solo para un corto tiempo en la superficie de la laguna, por la tarde. Como se demuestra en la fig. N° 11 el máximo porcentaje de remoción de BOD está entre el factor de oxigenación de 1.2 a 1.8. El oxígeno disuelto contenido en la laguna aumenta según el incremento del factor de oxigenación más allá de la zona de operación óptima. Cuando el factor de oxigenación es más grande que 1.8 el porcentaje de remoción del BOD tiende a disminuir. Esta disminución en el porcentaje de remoción del BOD se piensa que es debido al desarrollo de un alto pH (arriba de 11) cuando las algas están creciendo vigorosamente y removiendo CO₂ de la alcalinidad de bicarbonato del desagüe. Es

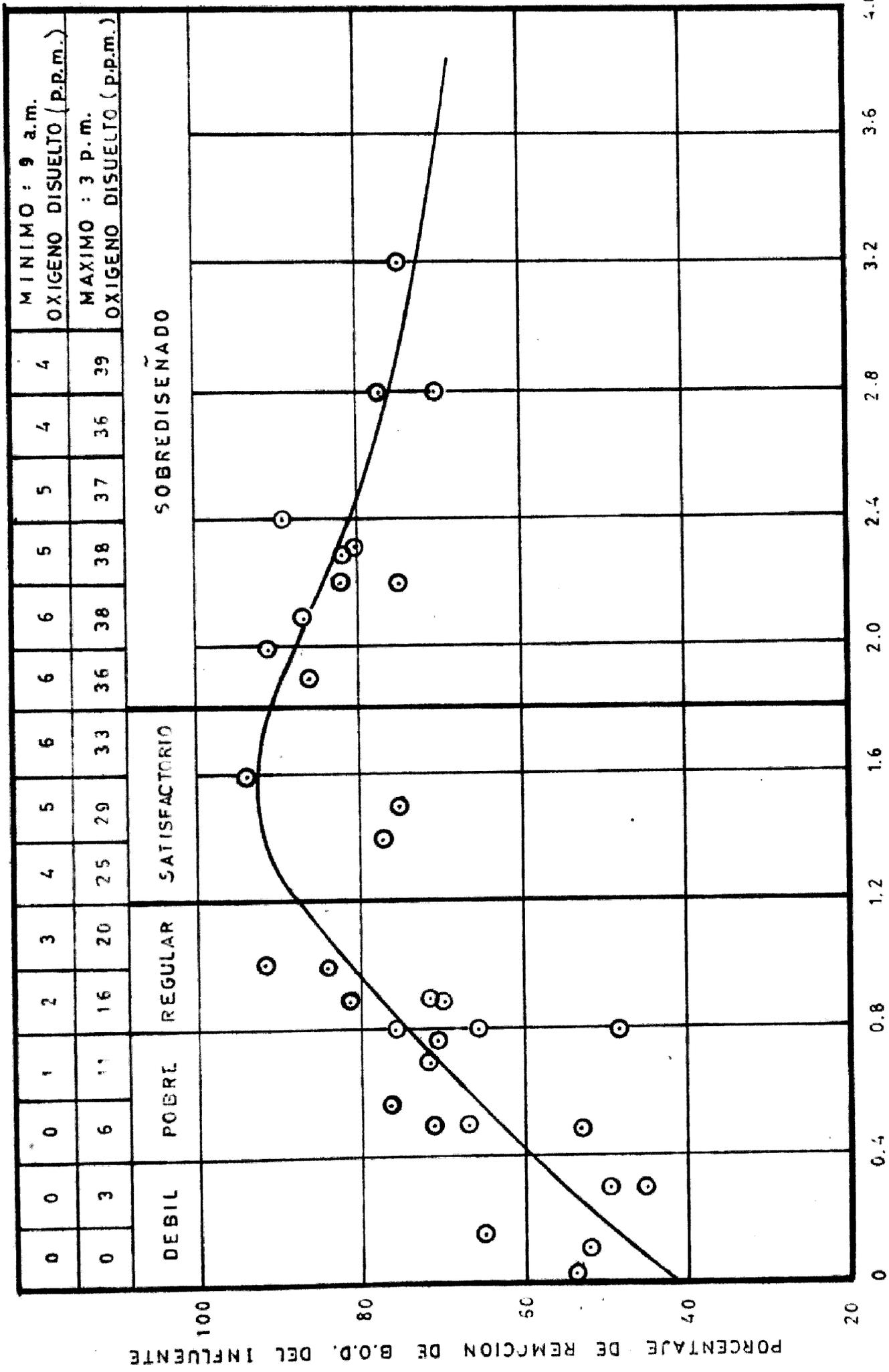


FIG 11 INFLUENCIA DEL FACTOR DE OXIGENACION EN LA REMOCION DEL B.O.D. EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

bien sabido que la proporción de oxidación bacterial disminuye según el incremento del pH cercano a 9. Las concentraciones usuales de oxígeno disuelto presente en las mañanas y tardes para los diferentes factores de oxigenación están mostrados en la parte superior de la fig. N° 11. Oswald, Gotaas, Goluecke y Keele juzgando de los datos presentados en la fig. N° 11 estiman que un factor de oxigenación menor que 0.4 la laguna es raramente aeróbica, puede producirse frecuentemente malos olores y es considerada como inadecuada al tratamiento de desagües. Si el factor de oxigenación está entre 0.4 y 0.8 la cantidad del tratamiento es considerada pobre. En la zona de 0.8 a 1.2 la remoción de BOD puede ser satisfactoriamente completa y la ocurrencia de malos olores es muy rara. Sin embargo esta zona no es recomendable para diseñar, cuando es deseado mantener siempre continuadas condiciones aeróbicas. Un factor de oxigenación entre 1.2 y 1.8 permitirá siempre el mantenimiento de condiciones aeróbicas a través de toda la laguna. En estos rangos se permiten también cambiar la carga y variaciones de luz sin cambiar seriamente la operación de tratamiento. Cuando el factor de oxigenación es más alto que 2 la laguna está sobre diseñada, más oxígeno es producido del que es necesario y cantidades excesivas de algas son descargadas. Como valor promedio de $\frac{F}{F_c} = 1.6$ es usado arbitrariamente para análisis adicionales.

Los datos experimentales en las tablas 2 y 3 indican que el factor de carga $\frac{d}{D}$ para el factor de oxigenación $\frac{F}{F_c}$ de 1.6 es obtenido entre valores de 2 y 6. El factor de carga permisible es más grande en verano que en invierno, principalmente por que la cantidad de energía luminosa es más grande y la temperatura es más favorable, donde la luz cae en la superficie de la laguna más directa-

mente en verano que en invierno, permitiendo una penetración mayor. El factor de carga será más bajo en invierno donde el promedio de la intensidad de la luz es menor.

En la fig. N°12 está representada la relación de la profundidad de la laguna al período de detención requerida, en la época de condiciones limitadas de verano e invierno, cuando el factor de oxigenación usado es de 1.6. La zona entre las curvas define los valores permisibles de profundidad y periodos de detención para diferentes estaciones en latitudes de 37°N. La magnitud de la zona de operación entre verano e invierno decrecerá con la latitud. Sin embargo en la ecuación hay pequeñas diferencias entre la relación de profundidad y período de detención en invierno y verano, mientras latitudes más altas que 37°N esta zona crecerá considerablemente.

La fig. N°13 presenta un ploteado del factor de carga $\frac{d}{D}$ como una función del periodo de detención para invierno y verano cuando las condiciones del factor de oxigenación es 1.6 en la latitud de 37°N. En verano la profundidad y período de detención para cargas máximas esta visto que puede ser cerca de 21" (0.50 m) y 3.5 días en verano y aproximadamente 11" (0.30)m) y 5 días en invierno. Se piensa que el período de detención para permitir una carga máxima durante otras estaciones podría ser entre 3.5 y 5 días como está indicado por la línea punteada según muestra la fig. N°13 interceptando los puntos de carga máxima para verano e invierno.

1.5.- Discusión

Las lagunas de estabilización son diseñadas para proveer oxígeno fotosintético para la descomposición bacterial, sin em

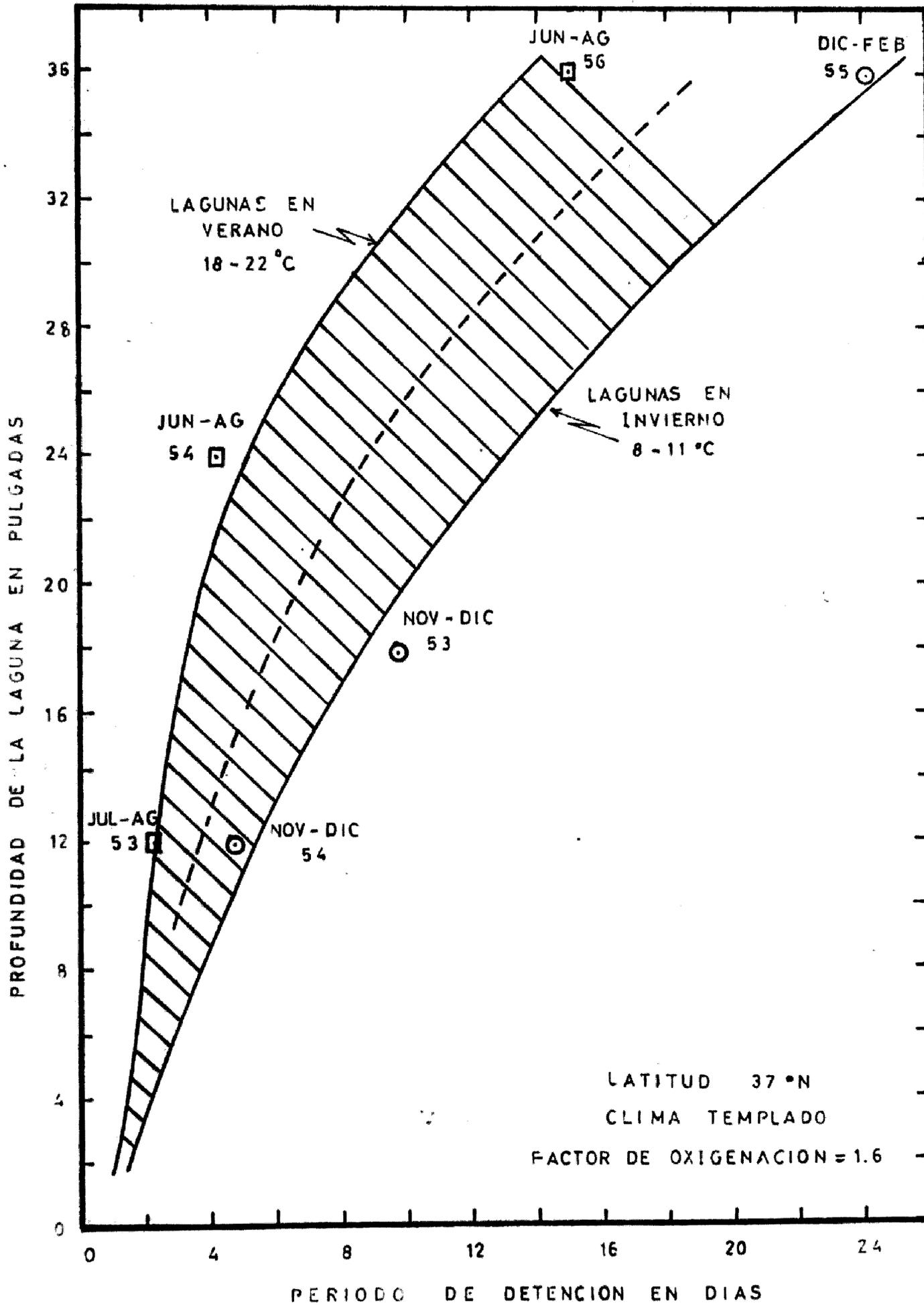


FIG 12 PROFUNDIDAD Y PERIODO DE DETENCION EN EL CUAL UN FACTOR DE OXIGENACION DE 1.6 HA SIDO OBTENIDO EN VERANO E INVIERNO.

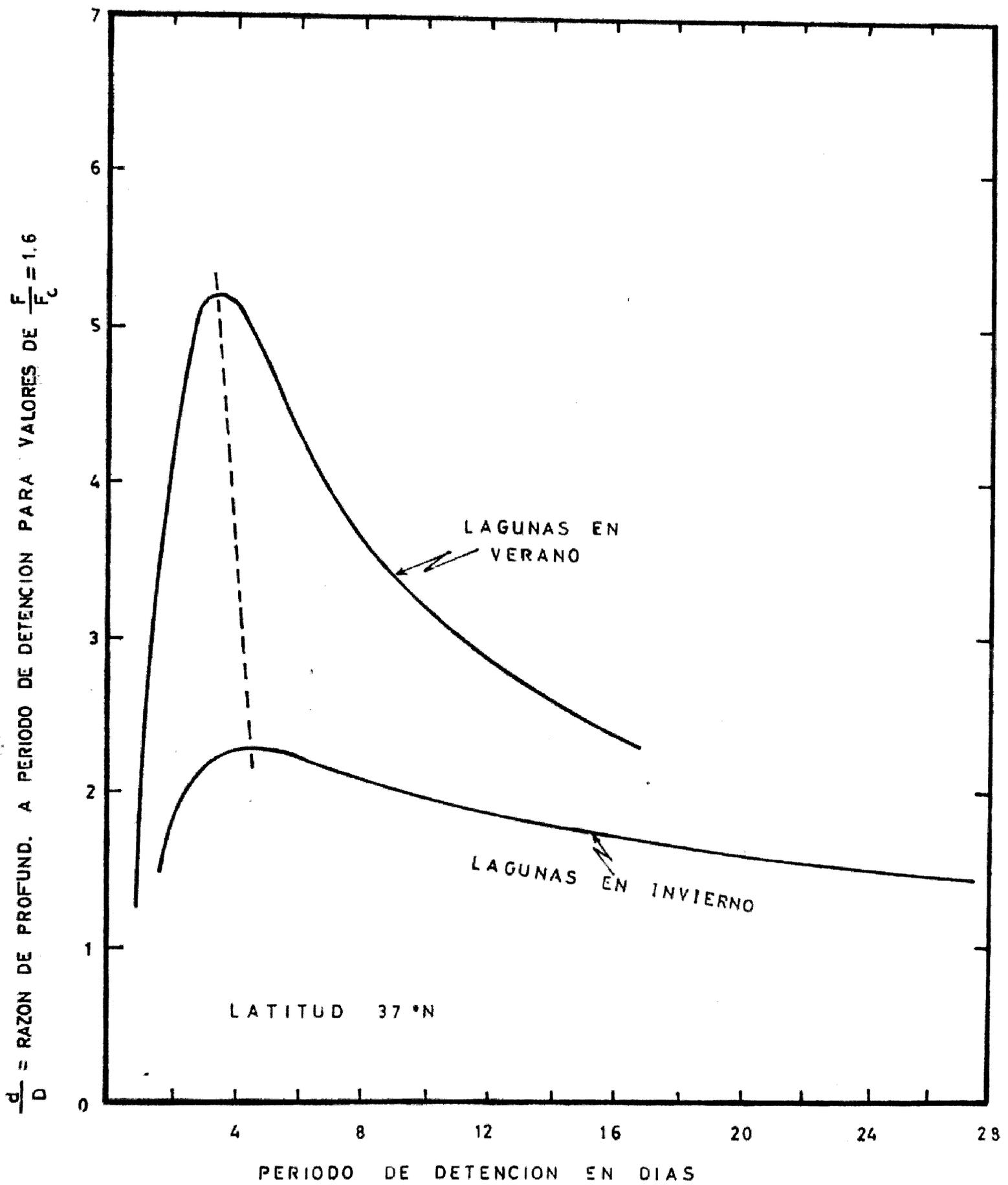


FIG 13 FACTOR DE CARGA COMO UNA FUNCION DEL PERIODO DE DETENCION PARA UN FACTOR DE OXIGENACION CONSTANTE.

UN FACTOR MAXIMO DE CARGA OCURRE EN AMBAS EPOCAS DE VERANO E INVIERNO.

bargo el cambio de oxígeno con la atmósfera tiene importancia y debe ser considerado. Por ejemplo, una laguna operando con un factor de oxigenación de 2.0 perdería para la atmósfera más de la mitad del oxígeno producido a causa de la duración de períodos de supersaturación. Es cierto que algo de oxígeno es absorbido de la atmósfera durante la noche cuando la concentración de oxígeno disuelto en la laguna está por debajo de la saturación, pero este es pequeño comparado con el oxígeno perdido para la atmósfera cuando la laguna está supersaturada. Por lo tanto un factor de oxigenación un poco más grande que 1 es requerido para mantener la laguna en una condición continuamente aeróbica.

La sedimentación de sólidos suspendidos, coloidales y otros sólidos floculados a través del proceso bioquímico después de ingresado en la laguna resultará en la formación de un banco de lodos de espesor variable en el fondo de la laguna. Este banco parece ser más rápidamente oxidado si está suspendido y mezclado en el líquido, por que más oxígeno es producido en la superficie de la laguna cuando la energía luminosa es más abundante. Sin embargo la duración de la mezcla llega a ser un factor importante en la operación de la laguna. Si la luz es limitada en las lagunas de estabilización se puede obtener factores más altos de oxigenación cuando la mezcla está limitada que con mezclas de gran duración. Por otro lado en una abundancia de luz la cantidad de mezcla abastecida por recirculación y agitación ha tenido solo un efecto pequeño en la oxigenación y en los factores de carga. Los sólidos constituyentes del banco de lodos se descompondrán aeróbicamente en el fondo siendo el oxígeno disuelto suficiente para abastecer esta descomposición y la carga no es tan grande como para incrementar el banco de lodos,

Una laguna podría ser cargada y operada de tal manera que las condiciones de equilibrio sean mantenidas, donde las proporciones del depósito de lodo igualaría a la proporción de oxidación del lodo.

Si la descomposición del lodo es característica de una laguna de estabilización eficientemente operada, en tal caso la oxigenación fotosintética por algas es esencial para la operación eficiente de las lagunas de estabilización pesadamente cargadas, ya que la cantidad de oxígeno la cual puede ser absorbida de la atmósfera para la estabilización es pequeña. Si las condiciones aeróbicas son para ser mantenidas solo por la succión de oxígeno atmosférico, la carga de BOD debe ser menor que 40 libras por acre por día. Si una laguna se aísla y las condiciones de mal olor son permisibles, pueden ser usadas cargas más altas sin contar la fotosíntesis, pero el efluente tendría una demanda de oxígeno alta, entonces puede sobreponerse por adición una segunda laguna en serie con la primera. Excelentes remociones pueden ser obtenidas operando dos lagunas en serie, la primera laguna en esencia anaeróbica y la segunda laguna aeróbica. Por lo tanto una de las lagunas en serie puede ser operada con un factor más bajo que 1, sin contar con el mal olor que puede producir por que la descomposición anaeróbica del lodo es hecha en el fondo de la laguna y las algas en la parte superior de la laguna están produciendo suficiente oxígeno para prevenir ese olor molesto. La operación con un factor de oxigenación por debajo de 1 permitirán cargas más altas y puede obtenerse toda la estabilización en condiciones aeróbicas, pero una pequeña disminución en luz disponible con incremento en la carga puede originar en la laguna un estado séptico.

Diseñando para mantener un factor de oxidación cerca a 1.6 se aseguraría las condiciones aeróbicas y se estaría lejos de

las condiciones anaeróbicas en el fondo y daría una capacidad tope para absorber grandes incrementos en desgües fuertes.

Las lagunas que operan con una eficiencia fotosintética más grande que 3% en verano o 6% en invierno producen un alto pH que reduce la remoción de BOD. Como resultado de esto el efluente sale con un alto BOD. Reduciendo el factor de oxigenación, Bajando el período de detención o incrementado la profundidad se corrige es te problema.

En Richmond, California (Latitud 37°N) la profundidad de la laguna para una oxigenación fotosintética más eficiente es cerca de 21" (0.50 m) en verano y aproximadamente 11" (0.30 m.) en invierno. El correspondiente tiempo de detención es cerca de 4 y 5 días respectivamente. En vista de la pequeña diferencia entre estos períodos de detención de verano e invierno es dudoso si el período de detención cambiaría apreciablemente para otras localidades; sin embargo, la profundidad óptima podría cambiar apreciablemente para otras latitudes y climas. Si un factor de oxigenación de 1.2 dando tratamiento satisfactorio (remoción de BOD entre 75 a 85% y ocasionalmente lodo anaeróbico en el fondo) con un período de detención de 3 días podrían ser aceptados ambos, verano e invierno,

En diseños de lagunas de estabilización para uti lizar oxigenación fotosintética es usualmente necesario proveer más área a la laguna para operación de invierno que para operación de verano. Esto permite a una parte del área de la laguna ser tomada fuera de operación para mentenerse durante el verano. Una posibili dad sería diseñar las lagunas alternadas para tener un factor de oxi genación en verano de tal manera que ellas serían sobrecargadas en

invierno con luz del sol cuando la oxidación bacteriológica es más baja y más dilución de agua es aprovechable. El mal olor molesto probablemente ocurrirá algunas veces en el época de tales condiciones y requerirá consideraciones. La cantidad de disposición de lodo en invierno sería en exceso de la cantidad de lodo de abatimiento como se describió previamente, y podrían acumularse en las lagunas. Estos depósitos se sumarían con la carga diaria en verano y por lo tanto tendrían que ser excluidos en los cálculos de diseño. En lugares donde la tierra es barata tal como en Texas o en las Dakotas son ampliamente usadas lagunas de poca profundidad y con periodos de detención largos. Estas lagunas frecuentemente no tienen efluente y se elimina de ellas por percolación y evaporación. A causa de su simplicidad y mantenimiento de operación libre, estas lagunas pueden ser altamente económicas. A causa de la baja proporción de carga, estas lagunas no requieren ordinariamente oxigenación fotosintética no obstante que puede ocurrir frecuentemente. Donde la tierra es relativamente cara pueden ser más económicas, pequeñas lagunas por que ellas hacen un uso eficiente de la producción de oxígeno fotosintético, convirtiendo a las lagunas más profundas y pudiendo absorber cargas más grandes.

En Richmond, California, cargas de BOD de 225 a 250 libras por acre por día en verano y 100 a 125 libras por acre por día en invierno pueden ser aplicadas a lagunas de estabilización oxigenadas fotosintéticamente y algunas veces mantienen un factor de oxigenación de 1.2 a 1.8. Si un factor más bajo es permitido (con remoción de una fracción más baja de BOD) la carga podría ser incrementada considerablemente. Si un factor de oxigenación de 0.8 a 1.2 fueran aceptables en una oxigenación fotosintética para lagunas ope

radas a una profundidad de 20" (0.50 m.) y un periodo de detención de 20 días, le tocaría 400 libras por acre en verano. En tales condiciones se presentaría un crecimiento vigoroso de algas pero indudablemente también se presentaría algo de molestia.

A través del análisis experimental se han establecido cuatro razones de criterio las cuales deben ser usadas como parámetros para lagunas de estabilización. Sin embargo los valores cuantitativos sacados como conclusiones de los experimentos no pueden ser exactos, pero se piensa que sus usos permitirán diseñar las lagunas de estabilización en forma aproximada.

1.6.- Conclusiones de los experimentos realizados en Richmond-Calif.

Los resultados de experimentos en lagunas pilotos han sido analizados y los valores cuantitativos de los factores de carga y oxigenación determinados.

- a) Las cantidades teóricas de oxígeno la cual puede ser producida a través de la oxigenación fotosintética en una latitud de 37°N para varias eficiencias y en cada una de los 12 meses del año son presentados en la tabla N° 1. Esto demuestra que la producción de oxígeno por fotosíntesis en lagunas de estabilización es solamente una función del flujo de energía luminosa y la eficiencia fotosintética.
- b) La relación cuantitativa entre la oxigenación del desagüe y la eficiencia fotosintética es deducida, denominándosele eficiencia crítica.
- c) El factor de oxigenación es analizada cuantitativamente como un parámetro para el diseño de lagunas de estabilización. Un factor de oxigenación de 1.2 a 1.8 es considerado esencial para el mantenimiento continuo de las condiciones aeróbicas.

- d) Los factores de oxigenación sobre 1.8 ocurre en lagunas poco profundas como un resultado del crecimiento excesivo de algas y con un alto pH el cual inhabilita la oxidación bacteriana del desague influente.
- e) La razón de profundidad al período de detención es definido como un factor de carga para una laguna de estabilización. El factor de carga, la profundidad y el período de detención pueden ser experimentalmente determinados con respecto a un factor de oxigenación dado.
- f) Datos de plantas piloto experimentales demuestran que para un factor de oxigenación fijada, puede ser determinado un factor de carga máximo. Estos diferentes factores de carga máximos son variados para condiciones de verano e invierno. Sometido a condiciones de verano el factor de carga máximo es cerca de 5.2 en un período de detención de cerca de 3.5 días. Sometido a condiciones de invierno el factor de carga máximo es cerca de 2.3 en un período de detención de 5 días.
- g) En Richmond, California, lagunas de estabilización poco profundas las cuales fueron oxigenadas a través de la fotosíntesis han dado remociones de BOD de cerca de 85% con un mantenimiento básico, cuando fueron sometidas a cargas de BOD de 225 libras por acre por día en verano y 100 libras por acre por día en invierno.
-

4.- EXPERIMENTOS EN LA PLANTA PILOTO DE CORDOVA - ARGENTINA

Esta planta piloto entra en la categoría de tratamiento secundario, por lo que se supone que todos los tratamientos primarios necesarios para un líquido cloacal han sido aplicados ya al líquido que se va a destinar a depuración en lagunas de oxidación.

4.1.- Proyecto de la Planta Piloto experimental y detalles de cálculo.

La planta experimental que es objeto de este estudio fue contruida por el Ing. Juan Manuel Martinez en enero de 1,959 en la ciudad de Córdoba - Argentina (Establecimiento Bajada de riadra)

La marcha del cálculo y el proyecto se hizo en base a la teoría de Gotaas y Oswald expuesta anteriormente.

Los datos con que se contaban era:

a) Análisis del líquido cloacal

Nitrógeno total.....36.3 mgr/lit
B.O.D:Líquido bruto.....280 mgr/lit
Líquido sedimentado en 2 horas..... 205 "

b)Caudal medio del líquido cloacal: .

$$C_m = 0.1 \text{ m}^3/\text{hora} = 2.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

c) Otros datos:

Latitud.....31°S
Altura sobre el nivel del mar.....400 m

		Invierno	Verano
* Tiempo despejado (heliofanía relativa)		58.6%	61.3%
Energía luminosa en <u>langleys</u> día	Total máxima	385	748
	Total mínima	199	415
	Visible máxima	124	287
	Visible mínima	68	159
Sol sobre el horizonte o % horas al día		42%	59%
Recuperación de Nitrógeno.		50%	75%
F (eficiencia fotosintética)		8%	6%
(coeficiente de absorción)		1.8×10^{-5}	1.3×10^{-5}
T_c (coeficiente de temperatura)		0.60	0.96
T (temperatura media)		11.5°C	22.5°C

$$* \text{ Heliofanía relativa} = \frac{\text{Heliofanía real o efectiva}}{\text{Heliofanía teórica o astronómica}}$$

Llamandose heliofanía teórica o astronómica a la cantidad de horas que astronómicamente está el sol iluminando en un determinado lugar y en un día; y heliofanía real o aparente a la cantidad de horas que el sol ha iluminado realmente ese determinado lugar y en un día (Está influenciada por la presencia de obstáculos naturales y nubes)

La procedencia de todos estos valores se han obtenido del Instituto meteorológico local y de la teoría de Gotaas y Oswald descrita en capítulo anterior. Así tenemos que:

el tiempo despejado o heliofanía relativa se ha obtenido de la información local.

La energía luminosa extractada de la table II de Insolación de United States Weather Bureau latitud Norte, corregida para el Hemisferio Sur y verificada con las determinaciones locales del Instituto Meteorológico Nacional.

El sol sobre el horizonte obtenidos de información local.

La eficiencia fotosintética, recuperación de nitrógeno, coeficiente de absorción y coeficiente de temperatura se han adoptados como los valores promedios hallados por Oswald y Gotaas en sus experimentos realizados en plantas pilots de California - E.E.U.U. (Ver teoría) La temperatura media fué obtenida de las estadísticas del Instituto Meteorológico Nacional.

4.1.1.- Cálculo de la concentración de algas

$$C_c = 10 N \times \% \text{ de recuperación de nitrógeno}$$

$$\text{Invierno: } C_c = 10 \times 36.3 \times 0.50 = 182 \text{ mgr/litro}$$

$$\text{Verano : } C_c = 10 \times 36.3 \times 0.75 = 272 \quad "$$

4.1.2.- Cálculo de la Iluminación incidente (Tabla I)

Invierno

Corrección por altura:

$$S_{\max} = 385 (1 + 0.0607 \times 0.4) = 394 \text{ langley/día}$$

$$S_{\min} = 199 (1 + 0.0607 \times 0.4) = 204 \quad "$$

Corrección por nubes:

$$S_{\text{inv}} = 204 + [(394 - 204) \times 0.59] = 316 \text{ langley/día}$$

Iluminación incidente:

$$I_{\text{inv}} = 316 \times 10 \times 0.42 = 1,327 \text{ bujías-pié}$$

Verano

Corrección por altura:

$$S_{\max} = 748 (1 + 0.0607 \times 0.4) = 768 \text{ langley/día}$$

$$S_{\min} = 415 (1 + 0.0607 \times 0.4) = 426 \quad "$$

Corrección por nubes

$$S_{\text{ver}} = 426 + (768 - 426) \times 0.61 = 634 \text{ langley/día}$$

Iluminación incidente

$$I_{\text{ver}} = 634 \times 10 \times 0.59 = 3740 \text{ bujías-pié}$$

4.1.3- Cálculo de la profundidad

$$d = \frac{\log_e I_i}{C_c \times \alpha}$$

Invierno:

$$d_{\text{inv}} = \frac{\log_e 1,327}{182 \times 1.8 \times 10^{-3}} = 21.9 \text{ cm.}$$

Verano:

$$d_{\text{ver}} = \frac{\log_e 3,740}{272 \times 1.3 \times 10^{-3}} = 23.2 \text{ cm.}$$

4.1.4.- Cálculo de la energía solar a partir de la insolación visible

Invierno:

Corección por altura

$$S_{\text{max}} = 124 (1 + 0.0303 \times 0.4) = 125 \text{ langley/día}$$

$$S_{\text{min}} = 68 (1 + 0.0303 \times 0.4) = 69 \quad "$$

Corrección por nubes

$$S_{\text{inv}} = 69 [(125 - 69) \times 0.59] = 102 \text{ langley/día}$$

Verano:

Corrección por altura.

$$S_{\text{max}} = 287 (1 + 0.0303 \times 0.4) = 290 \text{ langley/día}$$

$$S_{\text{min}} = 159 (1 + 0.0303 \times 0.4) = 161 \quad "$$

Corrección por nubes

$$S_{\text{ver}} = 161 + [(290 - 161) \times 0.61] = 240 \text{ langley/día}$$

4.1.5. Cálculo del periodo de detención

$$D = \frac{d \times h \times C_c}{S \times F \times T_c} \times 10^{-6}$$

En lo que:

$$h = \frac{R}{7.89} + 0.4$$

$$R = \frac{(\%C \times 2.66 + \%H \times 7.94 + \%O)}{398.9} \times 100$$

Los valores porcentuales indicados y extractados del análisis elemental son:

$$\%C=59.3 ; \quad \%H=5.24 ; \quad \%O=26.3$$

de donde:

$$R = \frac{59.3 \times 2.66 + 5.24 \times 7.94 + 26.3}{398.9} \times 100 = 43.2$$

Luego:

$$h = \frac{43.2}{7.89} + 0.4 = 5.87 \text{ Kcal.}$$

Por lo tanto:

$$D_{inv} = \frac{21.9 \text{ cm } 5,870 \text{ cal/gr } 182 \text{ mgr/lit}}{102 \text{ langleys/día } 0.08 \quad 0.60} \times 10^6 = 4.8 \text{ días}$$

$$D_{ver} = \frac{23.2 \text{ cm } 5,870 \text{ cal/gr } 272 \text{ mgr/lit}}{240 \text{ langleys/día } 0.06 \quad 0.96} \times 10^{-6} = 2.68 \text{ días}$$

4.1.6 Cálculo de la carga superficial

$$C = \frac{d \times \text{BOD}}{D}$$

Invierno:

$$C_{inv} = \frac{21.9 \text{ cm} \times 205 \text{ gr/m}^3}{4.8 \text{ días}} \times 10^{-1} = 93.7 \frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha} \times \text{día}}$$

Verano:
$$C_{\text{ver}} = \frac{23.2 \text{ cm} \times 205 \text{ gr/m}^3}{2.68 \text{ días}} \times 10^{-1} = 178 \frac{\text{Kgr de BOD}}{\text{Ha} \times \text{día}}$$

4.1.7.- Cálculo del volumen de las lagunas

$$V = \text{Caudal medio} \times D$$

En lo que:

El caudal medio de la planta quedó fijado por el volumen de los sedimentadores (un recipiente de aceite de 200 litros dividido por la mitad y dotado de vertederos y pantallas de retención de grasas y flotantes) y de la permanencia en los mismos que fué fijada en dos horas = $0.1 \text{ m}^3/\text{hora} = 2.4 \text{ m}^3/\text{día}$

Luego:

Invierno: $V_{\text{inv}} = 2.4 \text{ m}^3/\text{día} \times 4.8 \text{ días} = 11.5 \text{ m}^3$

Verano: $V_{\text{ver}} = 2.4 \text{ m}^3/\text{día} \times 2.68 \text{ días} = 6.44 \text{ m}^3$

4.1.8.- Cálculo de la superficie de las lagunas

$$A = \frac{V}{d}$$

Invierno: $A = \frac{11.5 \text{ m}^3}{0.219 \text{ m}} = 52.5 \text{ m}^2$

Verano: $A = \frac{6.44 \text{ m}^3}{0.232 \text{ m}} = 27.8 \text{ m}^2$

Se proyectaron dos lagunas de 2.50 m de ancho por 11 m. de largo para dejar una de ellas fuera de servicio en el verano.

La carga superficial calculada permite tener una base de comparación con las lagunas de tipo convencional. Es evidente que con los datos calculados pueda dimensionarse para el invierno y verano. Es acosenjable dimensionar para el invierno (que es el caso

más desfavorable) y proyectar un número de lagunas tal que permita dejar fuera de servicio en el verano un número entero de lagunas y de este modo no modificar las condiciones de cálculo, convirtiéndose entonces los datos de verano en datos de verificación. Todo el cálculo depende de las condiciones climáticas pero puede advertirse que para tirantes similares en las dos estaciones se produce una permanencia doble en el invierno respecto del verano, lo que autoriza a prever en el proyecto un número par de lagunas para poder dejar la mitad fuera de servicio en la temporada estival.

En nuestro caso se dimensionó contemplando esta circunstancia y pensando que se dejaría fuera de servicio una laguna en verano. Sin embargo y por necesidad en la marcha de los ensayos y verificaciones (según se verá más adelante), se ensayaron las dos lagunas funcionando en época estival.

4.2.- Ejecución de la Planta Piloto, detalles constructivos y puesta en marcha.

El lugar fue minuciosamente seleccionado tratando en lo posible de evitar la influencia de los obstáculos naturales (árboles en general) que podían influir sobre la heliofanía relativa, disminuyendo la cantidad de tiempo que el sol pudiera asolear las lagunas.

En la Planta de Líquidos Cloacales de la ciudad de Córdoba se ejecutaron las lagunas sobre antiguos lechos filtrantes de arena para asegurar el drenaje del efluente de la planta sin obras muy importantes. Debido a esta circunstancia se debió impermeabilizar el recinto de las lagunas para evitar las pérdidas por el

fondo, que hubieran incidido en un aumento de la carga o de la concentración del líquido a tratar, falseando así los resultados.

Debió garantizarse una efectiva sedimentación a los efectos de asegurar una buena penetración de la luz solar. Para esto se proyectó un sedimentador cortando en dos partes un tanque de doscientos litros, dotándolos de vertideros de retención de flotantes.

La alimentación de la planta se hizo mediante una cañería conectada a la canaleta maestra de cloacas que atravieza el establecimiento. Por esta canaleta circulaba un líquido cloacal que había experimentado una deficiente sedimentación en cámaras sépticas sobrecargadas, por lo que se insistió mucho en lograr una efectiva sedimentación en la planta experimental.

La compuerta de paso fué un orificio sumergido que se practicó en la misma compuerta para evitar, en lo posible, el paso de flotantes de la primera a la segunda laguna.

La salida de la segunda laguna se hizo por vertidero, previendo la posibilidad de una compuerta para desagotarla totalmente. El efluente de la laguna despues de la compuerta, se insu-me en el manto de arena del antiguo lecho filtrante sobre el que se construyó la planta y luego continúa su camino por los laterales, múltiple y colector hacia el río.

La elección de la relación de largo a ancho se hizo teniendo en cuenta la necesidad de evitar los cortocircuitos para asegurar la permanencia de cálculo. Lagunas alargadas funcionan mejor que las lagunas cuadradas.

Al poner en marcha la planta se presentaron algunos problemas que fueron solucionados satisfactoriamente. La cañería se embancó a las pocas horas de funcionamiento y fue cambiada por un sifón lateral que funcionó sin novedades. Se comenzó con una sola laguna y luego se siguió con la otra. Una vez llena la primera laguna se sembraron los cultivos de algas cuyo rendimiento ha bía sido máximo en el ensayo previo. Los resultados confirmaron la selección realizada, pues el desarrollo observado de algas fue notable. A los tres días de realizado la siembra la coloración verdosa y el burbujeo eran intensos y uniformes en toda la laguna, a pesar de que la siembra se había hecho en la compuerta de paso.

La producción de oxígeno fue comprobada rápidamente puesto que en cuanto se superó la saturación de oxígeno disuelto para la temperatura y presión reinantes, el oxígeno producido bur bujeaba a simple vista. En general el fenómeno de la espuma fue observado en las tardes, después de unas horas de exposición al sol. Los días nublados no se observó la formación de espuma así como también en las primeras horas de la mañana..

Como ensayo previo y de orientación fueron sembrados peces comunes de los arroyos cercanos cuya vida quedaba condicionada a la existencia de oxígeno disuelto. En general desarrollaron naturalmente su vida por la existencia del mínimo de oxígeno disuelto compatible, estimado por los autores y zoólogos en 3.5 mgr/lit. Posteriormente y a causa de los ensayos de elasticidad en los que se sobrecargó a la planta, faltó el oxígeno disuelto por lo que estos peces murieron.

La planta fue terminada de construir en abril 1, 1959

pero los ensayos se realizaron a partir de enero de 1,960. En ese mes se vació la segunda laguna. El barro acumulado en el fondo fue secado en el lecho de arena contiguo y una vez seco se extrajo una muestra y se le ensayó tal como figura más adelante. La capa de barro acumulada era bastante uniforme y de alrededor de un cm. de espesor sin características ofensivas y con la propiedad de secarse muy rápidamente.

4.3.- Ensayos realizados sobre la Planta Experimental

La diversidad de ensayos realizados obliga a tratarlos por separado. Así tenemos:

- a) Ensayo de BOD a régimen constante, a pleno sol y con el caudal de operación (caudal de cálculo)
 - b) Ensayo de BOD a régimen constante, con el caudal sobrecargado y condiciones de asoleamiento relativamente normales (o de cálculo)
 - c) Ensayos de BOD y de O.D. a régimen constante, con caudales variables para cada ensayo y condiciones de asoleamiento variables.
 - d) Ensayo de lodo cloacal obtenido de la limpieza de fondo de las lagunas.
 - e) Ensayo de pH
 - f) Determinaciones de amoníaco
 - g) Ensayos bacteriológicos
 - h) Ensayo de penetración de la luz
- a) Ensayo de BOD a régimen constante, a pleno sol y con el caudal de operación (caudal de cálculo)

Fecha de extracción: 3/5/60

Hora; 15.45

Fecha del análisis: 9/5/60

Temperatura laguna: 25°C

Caudal: 2,580 m³/día Profund. media laguna: 23 cm.

Volumen de las dos lagunas: 2.50 x 11 x 0.23 = 12.6 m³

Período de detención (del cálculo) : Invierno: 4.8 días

Verano : 2.68 días

Período de detención de ensayo: 4.9 días

Carga superficial: 70.5 $\frac{\text{kgr BOD}}{\text{ha x día}}$

Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad Rel.		Heliof. Rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
3/5	723.8	724.1	27.5	8.0	80%	30%	83%
2/5	727.5	724.0	26.4	6.5	91%	24%	79%
1/5	726.0	722.4	23.9	9.1	84%	34%	83%
30/4	722.9	720.4	28.5	9.5	90%	36%	82%
29/4	727.1	723.8	23.8	12.8	89%	40%	33%

Saturación de oxígeno disuelto: $8.38 \frac{722}{760} = 7.97$ mgr/litro

El caudal fue controlado en forma horaria durante la permanencia y las características del líquido cloacal mantenidas lo más uniformes posible. La heliofania relativa varió entre 83% y 79% puesto que el 33% del día 29, solamente afectó medio día de ensayo.

Análisis de líquidos cloacales

Objeto: Determinación del BOD (5días a 20°C) en mgr/litro

Fecha de análisis: 9/5/60

<u>Sitio de extracción</u>	<u>BOD</u>
Muestra N° 1. Salida del sedimentador	150
" " 2. 1ra Laguna: 1er lugar de extracción	42

	<u>Sitio de extracción</u>	<u>BOD</u>
Muestra N° 3.	1ra Laguna: 2do lugar de extracción	64
" " 4	" " : 3er " " "	62
" " 5.	Salida de la 1ra laguna	52
" " 6.	2da Laguna: 1er lugar de extracción	47
" " 7	" " 2do " " "	49
" " 8	" " 3er " " "	45
" " 9	Salida de la 2da laguna	39

Los sitios de extracción vienen marcados en el graf N°14. La reducción de BOD de la 1ra y la 2da laguna, no es tan apreciable como la que se manifiesta en la 1ra. Este fenómeno podrá observarse en casi todos los ensayos que siguen.

Hay un saldo favorable de heliofanía y la reducción de la BOD es del orden del 74%. Se advierte una cierta tendencia a la uniformidad de los valores de la BOD en los diferentes sitios de extracción lo que indica, que el líquido cloacal sufre un proceso de mezclado que asegura la distribución de las algas en toda la masa líquida sin necesidad de recirculación. De todas maneras hay un descenso de la BOD.

b) Ensayos de BOD a régimen constante, con el caudal sobrecargado y condiciones de aplanamiento relativamente normales (o de cálculo)

Fecha de extracción: 9/5/60

Hora: 15.50

Fecha de análisis: 16/5/60

Temperat. laguna: 15°C

Profundidad media: 22 cm.

Volumen de las lag.: 12.1 m³

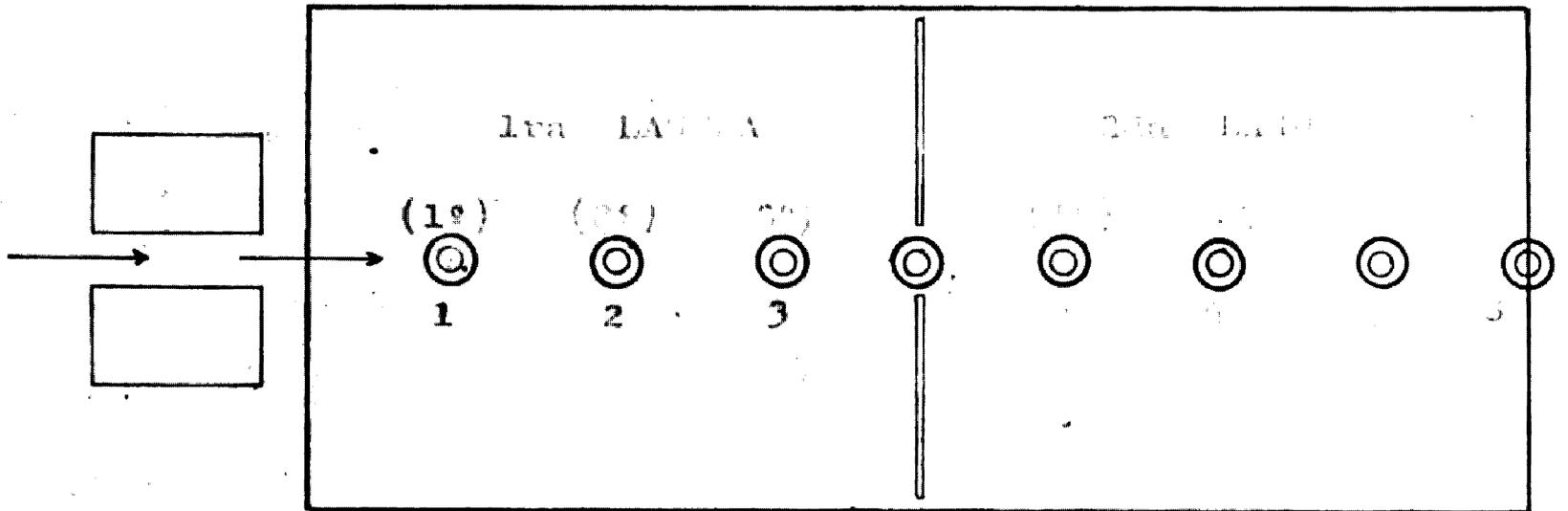
Período detención de cálculo: Ver: 2.68 días; Inv.: 4.8 días

Período de detención de ensayo: 3.50 días

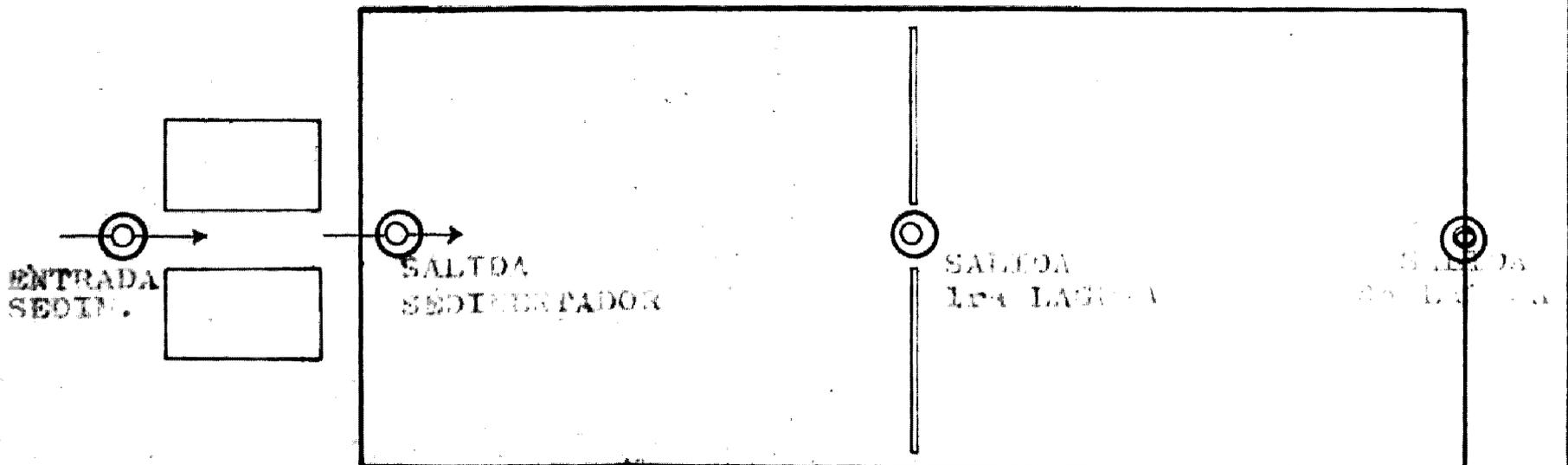
Carga superficial: 129 $\frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha día}}$

GRAFICO Nº 14

SITIOS DE EXTRACCION DE MUESTRAS



Entre paréntesis: Los sitios de extracción de muestra.



Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad relat.		Heliof. relat.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
9/5	732.5	730.5	13.0	6.2	81%	50%	50%
8/5	730.6	726.6	10.5	7.6	95%	84%	0
7/5	725.5	720.6	27.4	13.6	82%	41%	16%
6/5	722.3	719.7	27.8	8.5	95%	37%	78%
5/5	724.0	721.7	27.8	8.1	92%	30%	78%

Saturación de oxígeno disuelto: $10.5 \frac{731}{760} = 10.1 \text{ mgr/lit}$

Análisis de líquidos cloacales:

Objeto: Determinación de la BOD (5 días a 20°C) en mgr/lit

Fecha de análisis: 16/5/60

	<u>Sitio de extracción</u>	<u>BOD</u>
Muestra N° 1.	Salida del sedimentador	205
" "	2. 1ra Laguna: 1er lugar de extracción	73
" "	3. " " 2do " " "	64
" "	4. " " 3er " " "	51
" "	5. Salida de la 1ra laguna	51
" "	6. 2da Laguna: 1er lugar de extracción	41
" "	7. " " 2do " " "	36
" "	8. " " 3er " " "	42
" "	9. Salida de la 2da laguna	36

En este caso la permanencia ha sido reducida por la sobrecarga de caudal. Se advierte que los valores de la BOD con respecto al ensayo anterior, han permanecido prácticamente constantes, lo que nos hace suponer una gran flexibilidad de caudal en condiciones de asoleamiento muy favorables. La reducción de la BOD en el proceso de las lagunas es de aproximadamente el 82%. La reducción de la BOD de la 1ra a la 2da laguna no es muy grande con

respecto de la reducción verificada en la primera. Sigue estando presente el fenómeno observado en el otro ensayo de la mezcla. El aumento de la B.O.D. a la salida del sedimentador se debe a que al incrementar el caudal disminuye la eficiencia de la sedimentación.

c) ensayos de BOD y OD a régimen constante, con caudales variables para cada ensayo y condiciones de asoleamiento variables.

a.1.- Ensayo del día: 26 de enero de 1,960

Fecha de extracción: 26 de enero 1960 Hora: 12.20

Fecha del análisis: 3 febrero de 1,960 Temp. Mag.: 20°C

Caudal: 4.32 m³/día Prof. media: 21 cm

Volumen de las lagunas: 11.5 m³

Período detención de cálculo: Inv.: 4.8 días Ver: 2.68 días

Período detención de ensayo: 2.66 días

Carga superficial: 110 $\frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha día}}$

Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad rel.		Heliof. rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
26/1	720.5	718.5	29.3	17.8	92%	50%	86%
25/1	718.3	711.9	33.5	17.5	68%	35%	92%
24/1	721.5	716.8	31.5	13.4	77%	27%	94%
23/1	725.6	720.5	29.7	12.8	89%	35%	94%

Saturación de oxígeno disuelto: $7.63 \frac{719}{760} = 7.2 \text{ mgr/litro}$

Análisis de líquidos cloacales

Objeto: Determinación del OD y la BOD (5 días a 20°C) en mgr/lit

Fecha de análisis: 3/2/60

		<u>Sitio de extracción</u>	<u>OD</u>	<u>BOD</u>
Muestra N°	1.	Entrada al sedimentador	0	160
"	"	2. Salida del sedimentador	0	140
"	"	3. Salida de la 1ra. laguna	0.6	12
"	"	4. Salida de la 2da laguna	--	12
"	"	5. Salida de la 2da laguna (superfic)	0	--
"	"	6. Salida de la 2da laguna (de fondo)	0.2	--

Las condiciones de asoleamiento fueron excepcionales pues la heliofanía relativa se mantuvo entre 86% y 94%. La eficiencia del sedimentador no es apreciable, puesto que el líquido llegaba bastante bien sedimentado del establecimiento. La reducción del BOD es del orden del 91% en el proceso del enlagueamiento. La reducción del BOD de la 1ra a la 2da laguna, no es apreciable; el bajo contenido de OD revela una actividad bacteriana intensa.

c.2.- Ensayo del día: 3 de febrero de 1960.

Fecha de extracción: 3/2/60

Hora: 12.40

Fecha del análisis: 5/2/60

Temperat. laguna: 30°C

Caudal: 5.18 m³/día

Prof. media: 21 cm.

Volumen de las lagunas: 11.5 m³

Período detención de cálculo: Ver.: 2.68 días

Inv.: 4.8 días

Período detención de ensayo: 2.22 días

Carga superficial: 1.79 $\frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha día}}$

Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad rel.		Heliof. rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
3/2	720.4	717.2	29.8	14.9	92%	42%	92%
2/2	723.4	720.5	28.1	16.4	92%	47%	53%
1/2	723.4	722.0	25.2	19.5	92%	60%	26%

Saturación de oxígeno disuelto: $7.63 \frac{718}{760} = 7.25$ mgr/lit.

Análisis de líquidos cloacales

Objeto: Determinación del OD y BOD (5 días a 20°C) en mgr/lit.

Fecha de análisis: 5/2/60

Sitio de extracción	OD	BOD
Muestra N° 1. Entrada al sedimentador	0	210
" " 2. Salida del sedimentador	0	190
" " 3. Salida de la 1ra. laguna	0	64
" " 4. Salida de la 2da. laguna	0.4	12
" " 5. Muestra de fondo de la 2da. laguna	0	--

Las condiciones de asoleamiento de este ensayo fueron adversas, puesto que nada más que un solo día (el último), la heliofanía relativa fue de 92% y como la muestra se sacó a las 12.40 hs. se aprovechó la mitad. En los otros dos días estuvo por debajo de la heliofanía relativa de cálculo que fue adoptada en 61% para el verano.

Muy sobrecargadas las lagunas en caudal, la BOD se redujo en el orden del 93% en el proceso de depuración del enlunamiento, mientras que en este caso se nota una sensible diferencia en el funcionamiento de la 1ra y la 2da laguna. El oxígeno disuelto bajo se debe, en este caso, al poco asoleamiento, a la gran actividad bacteriana y a la sobrecarga de caudal.

c.3.- Ensayo del día: 10 de febrero de 1,960

Fecha de extracción: 10/2/60

Hora: 13.30

Fecha del análisis: 11/2/60

Temp. laguna: 31°C

Caudal: 3.46 m³/día

Prof. media: 20 cm.

Volumen de las lagunas: 11 m³

Período Detención de cálculo: Ver.: 2.68 días; Inv.: 4.8 días

Período Detención de ensayo: 3.18 días

Carga superficial: 120 $\frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha día}}$

Datos extractados del Instituto meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad rel.		Heliof. rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
10/2	722.4	718.7	35.5	15.5	74%	24%	83%
9/2	722.2	719.7	32.9	14.5	73%	24%	84%
8/2	722.5	719.4	32.6	13.8	81%	24%	90%
7/2	723.4	719.8	32.9	13.8	81%	26%	90%

Saturación de oxígeno disuelto: $7.5 \frac{720}{760} = 7.1 \text{ mgr/lit}$

Análisis de líquidos cloacales

Objeto: Determinación del OD y la BOD. (5 días a 20°C) en mg/lit.

Fecha de análisis: 11/2/60

<u>Sítio de extracción</u>		<u>OD</u>	<u>BOD</u>
Muestra N°	1. Entrada al sedimentador	0	240
"	" 2. Salida del sedimentador	0	190
"	" 3. Salida de la 1ra laguna	0	86
"	" 4. Salida de la 2da laguna	18.2	18
"	" 5, Salida de la 2da laguna (fondo)	18.3	--

Las condiciones excelentes de asoleamiento y la permanencia mayor arrojaron resultados muy interesantes. La heliofanía relativa osciló entre el 83% y el 90% muy por encima del valor adoptado para el cálculo. La BOD experimentó una reducción del orden del 90% en el proceso del enlagueamiento, a la par que el OD presenta valores superiores al límite de saturación; el valor cero del oxígeno disuelto en la 1ra laguna indica un proceso bacteriano

Las condiciones de asoleamiento fueron excelentes.

La reducción de BOD en el proceso total del enlagueamiento ha sido del orden del 88% y poco apreciable la disminución entre la 1ra y la 2da. laguna. El oxígeno disuelto está por encima del límite de saturación. Tanto en este ensayo como en el anterior, se vislumbra la posibilidad de dejar fuera de servicio la mitad de las lagunas en la temporada estival para su eventual limpieza.

c.5.- Ensayo del día: 9 de Marzo de 1960

Fecha de extracción: 9/3/60

Hora: 10.35

Fecha del análisis: 10/3/60

Temperat. lagunas: 23°C

Caudal: 4.5 m³/día

Prof. media: 22 cm.

Volumen de las lagunas: 12.1 m³

Período Detención de cálculo: Ver.: 2.68 días Inv.: 4.8 días

Período detención de ensayo: 2.68 días

Carga superficial: 94.5 $\frac{\text{Kgr BOD}}{\text{Ha día}}$

Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humedad rel.		Helif. rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
9/3	726.7	724.7	25.5	10.7	90%	45%	86%
8/3	725.7	722.8	26.9	15.1	94%	41%	55%
7/3	721.3	720.5	26.5	16.5	94%	47%	11%
6/3	725.2	720.3	26.5	16.2	90%	53%	62%

Saturación de oxígeno disuelto: $8.68 \cdot \frac{725}{760} = 8.28 \text{ mgr/lit.}$

Análisis de líquidos cloacales

Objeto: Determinación del OD y BOD (5 días a 20°C) en mgr/lit

Fecha de análisis: 10/3/60

		<u>Sitio de extracción</u>	<u>OD</u>	<u>BOD</u>
Muestra N°	1.	Entrada al sedimentador	0	155
"	"	2. Salida del sedimentador	0	115
"	"	3. Salida de la 1ra. laguna	0	25
"	"	4. Salida de la 2da laguna (superficie)	3.6	12
"	"	5. Salida de la 2da laguna (fondo)	4.4	--

Un poco sobrecargadas las lagunas en caudal, las condiciones de asoleamiento fueron en promedio, cercanas a las de cálculo; la saturación del OD no fue superada por la actividad fotosintética, quizás por la sobrecarga de caudal. La reducción de la BOD en el proceso de las lagunas fué del orden del 89%. Pequeña diferencia entre las dos lagunas, se advierte como consecuencia la flexibilidad de la planta.

c.6.- Ensayo del día 15 de marzo de 1,960

Fecha de extracción: 15/3/60

Hora: 17.00

Fecha del análisis: 16/3/60

Temp. Lagunas: 31°C

Caudal: 3.40 m³/día

Prof. media: 21 cm.

Volumen de las lagunas: 11.5 m³

Tiempo detención de cálculo: Ver.: 2.68 días Inv.: 4.8 días

Tiempo detención de ensayo: 3.40 días

Carga superficial: 124 $\frac{\text{Kg BOD}}{\text{Ha día}}$

Datos extractados del Instituto Meteorológico Nacional

Fecha	Presión		Temperatura		Humed. rel.		Heliof. rel.
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
15/3	724.3	720.1	30.0	12.6	91%	32%	81%
14/3	726.9	724.0	29.5	12.0	94%	34%	83%
13/3	727.3	725.4	29.2	13.6	96%	35%	80%
12/2	726.5	724.4	28.2	12.4	90%	42%	75%

Saturación de oxígeno: 7.49 $\frac{720}{760}$ = 7.1 mgr/lit

<u>Sitio de extracción</u>	<u>OD</u>	<u>BOD</u>
Muestra N° 1. Entrada al sedimentador	0	210
" " 2. Salida del sedimentador	0	200
" " 3. Salida de la 1ra laguna	8.6	57
" " 4. Salida de la 2da laguna superficial)	15.6	45
" " 5. Salida de la 2da. laguna (fondo)	12.8	--

Aunque un poco alta la permanencia para el caso del verano está en el límite medio con respecto a la del invierno. La heliofanía relativa presenta valores superiores a los de cálculo y la carga un poco aumentada por el caudal. La reducción de BOD en el proceso del enlagueamiento, es del orden del 78% y poco apreciable la reducción entre la 1ra. y la 2da. laguna. Los valores de OD están por encima del límite de saturación.

d) Ensayo del lodo cloacal obtenido de la limpieza de fondo de la segunda laguna.

Después de un año de funcionamiento la segunda laguna fue vaciada para controlar el desarrollo de embagues y de plantas acuáticas. El lodo de fondo fue vertido por las compuertas de salida y derramado sobre la arena del antiguo lecho filtrante que rodea la planta experimental. Después de siete días fue recogida la muestra de lodo que es objeto de este ensayo:

Análisis de lodo cloacal

Fecha de análisis: 12/2/60

Muestra N° 1: Laguna de oxidación:

pH7.7
Humedad gr%gr40.57
Residuo total gr % gr.....59.43

Sólidos fijos gr % gr.....	34.36
" volatiles gr % gr.....	25.07
Grasas gr % gr.....	2.44
Sulfuros en S gr % gr.....	0.054
Nitrógeno total gr % gr.....	1.28
Nitrógeno amoniacal gr % gr.....	0.30
Nitrógeno orgánico gr % gr.....	0.98

d) Ensayo de pH

El pH fue medido en los tres lugares que se detallan en el cuadro adjunto:

Fecha	Salida sedimentador	Salida 1ra laguna	Salida 2da laguna
22/2	7.7	9.1	9.1
23/2	7.6	9.1	9.1
3/3	7.8	7.8	8.7
9/3	7.8	7.9	8.1
14/3	7.8	8.0	9.2
15/3	7.5	7.9	8.5
17/3	7.5	8.3	8.7
20/4	7.9	7.8	9.1
21/4	7.7	7.9	8.3
3/5	7.7	8.0	8.9
6/5	7.6	7.8	8.2
9/5	7.6	8.0	8.4
11/5	7.6	7.8	8.0

El fenómeno observado es un aumento del pH a medida que progresa la depuración en el enlagueamiento.

f) Determinaciones del amoníaco (en mg/lit)

En este caso las muestras fueron extraídas de lugares similares a los pH.

Fecha	Salida sedimentador	Salida 1ra. laguna	Salida 2da laguna
22/2	30	10	7
23/2	30	9	9

3/3	25	10	5
9/3	40	25	20
14/3	50	25	5
15/3	35	20	6
17/3	32	20	6
20/4	30	15	8
21/4	30	20	15
3/5	25	30	18
6/5	25	15	13
9/5	25	22	15
11/5	25	19	15

En general se advierte una disminución en el contenido de amoníaco.

g) ensayos bacteriológicos (en bacterias B Coli por cm²)

Fecha	Salida sedimentador	Salida 1ra laguna	Salida 2da laguna
22/2	700,000	240,000	240,000
23/2	700,000	700,000	700,000
3/3	700,000	620,000	230,000
9/3	700,000	240,000	240,000
14/3	700,000	240,000	240,000
15/3	700,000	240,000	230,000
17/3	700,000	240,000	230,000
20/4	700,000	240,000	130,000
4/5	700,000	700,000	0
6/5	700,000	240,000	60,000
9/5	700,000	700,000	620,000
11/5	700,000	700,000	620,000

h) Ensayo de penetración de la luz

El ensayo de penetración fue realizado con un fotómetro Weston de alta sensibilidad cuyos resultados se consignan en la tabla adjunta:

I (lux)	215	269	323	806	1,071	1,935	4,300	7,540	17,200
d (cm)	40	35	30	26	21	16	10	6	0

Por haber usado una lámpara de tungsteno cuya luz no tiene la misma composición de la luz solar, no se pudo generalizar el estudio de verificación del coeficiente α . Como consecuencia se advierte que la variación de la iluminación con la profundidad sigue una ley de tipo exponencial y además confirma, aunque de un modo aproximado, la profundidad de cálculo.

4.4.- Conclusiones de los experimentos realizados en la Planta de Córdoba

- a) La planta fue correctamente dimensionada
- b) Una vez más ha quedado confirmada la eficiencia de este tipo de sistema secundario de depuración de líquidos cloacales
- c) Los valores adoptados y los valores constantes quedan confirmados
- d) El proceso tiene una notable flexibilidad de operación.
- e) Pueden sacarse fuera de servicio, en verano, la mitad de las lagunas siempre que se proyecten en la forma aconsejada.
- d) El sistema admite sobrecargas de hasta un 30% en condiciones favorables de asoleamiento.
- g) Existe un proceso natural de disseminación de las algas en el seno de la masa líquida, haciendo innecesaria la recirculación.
- h) En general no se advierte una notable reducción de la BOD entre la 1ra y la 2da laguna
- i) En general y en condiciones normales de funcionamiento, el QD se encuentra por encima del límite de saturación.
- j) La reducción de la BOD en proceso adquiere porcentajes significativos si se tiene en cuenta la simplicidad de operación y de las instalaciones.
- k) Se advierte un aumento de pH a medida que progresa el proceso de depuración. Este aumento de pH que puede llegar a 10 a más, está producido por la actividad fotosintética en su consumo de

CO_2 que es muy intenso y que se extiende también al C de los grupos CO_3^- de los carbonatos y bicarbonatos. Este aumento de pH mejoraría las condiciones del enlagueamiento para disolver el CO_2 presente en la atmósfera, por lo que en determinadas condiciones, ésta puede constituirse en fuente de provisión.

l) Se verifica una disminución del amoníaco a medida que avanza el proceso de depuración. Este resultado está de acuerdo con lo expresado por Gotaas y Oswald respecto de la utilización del amoníaco como fuente de nitrógeno, de tal manera que según estos autores en condiciones óptimas de temperatura e iluminación y en un periodo de tres ó cuatro días de retención, es prácticamente completa la recuperación del nitrógeno amoniacal en la síntesis de las algas.

m) Hay una disminución del índice de contaminación bacteriológica. Este efecto anticoli sólo puede adjudicarse al efecto bactericida de los rayos ultravioletas. Si el efluente de las lagunas se va a destinar a riego de verduras se hace necesaria una desinfección terminal del mismo.

n) El OD en las zonas superficiales y las de fondo es sensiblemente el mismo, fenómeno que confirma la penetración de los rayos solares en toda la profundidad de la laguna.

ñ) Subsiste el problema de las larvas de insectos. Los ensayos con insecticidas de acción residual fracasaron, pues debido al movimiento permanente del agua dentro del enlagueamiento, los efectos no se prolongaban más allá del tiempo de retención. El agregado de derivados de petróleo, afecta la penetración de los rayos solares por lo que interfiere notablemente la actividad fotosintética. No se ha encontrado solución satisfactoria salvo la de sembrar peces larvófagos, siempre que se aseguren constantemente las condiciones mínimas de vida para los mismos.

- o) La planta puede operarse sin dificultades estéticas por cuanto durante el tiempo que se ensayó se pudo comprobar la ausencia de olores y condiciones ofensivas, antes bien la coloración verdosa intensa producía una agradable sensación.
- p) Con respecto a las lagunas de tipo convencional, de tirantes entre 0.70 y 1.20 metros, la ventaja de este tipo de lagunas es incontrastable debido a que su faz más desfavorable (en invierno) admiten cargas superficiales casi dobles de las toleradas para lagunas de tipo convencional y casi con la tercera parte de retención.
- q) De acuerdo a lo expuesto este tipo de lagunas de oxidación es recomendable para poblaciones no muy grandes, especialmente centros rurales y bien asoleados, donde sea barata la tierra y sea interesante contar con agua para riego.

.....

D.- CONCLUSIONES GENERALES

De la teoría y experimentos discutidos en este tratado pueden ser extraídas las siguientes conclusiones:

1ro.- Las lagunas de estabilización de desagües orgánicos deben ser diseñadas operadas y sometidas a una extensa variedad de condiciones. El principal objeto de su diseño y operación deben ser para mantener balances convenientes entre condiciones biológicas y químicas, así como para conocer los requerimientos de la calidad del efluente.

2do.- Las lagunas de estabilización deben ser diseñadas y operadas para efectuar todas las funciones de una planta completa de tratamiento de desagües, como son remoción de arena, sedimentación primaria, oxidación biológica, sedimentación secundaria, digestión de lodos.

3ro.- Ambos, la carga de BOD y cargas hidráulicas de la instalación de una laguna deben basarse más en el volumen que en el área, ya que es muy importante la limitación de la profundidad.

4to.- Las profundidades óptimas para el diseño y operación de la laguna están sujetas al rango de 2.0 a 5.0 pies (0.60 a 1.50 m)

5to.- Para los tipos de lagunas de estabilización aeróbica-anaeróbica, los factores principales que intervienen son la temperatura que es el factor relativo más importante, período de detención y volumen de la laguna.

6to.- Las bacterias son principalmente responsables de los procesos de oxidación y reducción, mientras las algas juegan un rol importante sobre el uso de CO_2 en exceso transformándolo en oxígeno, así como para mantener un valor favorable del pH. La oxigena-

ción fotosintética que ocurre en una reacción biológica aeróbica-anaeróbica es esencial para prevenir la reducción de sulfatos a sulfuros con resultados de problemas de mal olor. En lagunas con bajas densidades de algas, la producción de oxígeno es insuficiente para satisfacer la BOD.

70.- La penetración de la luz puede variar extensamente en las lagunas de estabilización de desagües dependiendo principalmente de las concentraciones de materia suspendida y color.

80.- La tensión superficial de las lagunas de estabilización, es menor que en la superficies de aguas ordinarias. Esta disminuye los efectos de la acción del viento y baja más la cantidad de cambio de oxígeno en la interfase aire-agua. La densidad de población de las algas presentes es un factor en la disminución de la tensión superficial.

90.- En latitudes calurosas, son factibles, cantidades más altas de carga y volúmenes más pequeños

100.- La recirculación en el interior de las lagunas no es garantizada.

110.- Bombeando ocasionalmente el líquido cloacal de una laguna a otra para facilitar una transferencia rápida es ventajosa, no así la recirculación continua que es de un valor insignificante.

Ventajas

1.- Evacuación satisfact. de los desechos líquidos que pueden ser utilizados como aguas de riego para plantas de tallo largo.

2.- La evaporación de una parte de líquido y posiblemente la infiltración de otra porción.

3.- La eficacia como depósito de regulación capaz de absorber fluctuaciones rápidas en la cantidad de escurrimiento y en la cali-

dad de los ~~de~~echos.

4.- Costo inicial bajo

5.- Posibilidad de utilización del contenido de la laguna ricas en proteínas que puede servir como materia prima para ciertos procesos industriales.

Inconvenientes

1.- Riesgo potencial para la salud pública, el bienestar o la higiene cuando se le da mal uso a la laguna.

2.- Posible contaminación por polución de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales adyacentes.

3.- Algunas veces puede ocasionar sedimentación, sobrenitrificación, sobre-producción de algas, malas hierbas u otras plantas, cría de mosquitos y de otros insectos voladores.



E.- DISEÑO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION
PARA LA CIUDAD DE NAZCA.

Habiendo hecho un estudio completo de la Teoría General y experimentos en Plantas Pilotos de Lagunas de oxidación y en base a este estudio vamos a diseñar las lagunas de oxidación para el caso particular de Nazca. Indudablemente los datos con que contamos, algunos son aproximados y otros no existen por faltas de estadísticas y estudios experimentales que son necesarios para diseñar satisfactoriamente una laguna; por lo tanto los resultados que hallaremos no serán exactos, solo aproximados y se tomaran con cierta reserva.

En nuestro país que cuenta con todos los factores climatológicos favorables para poder instalar lagunas de estabilización, además del aspecto económico de nuestros pueblos que muchas veces no cuenta con los medios necesarios para poder amortizar el costo de instalación, mantenimiento y operación de las Plantas de Tratamiento de desagües convencionales, se hace muy necesaria la implantación de este tipo de lagunas de oxidación. Pero para poderlas diseñar y obtener una seguridad en el buen funcionamiento de ellas también es necesario contar con datos estadísticos climatológicos y con constantes obtenidas de experimentos en plantas pilotos para nuestro medio; los cuales en nuestro País la mayoría de ellas no existen. Por lo tanto se hace muy necesario instalar estas plantas para hacer estudios experimentales, y llevar estadísticas de todos los factores climatológicos.

Para Nazca, es necesario darles a los desagües antes de que lleguen a las lagunas de oxidación, un tratamiento preliminar a base de rejillas con el objeto de eliminar los sólidos suspendidos que acarrea el desagüe y así obtener una mayor eficiencia de las lagunas. También es necesario instalar a la entrada de la laguna Medidor Parshall para controlar el caudal del desagüe.

Diseño de las lagunas de oxidación

1.- Datos:

1.1.- Gasto máximo diario futuro del desagüe:

169.2 l.p.s. = 14,625 m³/día

1.2.- Análisis del desgüe

BOD _{20°C-5días}	250	p.p.m.
Nitrogeno total.....	33	"
pH.....	6.8	
Sólidos fijos.....	654	p.p.m.
Sólidos volátiles.....	566	"
" totales.....	1120	"
" disueltos.....	782	"
" suspendidos.....	338	"

1.3.- Datos climatológicos: y geográficos

Latitud.....	14° 43' S.
Altura sobre el nivel del mar..	580
% de horas de sol al día	Invierno: 44%
	Verano : 60%
Heliofanía relativa.....	Invierno: 72%
	Verano : 90%
Temperatura media.....	Invierno: 16°C
	Verano : 29°C
Humedad relativa.....	67.6%
Evaporación.....	2.5 mm/día
Vientos.....	moderados con dirección Sur.

2.- Solución.-

2.1.- Cálculo de la profundidad

$$d = \frac{\text{Log}_e I_i}{C_c \alpha} \quad (1)$$

En lo que: d = profundidad en cm.
 C_c = concentración de algas en mgr/lit.
 α = coeficiente de absorción
 I_i = iluminación incidente en bujías-pié

2.1.1.- Concentración de algas

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

En lo que : N = Nitrógeno total del desagüe = 33 mgr/lit

% recuperación de nitrógeno: Inv. = 50%
 (según experim. de Gotaas) Ver = 75%

Luego: Invierno: $C_c = 10 \times 33 \times 0.50 = 165 \text{ mgr/lit.}$
 Verano: $C_c = 10 \times 33 \times 0.75 = 247 \text{ "}$ (2)

2.1.2.- Coeficiente de absorción (α)

Gotaas y Oswald en experimentos en plantas pilotos de Richmond - E.E.U.U. han obtenido valores promedios, los cuales recomiendan para el diseño: Invierno = 1.8×10^{-3}
 Verano = 1.3×10^{-3} (3)

2.1.3.- Iluminación incidente

$$I_i = 10 \times S \times \text{\% horas de sol al día}$$

En lo que: % horas de sol al día: Invierno = 44%
 Verano = 60%

S = energía solar total en langleys/día ($\text{cal/cm}^2/\text{día}$)

Varía de acuerdo a la latitud geográfica. Para nuestro caso en que la ciudad de Nazca se encuentra en una latitud de $14^\circ 43'S$, no existen determinaciones locales ni tablas aproximadas para el hemisferio sur como para poderlas aplicar. Por lo tanto tendremos que basarnos en datos de la Tabla N° II de Insolación de United States Weather Bureau Latitud Norte, que puede ser aplicada con cierta aproximación a nuestro hemisferio.

Luego: En Invierno

Corrección por altura: $S = S_t (1 + 0.0607 \text{ km})$

$$S_{\max} = 526 (1 + 0.0607 \times 0.58) = 540 \text{ langleys/día}$$

$$S_{\min} = 359 (1 + 0.0607 \times 0.58) = 370 \quad "$$

Corrección por nubes: $S_{\text{Inv}} = S_{\min} + (S_{\max} - S_{\min}) \times \% \text{ H.R.}$

$$S_{\text{Inv}} = 370 + (540 - 370) \times 0.72 = 492 \text{ langleys/día}$$

Iluminación incidente

$$I_{\text{inv}} = 10 \times 492 \times 0.44 = 2,167 \text{ bujías-pié} \quad (4)$$

En Verano

Corrección por altura

$$S_{\max} = 713 (1 + 0.0607 \times 0.58) = 735 \text{ langleys/día}$$

$$S_{\min} = 526 (1 + 0.0607 \times 0.58) = 540 \quad "$$

Corrección por nubes

$$S_{\text{ver}} = 540 + (735 - 540) \times 0.40 = 715 \text{ langleys/día}$$

Iluminación incidente

$$I_{\text{ver}} = 10 \times 715 \times 0.60 = 4,293 \text{ langleys/día} \quad (5)$$

Por lo tanto reemplazando los valores de (2)(3) y (4-5) en (1) tenemos:

Invierno: $d = \frac{\text{Log}_e 2,167}{165 \times 1.8 \times 10^{-3}} = 25.9 \text{ cm.}$

Verano: $d = \frac{\text{Log}_e 4,293}{247 \times 1.3 \times 10^{-3}} = 26.1 \text{ cm.}$

Como se podrá apreciar los resultados de la profundidad de las lagunas tanto en verano como en invierno, son bastante con-

servadoras. Estas profundidades pequeñas halladas se deben a las constantes del coeficiente de absorción y al porcentaje de recuperación de Nitrógeno, las cuales son constantes experimentales obtenidas de plantas pilotos operadas en otros climas (E.E.U.U.) completamente diferentes al nuestro, donde los factores climatológicos son variados, adversos para el buen funcionamiento de las lagunas. En cambio en nuestro medio y en particular para Nazca donde el clima es favorable, se puede adoptar una mayor profundidad en base a estudios realizados por Van Neuvellen en climas cálidos, el que recomienda profundidades de 0.80 a 1.50 m. Nosotros adoptaremos como valores promedios para:

Invierno: $d = 1.00$ m.

Verano: $d = 1.10$ m.

3.1.-Cálculo del período de detención

1.- Según la fórmula de Oswald y Gotaas

$$D = \frac{d \times h \times L_t}{T_c \times F \times S \times P} \times 10^{-3} \quad (6)$$

En lo que: D = período de detención en días

d = Profundidad en cms.: Inv.: 100 cms.

Ver.: 110 cms.

h = calor de combustión de algas; 6.0 Kcal (valor promedio obtenido de experimentos por Oswald y Gotaas)

T_c = coeficiente de temp. Inv.; 0.75 Valores recomendados por Gotaas.
Ver.: 0.98

F = Eficiencia fotosintética; Inv.; 8%

Ver.: 6%

"

P = razón de oxígeno a alga en peso = 1.6

"

$$L_t = \text{BOD a } 20^\circ\text{C y 5 Días} = 250 \text{ mgr/lit}$$

S ⇒ Energía solar visible en langleys por día. Se obtiene de la tabla N° II del siguiente modo:

Invierno

Corrección por altura: $S = S_v (1 + 0.0303 \text{ Km})$

$$S_{\text{max}} = 203 (1 + 0.0303 \times 0.58) = 206 \text{ langleys/día}$$

$$S_{\text{min}} = 138 (1 + 0.0303 \times 0.58) = 140 \quad "$$

Corrección por nubosidad: $S = S_{\text{min}} + (S_{\text{max}} - S_{\text{min}}) \% \text{ H.R.}$

$$S_{\text{inv}} = 140 + (206 - 140) \times 0.72 = 186 \text{ langleys/día}$$

Verano

Corrección por altura

$$S_{\text{max}} = 277 (1 + 0.0303 \times 0.58) = 280 \text{ langleys/día}$$

$$S_{\text{min}} = 194 (1 + 0.0303 \times 0.58) = 196 \quad "$$

Corrección por nubosidad

$$S_{\text{ver}} = 196 + (280 - 196) \times 0.90 = 272 \text{ langleys/día}$$

Por lo tanto reemplazando valores en (6) tenemos:

$$\text{Invierno. } D = \frac{10 \times 6 \times 250}{0.75 \times 0.08 \times 186 \times 1.6} \times 10^{-3} = 8.4 \text{ días}$$

$$\text{Verano. } D = \frac{110 \times 6 \times 250}{0.75 \times 0.08 \times 186 \times 1.6} \times 10^{-3} = 6.5 \text{ días}$$

.2.- Según la fórmula dada por el Manual of Practice Sewage Treatment Plant:

$$\frac{d}{D} = 70 \frac{F \times S}{L_t}$$

En lo que: D = período de detención días

d = profundidad dada en pulgadas: Inv = 3.33 "

Ver = 3.66"

F = eficiencia fotosintética: Inv. = 8%

Ver. = 6%

L_t = BOD a 20°C y 5 días = 250 mgr/lit.

S = energía solar visible: Inv.: 186 langley/día

Ver.: 272 "

Luego:

Invierno. $D = \frac{3.33 \times 250}{70 \times 0.08 \times 186} = 8 \text{ días}$

Verano. $D = \frac{3.66 \times 250}{70 \times 0.06 \times 272} = 8 \text{ días}$

Comparando los resultados obtenidos por los dos métodos vemos que son casi iguales; por lo tanto adoptaremos como período de detención :

Invierno:..... $D = 8.4$ días

Verano..... $D = 6.5$ "

4.1.-Cálculo de la carga de BOD

$$C = \frac{d \times \text{BOD}}{D}$$

En lo que : C = carga de BOD en $\frac{\text{Kg BOD}}{\text{Ha} \times \text{día}}$

d = profundidad en cms.

BOD = en gr/m^3

D = período de detención en días

Luego:

$$\text{Invierno: } C = \frac{100 \times 250}{8.4} \times 10^{-1} = 300 \frac{\text{Kg BOD}}{\text{Ha x día}}$$

$$\text{Verano: } C = \frac{110 \times 250}{6.5} \times 10^{-1} = 423 \frac{\text{Kg BOD}}{\text{Ha x día}}$$

5.1.- Cálculo del volumen de la laguna

$$V = Q_{\text{max diar}} \times D$$

$$\text{Invierno: } V = 14,625 \times 8.4 = 122,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Verano: } V = 14,625 \times 6.5 = 95,000 \text{ m}^3$$

6.1.- Cálculo del área de la laguna

1.- En función de la carga de BOD

$$A = \frac{Q_{\text{max diar}} \times \text{BOD}}{C} \times 10$$

$\left\{ \begin{array}{l} A \text{ en m}^2 \\ Q : \text{ en m}^3/\text{día} \\ \text{BOD en mgr/lit.} \\ C : \text{ en } \frac{\text{Kg BOD}}{\text{Ha x día}} \end{array} \right.$

$$\text{Invierno: } A = \frac{14,625 \times 250}{300} \times 10 = 122,000 \text{ m}^2 = 12.2 \text{ Ha}$$

$$\text{Verano: } A = \frac{14,625 \times 250}{423} \times 10 + 86,400 \text{ m}^2 = 8.64 \text{ Ha}$$

2.- En función de la carga hidráulica

$$A = \frac{V}{d}$$

$$\text{Invierno: } A = \frac{122,000 \text{ m}^3}{1.0 \text{ m}} = 122,000 \text{ m}^2 = 12.2 \text{ Ha.}$$

$$\text{Verano: } A = \frac{95,000 \text{ m}^3}{1.1 \text{ m}} = 86,400 \text{ m}^2 = 8.64 \text{ Ha.}$$

7.1.- Número de unidades

Como toda el área obtenida de las lagunas ha sido diseñada para el futuro (30 años); es necesaria subdividirla y obtener un número de unidades parciales que se vayan instalando periódicamente de acuerdo a las necesidades futuras de la población. Para ello nos hemos basado en las previsibles poblaciones de cada 10 años y a la topografía del terreno para determinar en cada etapa sus áreas y el número de unidades correspondientes, según se demuestra en el siguiente cuadro:

C U A D R O I

NUMERO DE UNIDADES POR ETAPAS

Año	Poblac. (ONPU)	Max. dia. m ³ /dia	Volumen (m ³)		Area (Ha.)		N° unidades		
			Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Etap	Total	
							Inv.	Inv.	Ver.
1,970	17,500	5,650	47,500	36,800	4.75	3.34	6	6	4
1,980	24,100	7,750	65,000	50,400	6.5	4.56	2	8	6
1,990	33,100	11,000	92,500	71,500	9.25	6.50	4	12	8
2,000	45,000	14,600	122,000	95,000	12.2	8.64	4	16	12

Como se podrá apreciar en la etapa inmediata se requieren 6 unidades de 0.90 x 0.90 m. de área y 1.10 de profundidad, las cuales funcionarán en forma combinada tanto en serie como en paralelo según convenga las necesidades ya que deben tener flexibilidad para las épocas estacionales, donde en verano por requerir una mayor carga (menor período de detención) es necesario que dejen de funcionar 2 unidades, lo que se aprovecharía para hacerles la limpieza correspondiente.

Las dimensiones así como los detalles constructivos aparecen en el plano N° 17

F.- Diseño del Medidor Parshall

El Medidor Parshall es una estructura que sirve para medir el gasto. Este medidor es un instrumento empírico y las dimensiones son standard y se escoge por el ancho de la garganta de acuerdo a los gastos máximos y mínimos horarios según el cuadro adjunto:

C U A D R O I I

LIMITES DE APLICACION DE LOS MEDIDORES PARSHALL
CON ESCURRIMIENTO LIBRE

w		Capacidad en lit/seg	
Pulg.	cms.	Mínimo minimorun	Máximo maximorun
3	7.6	0.85	53.8
6	15.2	1.42	110.4
9	22.9	2.55	251.9
1'	30.5	3.11	455.6
1 1/2'	45.7	4.25	696.2
2'	61.0	11.89	936.7
3'	91.5	17.26	1,426.3
4'	122.0	36.79	1,921.5

Por lo tanto comparando este cuadro de límites con el cuadro III de los gastos para cada etapa que van a entrar a las lagunas, vemos que necesitamos 1 unidad Parrshall de garganta $w = 4'$. Pero tambien podemos apreciar que este Parshall por ser muy grande mediría con inexactitud los gastos mínimos actuales; entonces se ha preferido adoptar dos unidades de garganta $w = 9''$ instalándose una en la etapa inmediata y la otra para el futuro cuando aumente el caudal.

C U A D R O I I I

Año	Población (ONPU)	Gasto en lit/seg.	
		Mínimo minimorum (28%Q _p)	Máximo maximorum (208%Q _p)
1,970	17,500	15	116
1,980	24,100	21	156
1,990	33,100	30	222
2,000	45,000	39	296

G.- Diseño de la cámara de rejas

El diseño de la cámara de rejas constará de cámara de reunión con partidador, dos canales que dan ingreso a la cámara de rejas, a su vez que cada uno posee un nuevo partidador para distribuir el flujo, luego las rejas propiamente dichas con su respectivo By-pass para el sobre flujo. En la salida de las cámaras se encuentra el Medidor Parshall.

Las rejas tendrán las siguientes dimensiones:

- Espesor de la barra..... 3/8"
- Ancho " " " 1 1/2"
- Espaciamiento..... 1 1/2"
- Inclinación..... 45°

Con estas dimensiones adoptadas calcularemos la pérdida de carga en los enrejados:

$$h_f = K \frac{v_p^2}{2g}$$

En lo que: h_f = pérdida de carga en metros

$$K = B \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} \left\{ \begin{array}{l} B = \text{depende de la forma de la reja} \\ \begin{array}{ccccc} \square & \square & \square & \circ & \circ \\ 2.42 & 1.83 & 1.67 & 1.79 & 0.76 \end{array} \\ S = \text{espesor de la barra} = 3/8" \\ b = \text{espaciamiento de barras} = 1 1/2" \end{array} \right.$$

$$K = 2.42 \left(\frac{9}{16} \right)^{4/3}$$

$$K = 1.13$$

$$V_p = V_a \sqrt{\text{Sen } 45^\circ}$$

$$V_a = \text{velocidad de aproximación}$$

$$V_a = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$K = \frac{A}{P} = \frac{0.5 \times 0.4}{0.4 + 1.0} = 0.15$$

$$S = \frac{0.004}{2} = 0.002$$

$$n = 0.013$$

$$V_a = \frac{(0.15)^{2/3} (0.002)^{1/2}}{0.013} = 0.30 \text{ m/seg}$$

$$V_p = 0.30 \sqrt{0.705}$$

$$V_p = 0.26 \text{ m/seg}$$

Luego:
$$h_f = 1.13 \frac{(0.26)^2}{2 \times 9.8} = 0.042 \text{ m.}$$

Las dimensiones y detalles constructivos aparecen en el Plano N°18

H.- Diseño del canal distribuidos y recolector

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

En lo que:
$$R = \frac{\text{Area de la sección}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{0.30 \times 0.40}{0.30 + 0.80} = 0.11$$

$$S = \text{Pendiente} = 0.002$$

$$n = \text{coeficiente del concreto} = 0.013$$

Luego:
$$V = \frac{(0.11)^{2/3} (0.002)^{1/2}}{0.013}$$

$V = 0.25 \text{ m/seg.}$.- que es ligeramente mayor que la velocidad de sedimentación de la arena gruesa que es de 0.21 m/seg. (O.K.)

I.- DISPOSICION FINAL DEL EFLUENTE

El efluente obtenido de las lagunas de oxidación se recomienda que sea empleado para la agricultura pero solamente para el riego de terrenos que cultiven algodón y árboles frutales (plantas de tallo largo) propias de esta zona. No debe emplearse para regar legumbres, hortalizas, tubérculos etc. ya que están expuestas a la contaminación y que constituyen un peligro potencial para la salud de los que consumirían estos vegetales.

El caudal del efluente, descontando pérdidas por evaporación y filtración, y el número de Has. de terrenos irrigados (considerando 0.8 lit/seg/Ha = 69 m³/día/Ha), sería:

C U A D R O IV

Año	Gasto Prom. Infl. m ³ /d	Area (m ²)	Perd. Evap. 0.0025A m ³ /d	Perd. Filt. 0.20G _p m ³ /d	Perd. Total m ³ /d	Gasto Prom. eflue m ³ /d.	Has. de tierra irrig.
1,970	4,350	47,500	119	870	989	3,361	52.5
1,980	5,960	65,000	162	1192	1354	4,606	67.0
1,990	8,470	92,500	231	1694	1925	6,545	95.0
2,000	11,200	122,000	305	2240	2545	8,655	125.0

o o o o o o o o o o o o

BIBLIOGRAFIA

I) ALCANTARILLADO

- Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras..... E. Babbit
Hidraulica General..... Dominguez
Proyecto de Agua y Desagüe de Ica..... M.F. y O.P.
Proyecto de Agua y Desagüe de Piura..... M.F. y O.P.
Copias de clases y prácticas de alcantarillado. Ing. Alfonso Zavala
Ing. Augusto Navarro
Copias de Abastecimiento de Aguas..... Ing. Pflucker
Copias de Hidráulica..... Ing. L. Maisch
Normas Técnicas para la elaboración de Proyectos
y ejecución de obras de Agua Potable y Desagüe..... M.F y O.P.
Diferentes Tesis de Alcantarillado y tratamiento de Aguas Negras
Abastecimiento de Agua y Alcantarillado..... Steel

oooooooooooo

II.- LAGUNAS DE OXIDACION

TEXTOS

- Alcantarillado y Tratamiento de aguas Negras.....E. Babbit
Manual del Tratamiento de Aguas Negras.....Dpto. de Sanidad del
Estado de New York.
Algas.....Mervin-Palmer

REVISTAS

- D.A.E. N° 54 - Sept. 1, 1964.....Ing. Acevedo Netto
"Lagunas de oxidacion"
INOS - Mayo 1, 1962.....Ing. Franz Dozsa M.
"Lagunas de estabilización"

Saneamiento - Enero, Febrero, Marzo 1, 1964.. Ing. Juan M. Martinez P.

Nº 196

Contribución al estudio de
las lagunas de oxidación

Journal Nº 3 - Sewage Works, Mayo 1, 1946

Atomic Energy Commission, March, 1. 1957.... E.R. Hermann

Development of Design criteria
for Waste Stabilization Ponds.

FOLLETOS

Algae in Waste Treatment.....W.J. Oswald, H.B. Gotaas, C.G. Golueke
and W. R. Kellen

Utilization of Solar Energy

for Waste Reclamation..... Harold B. Gotaas and William J. Oswald

Design of Miscellaneous Aerobic

Biological Treatment Units.... Manual of Practice on Sewage Treatment
Plant Design (chapter 12)

Aspectos biológicos y químicos

de las lagunas de oxidación....Serv. Cooperativo Inter-Americano de
Salud Pública - El Salvador. A. Bartsch

COPIAS

Alcantarillado.....Ing. Alfonso Zavala

Abastecimiento de Aguas.....Ing. Roberto Blume

Conferencia de Lagunas de oxidación. Ing...

Hidráulica..... Ing. Ricardo Corzo.

.....