

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EUTROFICACION

Margarita María del Consuelo Mena Alarcón

QUIMICO

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

QUINING



692

[REDACTED]

Tests 1977

S
REG
CHA
DA

PRESIDENTE Prof. Alberto Obregón P.

VOCAL Prof. Martha Rodriguez P.

SECRETARIO Prof. Elvia Martinez I.

1er. Suplente Prof. Irma Aguilera Ortiz

2o. Suplente Prof. Ricardo Albarrán L.

Jurado asignado
originalmente -
según el tema

Sitio donde se desarrolló el tema: Subsecretaria de Mejoramiento
del Ambiente, S.S.A.

Nombre completo y firma del sus-
tentante: Margarita Ma. del Consuelo
Mena Alarcón.

Nombre completo y firma del ase-
sor del tema: Alberto Obregón Perez

A MIS PADRES

Con agradecimiento por
el apoyo recibido en -
los momentos difíciles
de mi vida.

A mi pequeño hijo JOSE CARLOS
con cariño y mis mejores -
anhelos de triunfo, realiza-
ción e integridad en tu -
futuro.

A MIS HERMANOS

Rafael, Carlos, Roberto, Sergio
Silvia y Carlos Antonio.

Al Ing. ENRIQUE DIAZ N.
Con el cariño y respeto
que para mí merece.

A mis compañeros y amigos

Agradezco a mis sinodales y a las
personas de las cuales recibí -
ayuda, sugerencias y facilidades
para la realización de este --
trabajo.

I N D I C E

| | PAGINA |
|---|--------|
| CAP. I.- GENERALIDADES | 1 |
| CAP. II.- CAUSAS QUE PROVOCAN LA EUTROFICACION | 7 |
| CAP. III.- CONTRIBUCION DEL FOSFORO EN EL FENOMENO DE LA EUTROFICACION | 14 |
| CAP. IV.- FUENTES DE FOSFORO Y TECNICAS DE IDENTIFICACION | 30 |
| CAP. V.- CONTROL DE LA EUTROFICACION Y SU JUSTIFICACION SOCIO-ECONOMICA | 57 |
| CAP. VI.- CONCLUSIONES | 67 |
| BIBLIOGRAFIA | 70 |

GENERALIDADES

El agua, como recurso vital es base de la actividad del hombre y por ese motivo, con el crecimiento demográfico y el desarrollo de la humanidad, cada vez van siendo mayores los volúmenes de agua que se utilizan y con ello, más cuantiosos y en mayor grado, los volúmenes de agua que se contaminen.

La contaminación, consiste en la degradación de la calidad natural, en este caso del agua, y puede clasificarse en biológica, física, química y radioactiva, según las características del contaminante.

En ocasiones, la degradación de la calidad del agua es un efecto local, del cual ese elemento por su efecto autodepurador, logra recuperarse; sin embargo, muchas otras veces se trata de un efecto permanente o tan perdurable, que hay que considerarlo como permanente.

El agua acarrea y mezcla los residuos de la actividad humana. Muchos tipos de contaminación del agua son sinérgicos con otros tipos, esto es, dos tipos combinados provocan mayor daño que la suma de los daños que provocarían aisladamente.

Una carga excesiva de materia contaminante satura la capacidad autodepuradora de las aguas y las convierte en ríos, lagos o mares muertos.

Las fuentes de contaminación del agua más importantes son: las aguas residuales provenientes de los usos domésticos y municipales, industriales, agrícolas, termoeléctricas, así como por desechos de minas, actividad petrolera, desechos sólidos como basuras y otro tipo de residuos.

La contaminación del agua compromete el aprovechamiento de ésta, aguas abajo del punto en que se produce el fenómeno, deña la flora y fauna de los ríos y mares; en suma altera el equilibrio ecológico, provocando con frecuencia fenómenos irreversibles que inciden directamente en perjuicio de la colectividad y van ocasionando mayor grado de dificultad al desarrollo.

La pirámide alimenticia que sustenta la vida del hombre, muestra que se requiere una tonelada de alimento primario para lograr un incremento de un kilogramo de peso en el ser humano. La flora y la fauna alimenticias son afectadas directamente en cantidad y calidad por la contaminación de las aguas; determinados contaminantes destruyen los alimentos, de los que el hombre requiere para su supervivencia y en otros casos, sin llegar a destruirlos, los afecta en su calidad con sustancias tóxicas, que el ser ingerido por el hombre, muchas veces sin posibilidad de ser eliminadas, se van acumulando con el consiguiente daño a la salud.

Dentro de la misma pirámide alimenticia se ha re-

gistrado el efecto acumulativo de ciertas sustancias tóxicas o dañinas, que al pasar de especie a especie van aumentando su concentración por unidad de peso. Asimismo se han encontrado en el plancton ubicado en áreas en las que existe derrame de petróleo, elementos carcinógenos cuyos efectos en los organismos que se abastecen de ese alimento primario, habrá de estudiar a fondo.

El DDT que acarrear las aguas procede principalmente de la aplicación de pesticidas en áreas dedicadas a la ganadería o agricultura y en algunos países ya prohíben o restringen el uso de los mismos. Tal es el caso de Suiza, Australia y partes de los Estados Unidos de América.

La contaminación de las aguas provoca enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea y otras igualmente graves, incluyendo trastornos mentales cuando se tienen determinadas sustancias tóxicas, como el mercurio, el cromo hexavalente, el cadmio, etc.

Otros problemas que son provocados por la contaminación del agua es el crecimiento desmedido del lirio acuático o algas, cuando se tienen demasiados nutrientes químicos, tales como nitratos de los desechos domésticos y fosfatos de los detergentes, ocasionando la pérdida de agua por evapotranspiración, inhibición de los procesos de fotosíntesis y reareación, necesarios para la autodepuración de las aguas y dificultando la operación de los canales de los sistemas de riego, como en el caso que se presenta en muy distintas partes de nuestro país.

El fenómeno de eutroficación, es el envejecimiento de un depósito de aguas que se origina por la concentración

de nutrientes que causan el crecimiento desmedido de microorganismos, que si bien es cierto que producen oxígeno necesario para la depuración, cuando se llega a un determinado límite, no alcanza a compensar el requerido con su muerte. La eutroficación es propiciada por las aguas negras, las aguas de lluvia que lavan un campo agrícola fertilizado o los residuos que arroja al drenaje una fábrica industrializadora de alimentos.

Sobre la contaminación radioactiva es necesario investigar profundamente, para determinar hasta qué límites mas allá de los dramáticamente ya conocidos, afecta a la humanidad. Determinar la forma en que influye al incorporarse en la cadena alimenticia, su ingestión y los efectos por la dosis que el hombre recibe.

Cabe aquí comentar la reciente noticia de que en Chile en depósitos destinados a abastecimiento de agua potable y localizados a 4,000 metros sobre el nivel del mar, sobre la cordillera andiana, se encontró contaminación radioactiva, lo que vino a corroborar la justicia de la exigencia del Perú, de la suspensión de las pruebas nucleares que se venían realizando en el pacífico; exigencia que fué respetada por la potencia en cuestión. Ese doble hecho y otros registrados en países vecinos de potencias nucleares, deben alertar a todo el mundo para prevenir la contaminación radioactiva.

Corresponde a cada país velar por la preservación de la calidad de su medio ambiente y de las posibles repercusiones que fuera de su jurisdicción territorial tenga cualquier acción interna, en el aspecto de la contaminación. Y

corresponde a todos los países cuidar el medio ambiente internacional o sean aquellos espacios que por facilidad, por falta de una legislación y vigilancia adecuadas y porque ha habido falta de responsabilidad en muchos casos, han venido siendo utilizados como tiradero de sustancias tóxicas, radioactivas y en general perjudiciales a la flora, la fauna y el hombre. Los eminentes investigadores Profrs. Jacques Piccard e Yves Cousteau han venido vaticinando que de continuar por el camino que vamos, en un plazo entre los 30 y los 50 años, todos los océanos de nuestro planeta se habrán convertido en mares muertos.

México, aunque no alcanza todavía los niveles que tienen los países industrialmente desarrollados, en los que vienen afrontando muy graves problemas en matéria de contaminación, con efectos deplorables y gastos exorbitantes por no haber atendido con oportunidad ese aspecto de importancia capital, tiene ya, por las características de concentración demográfica y de sus polos de desarrollo, regiones en las que la contaminación ambiental adquiere proporciones peligrosas.

Así registramos, continuando con los efectos de la contaminación, problemas en el suministro de agua para fines domésticos, municipales e industriales, para el riego, el fomento de la ganadería, para el desarrollo de la pesca, para el turismo y la recreación y para otros usos más. Se aprecian además trastornos en la flora y fauna acuáticas y en los aspectos estéticos.

El gobierno de la república, conciente de que el concepto del racional aprovechamiento de los recursos le es

inherente el factor de la calidad de los mismos, para asegurar que no se altere el equilibrio ecológico, ha promulgado la ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación -- Ambiental, en beneficio de " bienestar general", concepto -- en el que queda incluido el muypreciado de la " salubridad general".

Y es importante insistir en que se busca y es obligatorio lograr el bienestar general, incluyendo el de las futuras generaciones. Sería engañoso cerrar los ojos ante -- esa realidad y compromiso, pretendiendo realizar un desarrollo " acelerado", desatendiendo el problema de la contaminación, para en la práctica, llegar en muy breve lapso-- en algunos casos se ha llegado ya-, a parar determinadas ramas de actividad.

El asunto de la contaminación ambiental es por su propia trascendencia, de la competencia de todos; porque todos contaminamos y porque a todos nos afecta la contaminación. Claro está, que hay regiones en donde adquiere mayores proporciones. Es a los habitantes de esas áreas y a los integrantes de esos sectores a quienes corresponde realizar un mayor esfuerzo. El asunto lo amerita y el beneficio lo justifica.

CAUSAS QUE PROVOCAN LA EUTROFICACION

Este capítulo da las respuestas de como? y porque? las aguas se vuelven eutróficas.

Se ha establecido la idea que los lagos o cuerpos de agua son originalmente oligotróficos (es decir en concentraciones de sustancias nutrientes, despreciables), relativamente hondos, con baja productividad y suficiente oxígeno disuelto en el agua profunda (hipolimnio).

Lo que en realidad sucede es que a medida en que el tiempo pasa, el cuerpo de agua es enriquecido con nutrientes dando como resultado que la productividad de microorganismos se incremente y el oxígeno disuelto sea reducido -- por ser utilizado en los procesos de degradación y mineralización, y con esto la cuenca del lago empieza a saturarse -- dando como resultado, al final de un tiempo un lago eutrófico. El proceso de la eutroficación lleva como consecuencia el cambio completo de las condiciones estéticas originales -- de un cuerpo de agua. El punto medio de la eutroficación se conoce como mesotrófico. La representación de los aspectos antes mencionados se muestran en la fig. 1. Amplias evidencias científicas sostienen éste concepto.

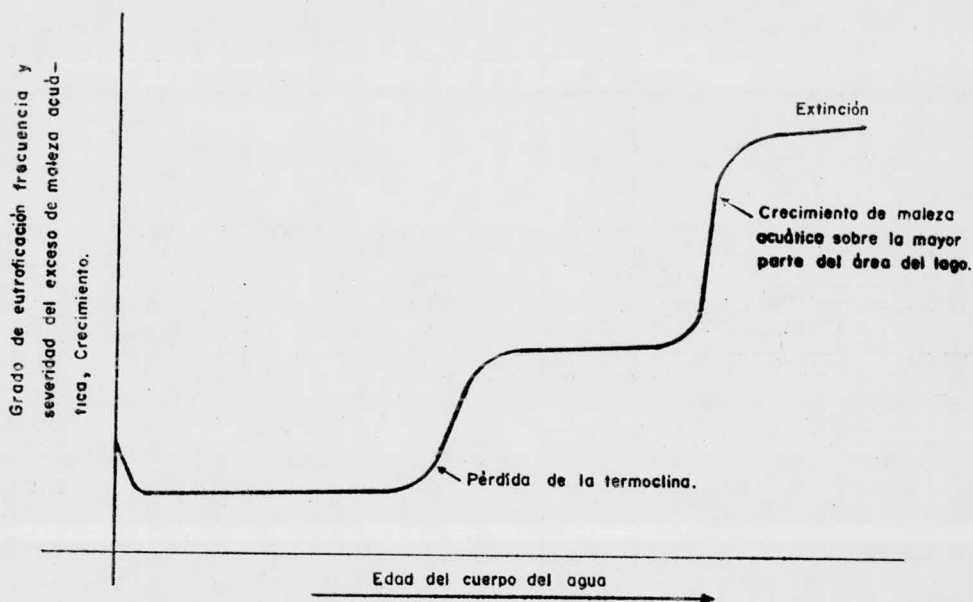


fig. 1.- Cambios progresivos en una eutroficación natural

La documentación más antigua de los efectos de la eutroficación datan de los días bíblicos y en estos se menciona el color rojo del Nilo (Exodo 7: 20-21) del que no cabe duda que este fenómeno fué causado por la maleza acuática. Han sido encontradas evidencias de la temprana eutroficación producida por el hombre en los años 191 A.C. en el lago Monerosi durante la construcción de la Via Cassia por los romanos. Investigaciones paleolimnológicas de sedimentos de los lagos nos muestran a través de los años el proceso de la eutroficación. La influencia del hombre está ligada desde estos tempranos tiempos en el fenómeno de la eutroficación acelerada.

no se
encontrada

Uno de los factores más significativos con los que se tiene una aceleración en la eutroficación, son los nutrientes contribuyentes de el drenaje que el hombre arroja sin un tratamiento previo, a la cuenca de un lago o cuerpo de agua. Ahora si el terreno de la cuenca es fértil, el agua del lago muy probablemente también será fértil. Si la cuenca resulta ser más grande en relación a el volumen total del cuerpo de agua, se propicia una mayor contribución de nutrientes de las ciudades, de las industrias de alimentos, de las granjas, establos y otras fuentes importantes proveedoras de éstos. Tal es el caso, como el volumen que conduce el gran canal que sale de la ciudad de México y que tiene una de sus desembocaduras en la presa Endo localizada en el Estado de México la cual es un ejemplo clásico de una eutroficación acelerada provocada por la actividad humana.

La fertilidad de la maleza acuática, así como se ha discutido desde un punto de vista cualitativo, también tiene un aspecto cuantitativo, porque el potencial del cuerpo de agua para el desarrollo del crecimiento de la maleza acuática depende principalmente de la mezcla de elementos químicos necesarios. La tabla 1 de este trabajo da la principal composición de elementos de algunas malezas acuáticas de agua dulce, a la vez que las proporciones mínimas de nutrientes implicados, esto no refleja exactamente las concentraciones de elementos presentes en un cuerpo de agua.

Tabla 1

| Elemento | % en peso |
|-----------|---------------|
| Carbón | 49.51 - 70.17 |
| Oxígeno | 17.40 - 33.20 |
| Hidrógeno | 6.57 - 10.20 |
| Nitrógeno | 1.39 - 10.98 |
| Fósforo | 1.35 - 2.76 |
| Sílice | 1.00 - 50.00 |
| Azufre | 0.42 - 0.77 |
| Magnesio | 0.26 - 1.51 |
| Calcio | 0.006- 0.40 |
| Potásio | 0.04 - 1.44 |
| Manganeso | 0.02 - 2.60 |
| Fierro | 0.02 - 3.45 |
| Estroncio | 0.0004- 0.051 |
| Cobre | 0.0008- 0.034 |
| Zinc | 0.0004- 0.009 |

En adición a estos elementos son necesarias con-
centraciones extremadamente mínimas de elementos, tales como
molibdeno, cobalto, sodio, boro y vanadio, en la nutrición -
de algunas malezas acuáticas, además de compuestos orgánicos
tales como vitamina B₁₂, tiamina y biotina, substancias im-
portantes en el crecimiento de éstas. El grado de producción
de maleza acuática en un cuerpo de agua esta gobernada por -
la operación simultanea de un número de factores controlados.
La disponibilidad de los nutrientes es solo un factor, aun-
que bien, es un requerimiento de sobremanera importante. La
información histórica de la eutroficación de numerosos cuer-
pos de agua verifica que la capacidad de producción general-
mente esta relacionada con la concentración de los nutrien-

tes. Esto puede ser demostrado facilmente con algún tipo de maleza acuática en pruebas de laboratorio, aportando con esto conocimientos que confirman que en los cuerpos ricos en nutrientes se desarrollan grandes extensiones de maleza acuática. Esto tambien ayuda a explicar porque la totalidad de las actividades humanas incrementan los niveles de nutrientes por varios caminos.

La siguiente tabla muestra el valor de la fotosíntesis en cuerpos de agua oligotrófico y eutrófico con presencia de fitoplancton.

Tabla 2.- Valores fotosintéticos de fitoplancton.

| | Oligotrófico | Eutrófico | |
|--|--------------|-------------|---|
| | | natural | contaminado |
| Valores mínimos en época de crecimiento. | 30 - 100 | 300 - 1,000 | 1,500-3,000 mg C/m ² /día |
| Valores anuales | 7 - 25 | 75 - 250 | 250-700 g C/m ² /año |

Oligotrófico= baja concentración en nutrientes; natural = alta concentración en nutrientes; contaminado= muy alta concentración en nutrientes.

Existe otra forma de clasificar un cuerpo de agua que esta en función de la fertilidad o densidad de un plancton obtenida durante un cierto tiempo (un año) -- así tenemos que un cuerpo ultraoligotrófico tiene una densidad menor de 1.0 cm³/m³ de plancton; un cuerpo de agua altamente eutrófico tiene un valor de densidad más o menos

10 cm³/m³ y un cuerpo mesotrófico, si se le clasifica cuando se encuentra entre estos dos límites.

Además del suministro de nutrientes que favorecen la eutroficación de un cuerpo de agua, debe considerarse los siguientes factores: la morfología del cuerpo de agua, la situación geográfica, el clima y la temperatura.

Otro de los factores que influyen en el desarrollo de la maleza acuática es la profundidad que tengan los cuerpos de agua, así tenemos que una profundidad media es la más apropiada para el desarrollo de la maleza acuática, que un cuerpo que tenga una profundidad grande, en conclusión los cuerpos de agua profundos son más resistentes a la influencia de la eutroficación que los cuerpos de agua poco profundos.

Otro factor importante que influye en la producción biológica es la energía de la luz que acelera el inicio del efecto de la fotosíntesis.

La eficiencia de la producción de la maleza acuática además de la acción de la luz, depende también de :

a) la dimensión de la capa de los organismos que se encuentran suspendidos en un estrato del cuerpo de agua por la acción de la turbulencia del agua.

b) la profundidad de la capa en la cual se encuentran estos organismos y que la penetración de la luz es suficiente para desarrollar un proceso de fotosíntesis efectiva.

Si el volumen del estrato en el cual permanecen suspendidos éstos microorganismos y en el cual el proceso de la fotosíntesis se desarrolla favorablemente, es grande en relación a el volumen total de la cuenca, como en los lagos

poco profundos, éste cuerpo de agua tendrá una tendencia --- característica hacia la eutroficación. Agregado a lo ante--- rior, entre más grande es la longitud de la orilla, borde o playa de un cuerpo de agua, más grande generalmente es la -- productividad, esto se debe por el mayor contacto que se tie ne del suelo con el agua. En conclusión, en aguas poco pro--- fundas como las margenes de las bahías, ensenadas y playas -- es más factible que la maleza se desarrolle en el fondo por acción de la fotosíntesis y zonas de descomposición.

En el verano, la distribución de la temperatura es ampliamente determinada por la configuración de la cuenca -- del cuerpo de agua y su profundidad, latitud y grado de pro-- tección del viento. Los lagos poco profundos con pendientes poco pronunciadas en su cuenca sufren la eutroficación en el verano. Al contrario, los lagos profundos con una topo-- grafía accidentada tienden a estratificar una zona favorable al desarrollo de un epilimnio superior y un buen desarrollo de la termoclina y un hipolimnio inferior. De donde la ter-- moclina actúa como barrera al movimiento de nutrientes al -- hipolimnio y de los sedimentos a la zona fotosintética. Esos sucesos, sin embargo, no influyen en que el fósforo puede di-- solverse en el hipolimnio al mismo tiempo que el oxígeno es agotado.

**CONTRIBUCION DEL FOSFORO EN EL FENOMENO
DE LA EUTROFICACION**

Ha sido plenamente identificado que el fósforo es el elemento de mayor importancia en el desarrollo de la eutroficación. En este desarrollo existen cinco factores importantes en relación a los nutrientes y son:

- a) Se necesita de una variedad de nutrientes para que se lleve a cabo.
- b) Al incrementarse los nutrientes, aumenta en razón directa el grado de producción de maleza acuática y en consecuencia lógica, el tamaño del cultivo.
- c) En el desarrollo o aceleración de la eutroficación es necesaria la acción conjunta del nitrógeno y del fósforo.
- d) En los lagos oligotróficos la concentración de fósforo es mínima.
- e) Conforme la aceleración de la eutroficación avanza, el valor de la razón entre nitrógeno y fósforo disminuye, -- dando como resultado que el fósforo no sea completamente limitado.

Los aspectos cualitativo y cuantitativo que representan los puntos a) y b), han sido ya discutidos.

Estudios realizados en numeroso lagos alrededor del mundo han contribuido a un mayor entendimiento de como los nutrientes se encuentran implicados en la aceleración de la eutrofización.

Analizando la acción que tiene el nitrógeno y el fósforo, se les reconoce como los nutrientes de primera importancia en el proceso, ver fig. A y B al final del capítulo, Vollenweider (19), obtuvo datos de numerosos lagos, principalmente en Europa, explora el significado del nitrógeno y del fósforo desde dos puntos de vista:

Las concentraciones aprovechables por las algas tomando como punto de partida el ciclo anual y los valores o concentraciones de suministro.

Observando los resultados de los análisis -- obtenidos en lagos de Europa Central, en relación a el fósforo y nitrógeno (menos de $10 \mu\text{g}/\text{l}$ de fósforo inorgánico y menos de $300 \mu\text{g}/\text{l}$ de nitrógeno inorgánico) confirmados de una manera general por las condiciones existentes, se deduce que de los dos elementos, el fósforo es el más crítico.

En la tabla 3 se muestra los niveles encontrados de fósforo y nitrógeno en los Grandes Lagos, que substancialmente están de acuerdo con los estados de nivel -- crítico en relación con un estado trófico.

20

Tabla 3

| | fósforo total µg/l | nitrógeno total µg/l |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Oligotróficos | | |
| Lago Superior | 5 - 9 | 2 - 71 |
| Lago Huron | 10 -13 | 340 |
| Oligomesotróficos | | |
| Lago Michigan | 13 -21 | 60 |
| Eutrófico | | |
| Lago Erie | 61 | |
| Cuenca del Oeste | 50 -93 | 710-740 |
| Cuenca Central | 16 -30 | 430-470 |
| Lago Ontario | 13-75 | 60 |

Usando los datos obtenidos de nutrientes de 30 lagos en Europa y Norte América, Vollenweider analizó el estado trófico de los lagos en relación a el valor de la carga de nutrientes. El concluye que los valores más significativos es cuando ocurren las mayores concentraciones. Análisis similares han sido hechos por la "Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos" para algunos lagos de los Estados Unidos. Aunque los datos de Europa y América son algo limitados los siguientes puntos son importantes.

Primero.- Comunmente ocurren características de los lagos oligotróficos, como en el caso del lago Tahoe y el lago Waldo, con una carga total de fósforo menor de 0.02 g/m² por año y una carga total de nitrógeno, probablemente menor de 5 g/m² por año.

Segundo.- Una eutroficación definitiva, como en Zúrich el lago Erie y otros lagos, esto es de esperarse — cuando se tiene una carga total de fósforo mayor a 1 g/m^2 por año y una carga de nitrógeno de 10 g/m^2 por año.

Tercero.- El nivel de carga crítica específico que separa las aguas oligotróficas de las eutróficas es — probablemente de 0.2 a 0.5 g totales de P/m^2 por año y de 5 a 10 g totales de N/m^2 por año.

Cuarto.- No solo la relación puede esperarse — entre la carga de cantidad de nutrientes, concentración de nutrientes y producción, porque hay una variedad de factores que influyen, tales como profundidad, extensión de la margen, corrientes y tiempo de detención.

Sin embargo en la siguiente tabla 4 se provee de una guía que merece consideración.

Tabla 4.- Niveles permisibles de carga para nitrógeno total y fósforo total ($\text{g/m}^2/\text{año}$)

| Profundidad | Carga permisible que soporta | | Exceso de carga, peligrosa | |
|-------------|------------------------------|------|----------------------------|------|
| | N | P | N | P |
| 5m | 1.0 | 0.07 | 2.0 | 0.13 |
| 10m | 1.5 | 0.10 | 3.0 | 0.20 |
| 50m | 4.0 | 0.25 | 8.0 | 0.50 |
| 100m | 6.0 | 0.40 | 12.0 | 0.80 |
| 150m | 7.5 | 0.50 | 15.0 | 1.00 |
| 200m | 9.0 | 0.60 | 18.0 | 1.20 |

Las algas como cualquier otro micro-organismo tienen una descomposición elemental similar, a la vez que difieren de cierto modo entre especies, varias poblaciones de algas contienen carbono, nitrógeno y fósforo y una razón de peso aproximado de 41% de C, 7.2% de N y 1% de P. Esto es probablemente pero no exactamente para toda la maleza, estos valores sugieren el modelo o patrones de requerimientos de nutrientes y valores disponibles en el desarrollo ambiental que uno podría esperar cerca de lo ideal. - Además guardando la ley de Liebig, de los mínimos, los nutrientes esenciales presentes en el mínimo suministro, relativo a las necesidades, limitan el crecimiento y éstos - determinan el tamaño de los cultivos de la maleza acuática. Esto significa que si solamente ofrece el ambiente 82 unidades de peso de C, 14.4 de nitrógeno pero solamente 1 de fósforo, el crecimiento puede ser limitado por una deficiencia de fósforo, porque existe solamente la mitad de el necesario. Agregando fósforo en abundancia en este punto, por vía de agua de desecho o de otra manera, destruiría su función reguladora del crecimiento. Este mecanismo es una clave importante en el problema de la eutroficación y en los proyectos para su control.

Un asunto relacionado con el resultado en la -- disminución gradual del valor N/P, en muchos cuerpos de agua es la carga que reciben de aguas de desechos u otros contaminantes altamente fósforados. Los cuerpos oligotróficos usualmente tienen una razón en peso N/P de 15 ó más

y son entonces fósforo limitados, pero con una eutroficación acelerada las razones disminuyen progresivamente.

Los cambios indeseables en la razón N/P normalmente resultan de la contaminación de las aguas negras y otras actividades humanas que incrementan la contaminación de nitrógeno y fósforo en diferentes proporciones.

Cuando la contaminación es originada principalmente por aguas negras, la razón en peso de N/P en éstas, es de 2 a 3, la adición de fósforo en proporción a la del nitrógeno es más grande. Como resultado de la adición de fósforo, se alcanza un exceso y ya no es limitativo, iniciándose una respuesta de nueva productividad. Esta actividad se inicia hasta agotamiento del nitrógeno, y algunos otros nutrientes o cambios ambientales, tales que impiden continuar la reproducción. En este proceso, las condiciones del lago cambian en dirección a la eutroficación. A mayor incremento de fósforo es más grande la probabilidad de cambio. Documentaciones históricas para muchos lagos, como el lago Washington en Seattle, Zürichsee en Suiza, lagos de Alemania y el lago Fure en Dinamarca, difieren del concepto anterior por condiciones ambientales. Las características de la contaminación de las aguas negras que eutrofican los cuerpos de agua por las concentraciones de fósforo, se incrementan por una adición constante de fósforo y condiciones ambientales propicias para el desarrollo.

Importante es el hecho de numerosos lagos que han sido estudiados, cuando la producción es baja, como en los oligotróficos, las concentraciones típicas de P son bajas (menos de 5 a 20 $\mu\text{g}/\text{l}$). En tales lagos el factor usual limitante en la producción es la falta de fósforo. Este factor fué ampliamente discutido y basado en los estudios a 40 lagos europeos por Thomas (15). El decía -- " es cierto, por otra parte, que los lagos oligotróficos, en los cuales el hombre ha tenido poca o ninguna influencia, todos tienen como factor limitante el fósforo".

Lund (8) también encontró que la adición de solo 10 μg de $\text{PO}_4\text{-P}$ por litro a el lago Buttermere (Inglaterra), indujo a un desarrollo masivo de diatomeas y una reducción de la sílica soluble contenida en el agua, demostrándose que el fósforo fué un factor limitante.

Vallentyne (18) concretizó la experiencia reportada en una laguna de fertilización de peces. Pronto--mente demostró que la adición de $\text{PO}_4^{=}$ unicamente o un fertilizante inorgánico que contenga fosfatos, estimulaba el crecimiento de la producción de algas que formaban la base de abastecimiento en la alimentación de los peces.

El estudio desde un punto de vista práctico - realizado por Valentyne, es que fertilizando con compues-

tos que contienen fosfatos se incrementa la producción de los peces en un 5 a un 500% más. Una buena utilización o significación de la eutroficación, es deseable en el caso de que sea empleado el producto de la misma, como lo estudió Vallentyne por razones económicas.

Nueve lagos de Oregon fueron seleccionados para dar muestras de agua y realizar en ellas ensayos de crecimiento de algas, en un rango deseable de calidad natural. En aguas de alta calidad de lagos oligotróficos y mesotróficos, la máxima producción de células de algas, fué directamente relacionado a la concentración de fósforo, pero no al carbón o nitrógeno, como se muestra en la fig. 3.

Adiciones de C, N, y P fueron también hechas a estas aguas particularmente y juntas, determinándose la respuesta de las algas. En aguas de lagos oligotróficos y mesotróficos, el fósforo adicionado constantemente, dió por resultado un significativo incremento de una máxima producción de células algales.

Numerosos ensayos realizados, han demostrado que las aguas de desecho municipal seguidas por un tratamiento secundario, estimulaban importantemente el crecimiento de las algas, cuando éstas (las primeras) eran adicionadas a

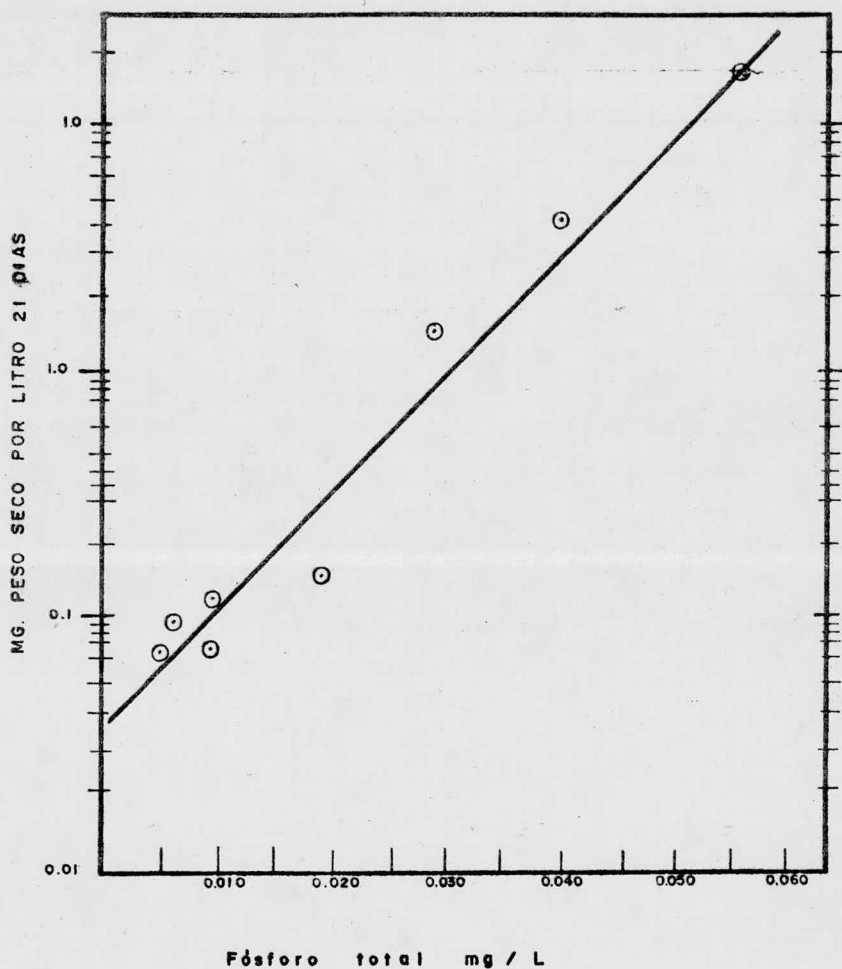


Fig. 3 - Producción de algas, peso seco por litro, en aguas del lago Oregon conteniendo fósforo.

las aguas naturales. Cuando el agua negra es tratada para re-
 mover el fósforo, la estimulación al crecimiento de las al--
 gas es nulo. Cuando el nivel original del fósforo es restau-
 rado por adición de éste a el efluente, tambien es restaurada
 su habilidad para estimular el crecimiento de las algas a su
 casi nivel original. Enfatizan este punto, los siguientes de-
 tos, demostrando los efectos del fósforo (K_2HPO_4) restauera-
 do, sobre el crecimiento de la maleza acuática a un agua que
 ha tenido un tratamiento terciario. Estos datos (tabla 5) -
 demuestran el crecimiento de la biomasa algal resultante des-
 pues de 14 días de incubación y las agregaciones de 0.02, --
 0.04 y 0.06 mg/l de P.

Tabla 5.- Estimulación a las algas en un efluente
que contiene fósforo restaurado.

| Concentración de P(mg/l) | pH | peso seco de cé- lulas algales mg/l | Unidades de fluorecencia relativa, mos- trando conc. de clorofila |
|------------------------------|-----|---|---|
| 0 | 7.6 | 0.078 | 38 |
| 0.02 | 7.6 | 7.250 | 5048 |
| 0.04 | 7.7 | 11.500 | 5000 |
| 0.06 | 7.7 | 18.300 | 5700 |

Los resultados de los ensayos de laboratorio de
 muestran que:

- a) .- Las aguas negras tienen gran capacidad para estimular
 el crecimiento de la maleza acuática.
- b).- La gran importancia del fósforo en la estimulación

c).- Que el nutriente más importante a remover por un tratamiento avanzado actualmente es el fósforo.

Pruebas biológicas, tales como ensayos en maleza acuática, fueron usados para determinar experimentalmente — cual de los dos factores (N y P), es normalmente limitante. El objeto fué facilitar la selección de una medida apropiada de resolución, el resultado concluyó lo siguiente:

a).- No hay razón para suponer que cualquier otra substancia que no sea N y P, deba ser considerada.

b).- En el verano, es cuando se tiene una máxima concentración de nitrógeno, y se logra con esto un control de la eutroficación por la reducción de éste, que no quiere decir — que se ha logrado un triunfo.

c).- Lo más importante para el control de la maleza acuática, en todo caso es la disminución de la agregación de compuestos fosforados a los cuerpos de agua, tan pronto como sea — posible.

En un estudio realizado en lagos y aguas vertidas en ellos, de Florida, el resultado demostró que aquí, también, los estados tróficos fueron dependientes generalmente del suministro de N y P, de éstos la carga de fósforo fué el factor más limitante. El significado de éste, está demostrado para el lago eutrófico Minnetonka en Minnesota, en donde las aguas negras fueron la principal fuente de suministro de fósforo. Una relación cercana se encontró entre las concentraciones de fósforo total y clorofila en la superficie de las aguas, en once puntos de observación durante el verano en las máximas zonas de densidad de algas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.- Concentración de clorofila a y fósforo en la superficie de las aguas de 11 localidades en el lago Minnetonka durante julio y agosto, 1968, 1969.

| Localidad | Concentración de clorofila $\mu\text{g/l}$ | Concentración de fósforo total $\mu\text{g/l}$ |
|--------------------|--|--|
| 1.- Lago Tenager | 91 | 200 |
| 2.- Bahía Halstead | 56 | 119 |
| 3.- Brazo West | 50 | 90 |
| 4.- Bahía Cooks | 40 | 68 |
| 5.- Isla Gale | 38 | 53 |
| 6.- Bahía Browns | 33 | 52 |
| 7.- Bahía Wayzata | 31 | 52 |
| 8.- Isla Crane | 25 | 43 |
| 9.- Bahía Cristal | 25 | 42 |
| 10.- Bahía Carman | 12 | 37 |
| 11.- Brazo North | 13 | 40 |

Es obvio que el fósforo juega un papel importante en todos los procesos de eutrofización. Los compuestos -- fosforados también juegan un papel importante en todas las -- fases del metabolismo constructor de unidades. Muchos de éstos son concernientes con las reacciones de transformación -- de energía, una de las más importantes es la fotosíntesis, en la cual la energía luminosa es usada para convertir el -- fosfato inorgánico a Adenosin-trifosfato (ATP), el ATP es -- un acarreador fosfatado rico en energía y sirve como fuerza directora para otros metabolismos.

El fosfato en el ambiente se encuentra generalmen -- te como ortofosfato, y es, en esta forma como la maleza acuá --

tica toma el fósforo del agua. Ha sido demostrado últimamente, que algunos tipos de maleza acuática, tienen las enzimas extracelulares necesarias para convertir compuestos complejos de fosfato a el ortofosfato para facilitar su absorción. Muchos de los fosfatos que absorbe la maleza acuática son en forma de polifosfatos el cual aparentemente se acumula y actúa como reserva de fosfato de alta energía. Esto es, porque la maleza acuática es capaz de absorber o captar una mayor cantidad de la necesaria para sus requerimientos metabólicos normales. La captación o absorción, depende no únicamente de las concentraciones de P existentes en el agua circundante, sino también de otros factores tales como: la luz, las concentraciones de ión hidrógeno y otros compuestos que están presentes. Estudios recientes han demostrado que la eficiencia y grado de absorción por la maleza acuática, está afectada favorablemente por las sales inorgánicas en las aguas naturales.

No se sabe si la "sobreabsorción" o "sobrecaptación" es una capacidad universal de toda la maleza acuática, o si es propiedad únicamente en un número limitado de especies.

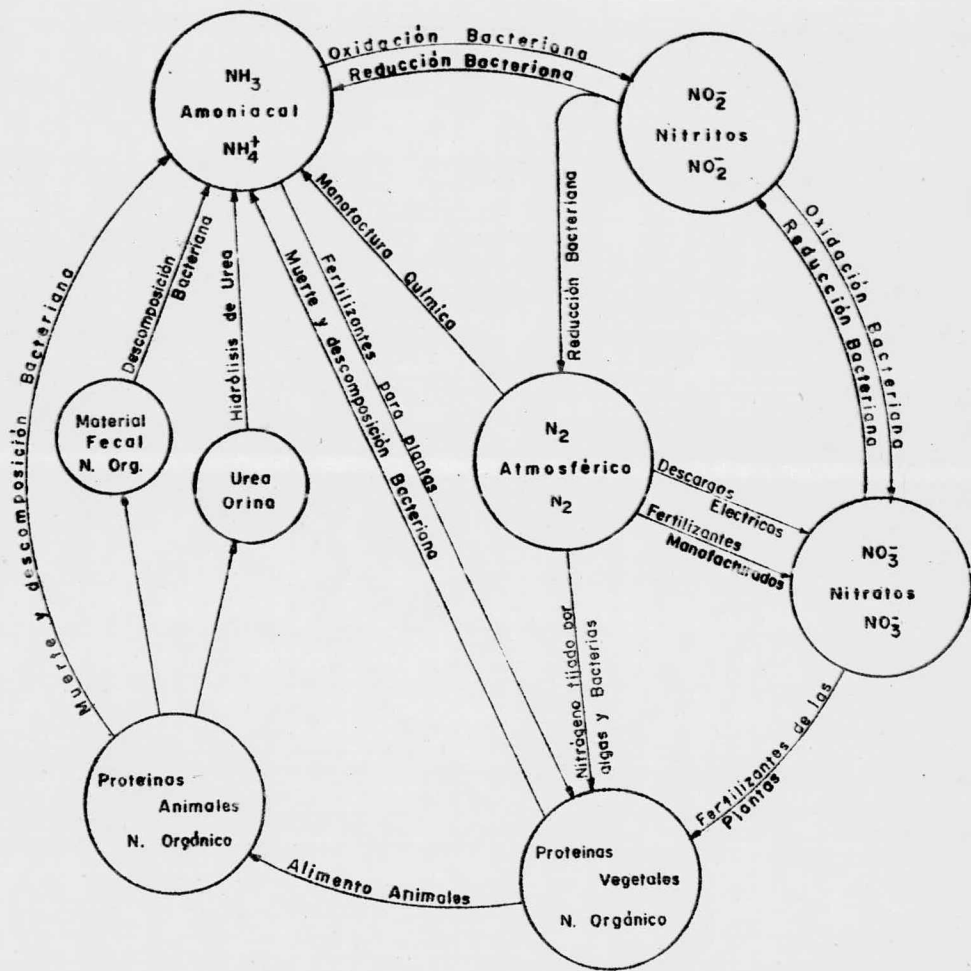
De cualquier forma, las observaciones de laboratorio han demostrado que como un resultado de tal sobrecaptación, a algunos tipos de maleza acuática esto les sirve para sobrevivir a través de varias generaciones de reproducción, sin recibir el fósforo necesario para su desarrollo. De tal forma que el almacén de fósforo es subdividido en el número incrementado de células hijas. Este es un fenómeno in--

terésante pero no tiene impacto duradero en el fenómeno de -
la eutroficación debido a :

a).- Una máxima producción de maleza acuática nos dice que -
las condiciones son críticas, por el exceso de fósforo pre--
sente en el agua y que es aprovechado por las células de la
maleza acuática para su desarrollo.

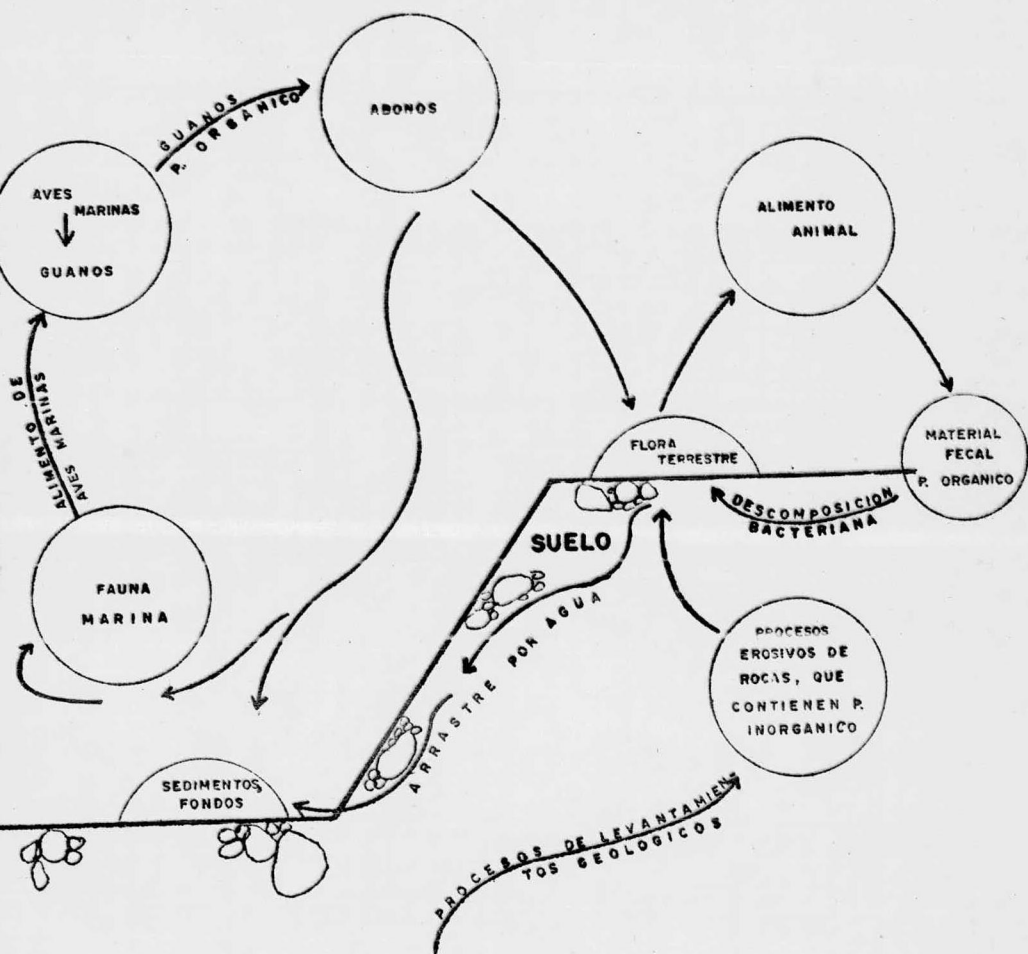
b).- Otra forma de obtener una "sobreabsorción" por las cé--
lulas de la maleza acuática para su desarrollo es que cuando
éstas mismas envejecen y mueren, en su descomposición se des-
prende fósforo, mas el fósforo que es proporcionado por los
fondos o bentos es aprovechado por las nuevas células que ne-
sesitan fósforo.

Muchas de las enzimas o coenzimas involucradas en
el metabolismo de la maleza acuática contienen fósforo, por
ejem: en la oxidación de la glucosa a dióxido de carbono y -
agua, se desprende una forma de fosfato rica en energía equi-
valente a 680,000 calorías liberadas por una mol de glucosa,
de este tanto 290,000 calorías pueden ser almacenadas en for-
ma de energía de uniones fosfato.



CICLO DEL NITROGENO

FIG. A



CICLO DEL FOSFORO

FIG. 13

FUENTES DE FOSFORO Y TECNICAS DE IDENTIFICACION

En este capítulo enfatizaremos principalmente los suministros que contienen fósforo, ya que como se sabe hasta ahora, éste juega un papel clave en el proceso de la eutroficación.

Todas las fuentes de fósforo y sus suministros - son importantes a pesar de su aparente magnitud, debido a - que el fósforo forma acumulaciones que quedan a disposición de la maleza acuática en los cuerpos de agua. Fuentes muy importantes tales como las aguas de desecho municipal y su adición de detergentes fosforados, debe ser motivo de atención.

Se puede considerar que hay dos tipos de fuentes suministradoras de nutrientes: las naturales y las que estan afectadas por las actividades del hombre.

Entre las fuentes naturales que colaboran a la eutroficación se encuentran:

a).- Los escurrimientos de áreas de terreno, desde las laderas de las montañas a las planicies, desde los bosques a los

pastizales y praderas.

b).- Erosión de suelos, ya sea por él mismo o por transmisión de aire.

c).- Excreciones de aves acuáticas, otros animales y caída de hojas.

d).- Lluvia, nieve y polvo.

e).- Polen, esporas e insectos.

Fuentes afectadas por las actividades del hombre:

Industria petrolera y gasolina.- Sus efectos no se restringen a los lugares de extracción de los aceites crudos, sino en todo lugar donde se distribuyen y elaboran los mismos. Las plantas petroquímicas en México hasta la actualidad llegan a 217, de las cuales 47 pertenecen a Pemex; 19 son manejadas por Guanos y Fertilizantes y 151 del sector privado.

En los Estados Unidos de Norte América se estima existen 100 millones de vehículos de motor (10). Cada vehículo consume 100 galones de gasolina por año, 25% de ellos usan gasolina conteniendo fósforo, este a su vez es lavado del aire por la lluvia, que al ir sumandose a las demás fuentes aumenta las concentraciones. Por otro lado las aguas navegables a nivel de nuestro continente se ven afectadas por las descargas de botes y barcos de sus desperdicios justo como estan, muchas veces estas descargas se hacen en aguas tendientes a la eutroficación.

Terrenos Urbanos.- Las aguas procedentes de los escurrimientos de áreas urbanas en tiempo de lluvia, se han visto como un contaminante potencial, ya que en ellos se acumulan los residuos del uso de vehículos, fertilizantes de --

jardines y cespedes, erosión de sedimentos, desechos y excrementos de animales, desperdicios por manejo descuidado.

Un estudio realizado en Ann Arbor, Michigan; en aguas excedentes de lluvia reportó 5.3 mg P/l, otra estimación a nivel nacional en Estados Unidos de Norte América, — dió datos reportando que las lluvias anuales llevan un contenido que puede variar de 11 a 170 millones de lb. de fósforo total.

En el golfo de México se presenta con relativa frecuencia la llamada "marea roja" como resultado de la aceleración de la eutroficación. Esta marea se produce a continuación de periodos de precipitaciones intensas, en las áreas proximas a las desembocaduras de los ríos mayores, y — éstas llevan en sus aguas grandes cantidades de substancias fertilizantes.

Industria.— Las industrias serán fuentes generadoras de fósforo, dependiendo de los procesos y materias primas que puedan arrojar fósforo en sus desperdicios. No se puede asegurar que éste está involucrado, sin hacer un estudio específico a cada una.

Datos de Estados Unidos de N.A. muestran que el fósforo combinado con cargas generadas por frutas y vegetales, tienen un valor aproximado de 10 millones de libras/año y estas cargas a su vez van a dar a las aguas de desecho municipal.

En nuestro país entre las industrias alimenticias que más conteminan las aguas, se encuentran los ingenios a-

sucareros, contamos con alrededor de 75, que arrojan a los ríos durante la zafra y después de ella, volúmenes muy grandes de desechos orgánicos e inorgánicos.

De las instalaciones que producen desechos que -- contribuyen en forma considerable a la carga de contaminantes que se arroja a los ríos, destaca sobre todo, las cuencas de las entidades que integran las zonas y regiones geoeconómicas más altamente integradas (de acuerdo con Angel bassols), son: la Centro-Occidente, la Centro-Sur y la del Golfo de México, estas zonas presentan un mayor grado de industrialización. Representan alrededor del 25% de la superficie del país. Como se dijo antes es necesario conocer la clase de industria, las cuencas en que se vierten sus desechos y las características fisico-químicas de éstas, así como la demanda de agua que requiere cada industria.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de fósforo en desechos de industrias Alemanas.

| Tipo de desperdicio | Fósforo mg/l |
|--|--------------|
| Fabricación de azúcar remolacha: a) y b) | |
| a) Agua de lavado | 2.6 - 13 |
| b) Agua de presión | 31 - 274 |
| Almidón de papa | 27 - 80.5 |
| Lecherías | 0.9 - 1.3 |
| Casas de malta | 13 |
| Cervecerías | 20.2 |
| Mataderos | 8.2 |
| Lavado de lino | 26 .1 |

Terrenos Agrícolas.— Las actividades de tipo agropecuario afectan negativamente el agua retenida a través de grandes esfuerzos para fines diversos.

En nuestro país, 9.3 millones de hectáreas por lo regular de pendiente pronunciada, son trabajadas en agricultura de temporal, sin técnica ni métodos aconsejables y no en pocas veces desforestando las áreas montañosas, originando la erosión activa que degrada los suelos, traduciendo esta situación en bosques y suelos destruidos, presas azolvadas y desperdicio de posibilidades pesqueras. En años recientes, se han iniciado trabajos tendientes a detener los efectos de la erosión, que arruina vastas extensiones de suelos que al ser arrastrados en suspensión por las aguas, plantean serios problemas en la operación y periodo de vida de las plantas hidroeléctricas y sistemas de riego. En cambio en las grandes áreas de riego se emplean fertilizantes, plaguicidas y pesticidas, que pasan también al arrastre de las aguas y de ahí a las corrientes de los ríos. De aquí podemos señalar que el impacto de la agricultura en la eutroficación depende según examen de Vollenweider (19) de: el tipo de suelo, características del deslave, declives, prácticas de fertilización, población animal, composición del estiércol, prácticas alimenticias y drenaje de silos; se puede decir que los terrenos agrícolas producen más nitrógeno y fósforo que los escurrimientos de terrenos sin descomponer.

El significado del drenaje agrícola, depende de cuantos nutrientes alcanza finalmente la sensibilidad del agua a través de su trayectoria hidrológica.

En Estados Unidos de N.A. se ha estimado que los animales bajo alimentación encerrada, producen contaminación por desperdicios igual al drenaje de 850 millones de gente(II). En adición a los escurrimientos existen en diferentes partes del mundo problemas como el del río Mississippi, que drena a lo largo de su cauce cerca de 450 T_M de sedimentos al golfo anualmente. La construcción de carreteras, complejos urbanos, caminos forestales o sobre pastizales, incrementan grandemente el suministro de nutrientes por erosión.

Aguas de desecho municipal.- La aportación de las aguas negras, que juegan un papel muy importante en la destrucción de la calidad del agua, procedente de las concentraciones urbanas y en general de poblaciones con cierta importancia, han estimulado la aparición y el incremento de la aceleración de la eutroficación en muchos lagos de Estados Unidos, Europa y otros lugares del mundo. Ejemplos notables de tal situación son los lagos Madison, Wisconsin y el lago Zürichsee en Suiza, el estuario del Potomac y el lago Washington en Seattle, el lago de Chapala y la presa Endo en México. En estos cuerpos de agua la principal fuente de nutrientes - fué y en algunos casos todavía es, el agua de desecho municipal.

Los nutrientes derivados de las aguas negras, incluyendo el fósforo, son acarreados a lo largo del trayecto con las aguas negras cuando son descargadas al medio ambiente, esto es a pesar del tratamiento que se les da en el sistema de alcantarillado, cuando lo hay. La carencia de sistemas de drenaje adecuado en poblados pequeños, origina problemas como el fecalismo, al que se debe en muchos casos, la

contaminación bacteriana de alimentos agrícolas y pesqueros.

Una estimación hecha en Estados Unidos (10) en 1968, dió la siguiente información: la población de drenaje de 137 millones de gente, descargaban 376 millones de libras de fósforo a las aguas receptoras. De este fósforo corresponden 2.74 libras de P/cabeza/año y es potencialmente controlable, a su vez 1.2 lb vienen de las excreciones humanas y 1.54 lb de P, de otras fuentes.

Table 7.- Cantidades estimadas de fósforo descargadas en los receptores de agua de Estados Unidos de N. A. en 1968, de la población de aguas de desecho.

| Fuente de fósforo | Cantidad de P (millones de lb) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Excreciones humanas: | |
| bebidas suaves | 2.5 |
| cerveza | 2.5 |
| otros | 124 |
| Detergentes | 222 |
| Otras fuentes | 25 |
| Total | 376 |

Basado en 104% de los 213 millones de lb reportadas para 1967.

Dentro de las fuentes metabólicas de fósforo se encuentran las bebidas de cola y cerveza.

Estimaciones hechas en Estados Unidos de N. A. -- muestran que el 65% del consumo de refresco es de cola y los

refrescos de cola tienen un contenido de fósforo promedio de 161 mg P/l, los otros tipos de refresco, su contenido es relativamente pequeño. De esta base 3.2 millones de lb de fósforo contenidos en las bebidas de cola son consumidos por — 137 millones de contribuyentes al drenaje. Tomando en cuenta, que el 22% de P es removido por los tratamientos en los sistemas de alcantarillado, produce 2.5 millones de lb de fósforo que alcanzan los sistemas de agua llevada al medio ambiente en Estados Unidos de N.A. en 1968.

En nuestro país el consumo de refresco de cola es de aproximadamente el 80.8% del consumo total de refresco y tenemos un consumo de 12'364,800 litros anuales, con una estimación de nuestra población en el último censo que fué en 1973 de 54'303,000 habitantes.

El consumo de cerveza aporta contribuciones similares de fósforo. El contenido de fósforo promedio en la cerveza es 156 mg/l, se estima que 2.5 millones de lb de el fósforo en cerveza alcanzaron los sistemas de drenaje de agua — en los Estados Unidos en 1968 (17).

En nuestro país, existen 17 fábricas de cerveza — en 11 de las 22 entidades federativas, las cuales en 1973 — vendieron 17'019,823 hectolitros. El análisis de la cerveza fabricada en México, según la marca de que se trate, reporte de 26-35 mg P/ 100g de cerveza.

La siguiente tabla , nos muestra el consumo anual promedio de cerveza en litros por habitante, de los diferentes países.

| País | Consumo anual de cerveza (litros / habitante) |
|----------------|--|
| Checoslovaquia | 155 |
| Alemania | 148 |
| Bélgica | 142 |
| Austria | 107 |
| Gran Bretaña | 104 |
| Canadá | 83 |
| Dinamarca | 75 |
| Estados Unidos | 75 |
| Holanda | 74 |
| Suecia | 50 |
| Francia | 39 |
| Venezuela | 37 |
| Colombia | 35 |
| México | 32 |

Otra fuente de contribución de fósforo al drenaje y muy importante, que día a día ha venido en aumento, es la contaminación por el uso de los detergentes, ya que fábricas y habitantes hacen utilización muy grande de dichos productos para fines de limpieza y se ha convertido en uno de los problemas actuales, debido a que parte del contenido de fósforo que lleva, produce efectos letales por las sustancias tenso-activas, sobre la vida animal y vegetal. Se sabe que los detergentes son capaces de inhibir la acción de las enzimas celulares y desnaturalizar las proteínas.

El contenido de fósforo del drenaje doméstico está cerca de 3 a 4 veces el nivel encontrado antes del advenimiento de los detergentes sintéticos cerca de 1975. Una estimación hecha en Estados Unidos en 1950, de la contribución -

del fósforo por la industria de los detergentes esta cerca de 1.6 lb/cabeza/año. En 1955 la estimación es de 1.9 lb /cabeza/año, en 1958 alcanza 2.1 lb. Esto nos demuestra el incremento de la popularidad de el uso de detergentes.

Tabla 8.- Historia de los detergentes

| Año | Producción de detergentes sintéticos, millones de lb | Producción de P para detergentes millones de lb. |
|------|--|--|
| 1945 | 83 | |
| 1950 | 1030 | 130 |
| 1955 | 2230 | |
| 1960 | 3330 | 380 |
| 1965 | 4160 | 500 |
| 1968 | 4730 | 630 |

El uso del fósforo en los detergentes solamente es superado por la producción de fertilizantes.

Los detergentes del mercado, contienen los constituyentes mostrados en la siguiente tabla 9. El principal ingrediente es el tripolifosfato de sodio

Tabla 9 .- Fórmulas de detergentes sintéticos:

| Producto en bruto E.U.-Canadá | Producto li- gero en polvo todos los paí- ses | Producto li- gero líquido todos los paí- ses | Pastilla detergen- te para lavado | |
|---|--|---|--|-------------|
| Ingrediente ac- tivo (ejem. al- quil-bencen sul- fonato de alco- hol graso) | 14-20% | 25-32% | 30-37% | 20-25% |
| Espumante (ejem. cocomono etanolamida de alcohol láurico) | 1.5-2% | | 5-12% | |
| Tripolifosfato de sodio | 40-60% | 2-15% | | 15-25% |
| Antiredepositan- te de sedimentos (ejem. carboxi- metil celulosa de sodio) | 0.5-0.9% | | | 0.3-0.5% |
| Agente anticorro- sivo (ejem. sili- cato de sodio) | 5-7% | 0.02-0.08% | | 3-8% |
| Abrillantadores ópticos | 0.30-0.75% | | | 0.05-0.025% |
| Enzimas | 0.20-0.75% | | | |
| Humedad | 6-12% | 1-4% | | 3-8% |
| Etanol o Xilen- sulfonato de sodio | | | 6.9% | |
| Bicarbonato de so- dio | | | | 15-20% |
| Carbonato de sodio | | | | 15-30% |
| Agente de relleno (ejem. sulfato de sodio) | 0.32% | 60-68% | | |

Datos según Silvis (13)

Los niveles de tripolifosfato de sodio que se encontraron en análisis hechos por la Administración Federal de la Calidad del Agua en Estados Unidos de Norte América en detergentes de uso doméstico y que se consumen en nuestro país, son los siguientes:

Tabla 10.- Concentración de fósforo en detergentes comerciales en % de fósforo; 1%= 10,000 mg/ kg

| | % de P |
|-------------------------|--------|
| Axion | 15.9 |
| Tide | 12.6 |
| Viva Fuerza Fría | 11.5 |
| Ajax (para lavandería) | 11.3 |
| Fab | 8.8 |
| Bell (líquido) | 3.6 |
| Lux (líquido) | 0.5 |
| Cascada | 13.8 |
| Ajax (limpiador) | 7.2 |
| Pinesol | 0.25 |

Los detergentes son obviamente una fuente substancial de fósforo y puede ser un importante contribuyente de la eutroficación.

Cuando el fósforo está presente en cantidades grandes, la maleza acuática crece y se incrementa hasta que otro nutriente venga a limitar su crecimiento. El nitrógeno es usualmente el segundo más importante nutriente limitante del crecimiento que es llevado de áreas agrícolas, las cuales son frecuentemente altas en nitrógeno de nitratos que podrá más tarde limitar los efectos eutroficadores de los detergentes fosforados

TECNICAS DE IDENTIFICACION

DETERMINACION DE FOSFORO TOTAL EN AGUA

1.- Objetivo

Se establecen dos métodos espectrofotométricos para la detrmnación de fósforo (en forma de ortofosfatos) presente en el agua.

2.- Campo de Aplicación

Estos métodos son aplicables en aguas de origen natural, industrial, agropecuario y municipal (Ver 6.1 y 6.2).

3.- Fundamento

Los métodos se basan en transformar los compuestos fosforados a ortofosfatos, los cuales se hacen reaccionar con molibdato de amonio para formar el ácido molibdofosfórico y

a) por medio del cloruro estannoso se reduce para producir el complejo colorido conocido como azul de molibdeno. La intensidad de la coloración se determina por espectrofotometría;

b) en presencia de vanadio da lugar al complejo de fosfovanadomolibdato, produciendo una coloración amarilla cuya intensidad se determina por espectrofotometría.

4. METODO DEL AZUL DE MOLIBDENO

4.1. Reactivos

Las substancias que a continuación se mencionan deben ser grado analítico, a menos que se especifique otra cosa. Cuando se mencione el uso de agua, debe entenderse agua destilada o desmineralizada.

4.1.1 Solución ácida

A 600 ml de agua, se agrega lentamente 300 ml - de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 95-98%). Se enfría, se añaden 4.0 ml de ácido nítrico (HNO_3 , 69-71%) y se diluye a un litro.

4. 1. 2 Solución de molibdato de amonio I

a) En 175 ml de agua, se disuelven 25.0 g de molibdato de amonio tetrahidratado ($(NH_4)_6 Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)

b) Con precaución se añaden 280 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 95-98%) a 400 ml de agua.

4.1.3. Solución de cloruro estenoso I

En 100 ml de glicerol ($CH_2OHCH_2OHCH_2OH$) se disuelven 2.5 g de cloruro estenoso deshidratado ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$). (Ver. 6.3)

Nota: Para facilitar la disolución, se recomienda calentar la mezcla en baño maría y emplear agitación.

4.1.4 Solución de ácido sulfúrico (1+2), 47.5-48%

4.1.5 Solución de hidróxido de sodio 6N

4.1.6 Cloruro mercuríco

4.1.7 Solución patrón de fosfatos

Se pesan 219.5 mg de fosfato de potasio monobásico anhidro (KH_2PO_4), previamente secado en estufa a 105 C, durante dos horas; se disuelven en agua, se transfiere la solución a un matraz aforado de 1000 ml y se lleva hasta la marca con agua. De esta solución se toman 100 ml, se transfieren a un matraz aforado de 1000 ml y se lleva con agua hasta la marca. Esta solución contiene 5.0 ug de P/ml.

4.1.8. Solución indicadora de fenolftaleína

4.1.9. Solución alcohólica de ácido sulfúrico

se añaden cuidadosamente a 280 ml de metanol (CH_3-OH) - 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado.

4.1.10 Solución de molibdato de amonio II

Se disuelven 40.1g de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. 4 H₂O en aproximadamente 500 ml de agua. Lentamente se añaden 396 ml de la solución de molibdato de amonio I, se enfría y se diluye a un litro.

4.1.11 Solución de cloruro estanoso II

Se mezclan 8 ml de la solución de cloruro estanoso I con 50 ml de glicerol. Este reactivo es estable durante seis meses.

4.1.12. Solución de benceno- alcohol isopropilico. A 500 ml de benceno se agregan 500 ml de alcohol isopropilico.

4.2 Aparatos

4.2.1. Aparatos de uso común de laboratorio

4.2.2 Espectrofotometro ó colorimetro y sus accesorios

4.3. Muestreo

4.3.1. Las porciones para análisis se toman de la muestra de análisis obtenida de acuerdo a la norma de muestreo DGN-AA-3-1975 ó bien de la DGN-AA-14-1975

4.4. Procedimiento

4.4.1 Porción de análisis

Se mide una alícuota igual o menor a 100 ml, la cual --- contenga 200 ug de P como máximo.

4.4.2. Prueba testigo

Se corre al mismo tiempo y usando el mismo procedimiento, una prueba testigo con la misma cantidad de todos los reactivos usados para la determinación.

4.4.3 Determinación

4.4.3.1. La porción de análisis seleccionada se transfiere a un vaso de precipitados de 200 ml forma alta y se le a--

grega 1 ml de ácido sulfúrico (4.1.4).

4.4.3.2. Se calienta hasta ebullición durante 60 minutos, adicionando agua con objeto de mantener el volúmen entre 50 y 100 ml (Ver inciso 6.7).

4.4.3.3. Se enfría y se neutraliza con hidróxido de sodio 6N (4.1.5), en presencia de fenolftaleína como indicador (4.1.8).

4.4.3.4 Se restablece el volúmen original y se adicionan 4.0 ml de solución de molibdato de amonio (4.1.2), y se agita para homogeneizar.

4.4.3.5. Se añaden 10 gotas de la solución de cloruro estanoso (4.1.3) se homogeneiza y se deja reposar.

4.4.3.6. Después de 10 minutos y antes de 12, se mide la absorbancia de la muestra contra el testigo con el que se ajusta el aparato al valor cero de la absorbancia (100% de transmitancia); empleando una longitud de onda de 690 nm.

4.4.4. Curva de calibración

4.4.4.1 De la solución patrón de 5.0 ug de P/ ml (4.1.7), se toman alícuotas según se indica en la siguiente tabla y se continúa como se indica en 4.4.3. Se elabora una gráfica colocando en el eje de las ordenadas los ug de fósforo y en el de las abscisas las lecturas de absorbancia registradas por el aparato.

Table 1.- Alícuotas de solución, para construir la curva de calibración.

| ml solución patrón | ug P |
|--------------------|------|
| 5 | 25 |
| 10 | 50 |

| | |
|----|-----|
| 15 | 75 |
| 20 | 100 |
| 25 | 125 |
| 30 | 150 |
| 35 | 175 |
| 40 | 200 |

4.4.4.2. Interferencias

En caso de tener sospechas de interferencias como el de color se debe hacer una extracción con la cual se eliminan los interferentes.

Se toma una muestra de 40 ml o una alícuota aforada a 40 ml con agua en un embudo de separación forma de pera de 500 ml, se le agrega 50 ml de solución benceno-alcohol isopropílico y 15 ml de la solución de molibdato de amonio II, se agita durante 15 segundos el embudo para hacer la extracción. Se deja reposar por 10 minutos para dar tiempo a la perfecta separación de las capas acuosa y orgánica.

Se drena la capa acuosa y se toman 25 ml de la capa orgánica, los cuales se vierten en un matraz aforado de 50ml se agregan aproximadamente 15 ml de solución alcohólica-ácida y diez gotas de la solución de cloruro estanoico II y se sifona el matraz con solución alcohólica ácida hasta la marca .

Se deja desarrollar el color azul y se mide en un espectrofotómetro la absorbancia después de 15 minutos pero antes de 30 a una longitud de onda de 625nm.

se lee en una curva de calibración hecha de la misma forma que en 4.4.4.1. y a 625nm de longitud de onda.

4.5. Expresión de resultados.

4.5.1. Método de cálculo y fórmula

El contenido de fósforo presente en la muestra analizada se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{mg P/l} = \frac{C}{V}$$

en donde:

C= cantidad de fósforo leída en la gráfica, en ug

V= volúmen de la alícuota tomada para la determinación, en ml.

4.5.2. Repetibilidad

La diferencia entre resultados obtenidos para diferentes porciones de análisis no debe exceder de 1.0 mg/l, en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

5.- METODO DEL FOSFOVANADOMOLIBDATO

5.1. Reactivos

Las sustancias que a continuación se mencionan deben ser de grado analítico, a menos que se especifique otra cosa. Cuando se mencione el uso de agua, debe entenderse agua -- destilada o desmineralizada.

5.1.1. Cloroformo (CHCl_3)

5.1.2. Acido clorhídrico concentrado (HCl). 36.5 - 38%

5.1.3. Acido sulfúrico (H_2SO_4) (1+2); 47.5-48% en masa

5.1.4. Solución vanadato

a) Se disuelven 25g de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) en 400 ml de agua.

b) Se disuelven calentando a ebullición 1.25 g de metavanadato de amonio (NH_4VO_3), en 300 ml de agua. Se deja enfriar y se adicionan 300 ml de agua. Se deja enfriar y se adicionan 330 ml de ácido clorhídrico. (5.1.2.).

c) Se enfría la solución b, se vierte lentamente y con agitación la solución a en la solución b, y se afora la mezcla a un litro.

5.1.5. Solución patrón de fosfatos.- Se pesan 219.5 mg de fosfato de potasio monobásico anhídrido (KH_2PO_4), previamente secado en estufa a 105 C durante dos horas; se disuelven en agua, se transfiere la solución a un matraz aforado de 1000 ml y se lleva hasta la marca con agua. Esta solución contiene 50ug de P/ ml.

5.2. APARATOS

5.2.1. Aparatos de uso común en laboratorio y:

5.2.2. Espectrofotómetro o colorímetro y sus accesorios.

5.3. MUESTREO

5.3.1. Las porciones para análisis se toman de la muestra de análisis obtenida de acuerdo a la norma de muestreo - DGN-AA-3-1975 ó bien a la DGN-AA-14-1975.

5.3.2. Si el análisis no se efectúa inmediatamente, la muestra podrá conservarse durante 3 meses añadiendo 5 ml de cloroformo por litro.

5.4. PROCEDIMIENTO

5.4.1. Porción de Análisis

Se mide una alícuota igual o menor a 35 ml, la cual contendrá de 50 a 1000 ug de P.

5.4.2. Prueba testigo

Se corre al mismo tiempo y usando el mismo procedimiento, una prueba testigo con la misma cantidad de todos los reactivos usados para la determinación.

5.4.3. Determinación

5.4.3.1. La porción de análisis seleccionada, se transfiere a un vaso de precipitados de 200 ml forma alta y se le

agrega 1 ml de ácido sulfúrico (5.1.3.).

5.4.3.2. Se calienta hasta ebullición durante 60 minutos, adicionando agua con objeto de mantener el volúmen entre 25 y 35 ml (ver 6.7.).

5.4.3.3. Se restablece el volúmen original y se transfiere a un metraz aforado de 50 ml; se añaden 10 ml de reactivo de vanadato-molibdato, (5.1.4.) se lleva con agua hasta la marca y se agita para homogeneizar.

5.4.3.4. Se deja reposar la mezcla durante 10 minutos -- después de los cuales se mide la absorbancia de la muestra contra un testigo con el que se ajusta el aparato a 100% de transmitancia, a una longitud de onda de 400-490 nm -- dependiendo de la sensibilidad deseada (ver 6.8.).

5.4.4. Curva de Calibración

De la solución patrón de 50 ug de P/ml (5.1.5.), se miden alícuotas según se indica en la siguiente tabla y se continúa como se indica en (5.4.3.). Se elabora una gráfica colocando en el eje de las ordenadas los ug de P y en el de las abscisas las lecturas de absorbancia registradas en el aparato.

Tabla II .- Alícuotas de solución patrón, para construir la curva de calibración.

| ml solución patrón | ug de P |
|--------------------|---------|
| 5 | 250 |
| 10 | 500 |
| 15 | 750 |
| 20 | 1000 |
| 25 | 1250 |
| 30 | 1500 |
| 35 | 1750 |

5.5. EXPRESION DE RESULTADOS

5.5.1. Método de cálculo y fórmula

El contenido de fósforo presente en la muestra analizada se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg / l de P} = \frac{C}{V}$$

En donde:

C = ug de P leídos en la gráfica

V = Volúmen de alícuota tomado para la determinación, en ml.

5.5.2. Repetibilidad

La diferencia entre resultados obtenidos para diferentes porciones de análisis no debe exceder de 8 mg por litro, en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

6. NOTAS AL PROCEDIMIENTO

6.1. Cuando la concentración de fósforo es mayor de 3.0 - mg/l y/o el contenido de interferentes es alto, se recomienda usar el método del complejo amarillo de fosfovandomolibdato; en caso contrario se recomienda emplear el de azul de molibdeno.

6.2. Interferencias.- Interferencias positivas son causadas por sílice y arsénico si la muestra es calentada. Interferencias negativas son provocadas por arsenitos, fluoruros, torio, bismuto, sulfuros, tiosulfatos, tiocianatos o exceso de molibdato. El ion ferroso provoca un color azul, pero éste no afecta los resultados si la concentración del ion ferroso es menor de 100 mg/l. La interferencia de sulfuros puede ser eliminada por oxidación con agua de bromo.

Los iones que no interfieren en concentraciones mayores a

1000 mg/l son: aluminio, fierro trivalente, magnesio, calcio, bario, estroncio, litio, sodio, potasio, amonio, cadmio, plomo, mercurio mono y divalente, estaño divalente, - cobre mono y divalente, níquel, plata, uranio, zirconio, arseniatos, bromuros, carbonatos, cloratos, cianuros, iodatos, silicatos, nitratos, nitritos, sulfatos y sulfitos -- así como pirofosfato, molibdato, tetraborato, selenato, benzoato, citrato, axalato, lactato, tartrato, formato y salicilato.

Si se usa ácido nítrico en el testigo, los cloruros interfieren desde 75 mg/l.

6.3. El reactivo que se emplee para esta solución, debe de preferencia ser nuevo o bien, asegurarse de que no ha sufrido descomposición alguna.

6.4. En caso de que para efectuar la neutralización, se requieran más de cinco gotas de solución ácida, se debe tomar una porción de análisis menor, neutralizarse y posteriormente diluirse a 100 ml.

6.5. El tiempo de desarrollo de color que se emplee así como la temperatura deben ser los mismos, tanto para la elaboración de la curva de calibración como para las porciones de análisis.

6.6. La profundidad óptica efectiva recomendable, depende de los límites de concentración en que se trabaje. A continuación se dan algunos valores.

| límites aproximados de fósforo, ug/l | profundidad óptica efectiva recomendada en cm |
|---|---|
| 0.3---- 2 | 0.5 |
| 0.1---- 1 | 2.0 |
| 0.0007- 0.2 | 10.0 |

6.7. Deben tomarse las precauciones necesarias para evitar proyecciones.

6.8. La longitud de onda a la cual se mide la intensidad del color depende de la sensibilidad deseada. Se emplea — generalmente una longitud de onda de 470nm. A continuación se presenta una tabla en la que se relaciona la concentración de la muestra, con la longitud de onda a usar.

| límites (mg de P/l) | longitud de onda(nm) |
|---------------------|----------------------|
| 0.75 - 5.5 | 400 |
| 2.0 - 15 | 440 |
| 4 - 17 | 470 |
| 7 - 20 | 490 |

7. APENDICE

7.1. Bibliografía

- APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 13 th Edition, 1971.
- 1972 Annual Book of ASTM Standards part 23, Water, Atmospheric Analysis.
- N. Howell Furmen. Standards Methods of Chemical Analysis. D. Van Nostrand Company, Inc.
- EPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes - (1971).
- Sheppard T. Powell. Water Conditioning for Industry. - Mc. Graw Hill Book Company, Inc.
- Publicación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.- Análisis de Aguas y Aguas de Desecho.
- G. Charlot. Colorimetric Determination of Elements. -- Elsevier Publishing Company.
- 1972 Annual Book of ASTM Standards Part 23, Water, Atmospheric Analysis.

CONTROL DE LA EUTROFICACION Y SU JUSTIFICACION
SOCIO-ECONOMICA

En el control de la eutroficación y su justificación socio-económica, tomaremos el siguiente anteproyecto, el cual es un ejemplo prototipo del problema con un enfoque de la realidad de nuestro país y sus posibilidades para tal control.

Uno de los principales problemas, a que se enfrentan las presas que van a operar hidroeléctricamente, es la invasión de la maleza acuática, que afecta considerablemente, el funcionamiento normal de éstas. Estas plantas hidrófilas conocidas genéticamente como "malezas acuáticas" tienen una reproducción explosiva, que al dejarse en plena libertad, su costo de control se iría incrementando.

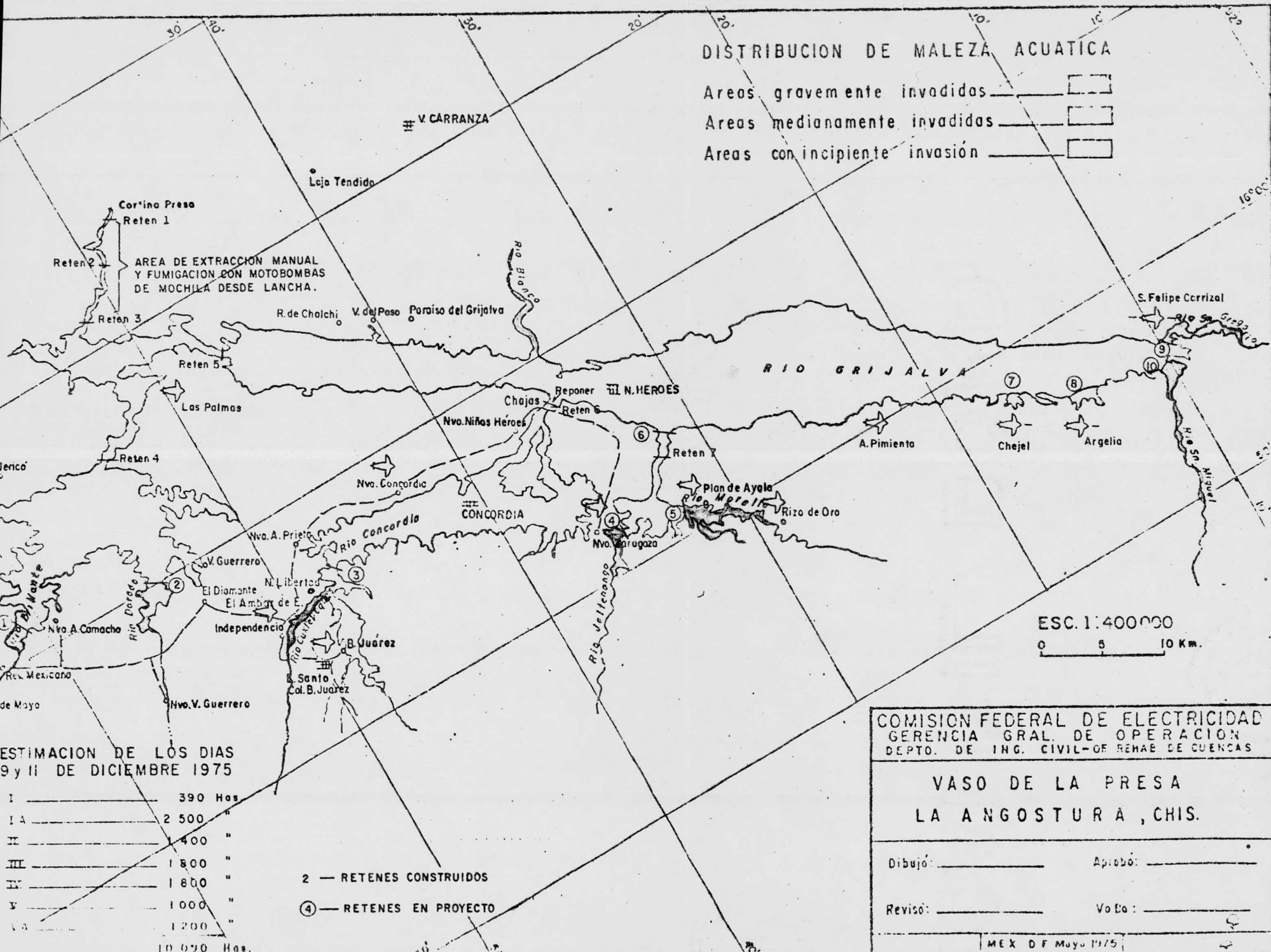
Daños que ocasiona.- Los daños que ocasionan las malezas acuáticas son diversos, entre los principales que podemos mencionar son: inhibir el desarrollo de los peces, dificultar la navegación, obstruir las rejillas de protección de las turbinas de fuerza y eventualmente infiltrarse en e-

llas, aumenta el azolvamiento de los vasos por sedimentación de la materia orgánica, siendo un factor preponderante, alterando el libre flujo del agua, consecuentemente el gasto cal culado para la misma, también es insospechada la cantidad de agua en m³ que se evapora anualmente debido a el fenómeno -- llamado " evapotranspiración", este último uno de los más im portantes.

Ante tal problemática la Comisión Federal de Elec tricidad, ha preparado el siguiente anteproyecto de estudio, que está orientado principalmente a la identificación, origen y solución del problema.

DISTRIBUCION DE MALEZA ACUATICA

- Areas gravemente invadidas
- Areas medianamente invadidas
- Areas con incipiente invasion



ESTIMACION DE LOS DIAS
9 y 11 DE DICIEMBRE 1975

| | | |
|--------|-------|------|
| I | 390 | Hos |
| IA | 2 500 | " |
| II | 400 | " |
| III | 1 800 | " |
| IV | 1 800 | " |
| V | 1 000 | " |
| VI | 1 200 | " |
| 10 090 | | Hos. |

- 2 — RETENES CONSTRUIDOS
- ④ — RETENES EN PROYECTO

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
GERENCIA GRAL. DE OPERACION
DEPTO. DE ING. CIVIL-OF. REHAB. DE CUENCAS

**VASO DE LA PRESA
LA ANGOSTURA, CHIS.**

Dibujó: _____ Aprobó: _____

Revisó: _____ Vo Bo: _____

MEX D F Mayo 1975

I.- Características del problema en los vasos de la Angostura y Malpaso.

I A.- El lago artificial de La Angostura recibe la aportación de los siguientes afluentes:

- I.A.1:** Río El Brillante
- I.A.2:** Río El Dorado
- I.A.3:** Río Concordia o Cuxtepeques
- I.A.4:** Río Jaltenango, Aguacate o Salinas
- I.A.5:** Río Morelia
- I.A.6:** Río Blanco
- I.A.7:** Río San Miguel
- I.A.8:** Río San Gregorio

De acuerdo a las observaciones efectuadas, la mayor concentración de estos vegetales se localiza hacia la parte sur del cuerpo receptor, siendo posiblemente los principales motivos de esta situación, los siguientes:

A.- La existencia natural de estos organismos en ríos y lagunas de la región, donde no se había manifestado como problema, debido probablemente a un control natural efectivo.

B.- A fuertes concentraciones de nutrientes presentes en las aguas, donde cantidades mayores de 0.3 mg/l de nitrógeno orgánico y 0.1 mg/l de fósforo inorgánico favorecen el crecimiento explosivo de plantas acuáticas, principalmente el de las algas.

C.- Debido a los vientos dominantes que favorecen el desplazamiento y concentración de estas masas vegetales.

D.- La mayor abundancia de vegetación litoral, - lo que constituye algo así como un "sustrato", donde se observan las mayores concentraciones de estas plantas.

Hasta el momento se ha logrado la identificación de las siguientes plantas:

| Nombre científico | Nombre vulgar |
|----------------------|--|
| Salvinia auriculata | Helecho de agua |
| Pistia Stratiotes | Lachuga de agua |
| Eichhornia crassipes | Lirio acuático |
| Lemna gibba | Lentejilla ó tambien conocida en México como Chichicatzele |

Con la información recopilada hasta el mes de febrero del año de 1975, se estima que el área general invadida alcanzaba las 800 has., siendo las corrientes de los ríos Jaltenango y Morelia las más dañadas.

En este caso en particular, se ha establecido una asociación vegetal característica formada por Salvinia y Pistia, con predominio de la primera, calculandose que representan el 75% y el 25% de la plaga respectivamente; siendo la primera ocasión que en la República Mexicana se establece una asociación de este tipo. En lo referente a las otras especies (lirio y lentejilla) se han manifestado aunque de manera aislada, sin embargo la situación del problema pudiera mantenerse o bien sufrir cambios de importancia.

En lo tocante a la presa de Malpaso (Netzahuacoyotl) existen reportes de que en años anteriores se detectó la presencia de malezas acuáticas; aunque en la actuali-

dad se conserva aparentemente limpio de estos vegetales, sin embargo, en el futuro pudiera verse seriamente afectado.

Debido a esto, La Comisión Federal de Electricidad visualiza los problemas actuales y futuros que pueden presentarse en los vasos:

| | | |
|-----------|---------------|--------------|
| Angostura | Río Grijalva- | Operación |
| Malpaso | Río Grijalva- | Operación |
| Chicoasén | Río Grijalva- | Construcción |
| Peñitas | Río Grijalva | Proyecto |
| Itzantun | Tlacotalpa | Proyecto |

Así como los que se encuentran en estudio en la cuenca del Usumacinta.

Los fosfatos, compuestos que contienen el elemento natural fósforo, han sido usados en la fabricación de fertilizantes agrícolas, detergentes y una amplia variedad de productos industriales. Este elemento, es esencial en todas las formas de vida animal y vegetal, presentandose tambien en el medio ambiente.

El uso de fósforo, en todas sus formas, es considerablemente grande; tan solo en los Estados Unidos, la producción de fosfatos para uso industrial y agrícola sobrepasa los 9.5 billones de Kg anualmente, destinandose más de ---- 906,000 millones de Kg a la producción de detergentes.

A pesar del uso de los fosfates, durante mucho tiempo no se tienen evidencias de que sean tóxicos a la vida humana. Sin embargo, cuando las aguas negras de las ciudades

y los fertilizantes de los campos agrícolas confluyen en las aguas naturales, constituyen junto con el carbono, nitrógeno, fierro y potasio principalmente, los nutrientes esenciales de la flora acuática. Dichos elementos, contribuyen en el -- proceso de maduración conocido como eutroficación, que se in-- terpreta como: el enriquecimiento de las aguas por aquellos elementos, ocasionando una sobrepoblación de las plantas a-- cuáticas, esencialmente algas.

En los últimos años, aparentemente como resulta-- do del incremento de los nutrientes en los cuerpos de agua, dicho proceso se ha acelerado. A esta circunstancia se cono-- ce como " eutroficación cultural".

Al aumentar la densidad de los microorganismos -- del agua, la demanda de oxígeno es mayor, siendo perjudicial para los peces y eventualmente para el propio cuerpo de agua. El problema de la eutroficación, ha alcanzado grandes propor-- ciones en los depósitos de agua de los Estados Unidos, sien-- do en su mayoría poco conocido, ya que, en general, existe -- carencia de conocimiento científico adecuado de las causas -- exactas que provocan el problema.

Algunos científicos, han afirmado que el fósforo es la causa primaria en el proceso, otros creen que el car-- bono y el nitrógeno son las fuentes primordiales del proce-- so. A pesar de que no existe un criterio definido al respec-- to, la mayoría de los investigadores están de acuerdo que -- los detergentes contribuyen en un 50% a la causa, además de otras fuentes como es el escurrimiento de los campos agrícola-- las.

Varias propuestas han surgido para eliminar ó disminuir los fosfatos de los detergentes para frenar el proceso de la eutroficación de los lagos, ríos y estanques, a pesar de que no existen bases científicas de que los detergentes son el control primario del problema.

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

La finalidad del estudio es la determinación del origen de la invasión de la maleza acuática en los vasos de almacenamiento de La Angostura y Malpaso.

El plan del estudio comprende las siguientes etapas:

A.- Conocimiento de las fuentes, tipos de contaminantes y efectos sobre los cuerpos de almacenamiento en cuestión.

B.- Reconocimiento general del problema de la contaminación en la zona, con la localización de las fuentes y el establecimiento de estaciones de muestreo y observación.

C.- Establecimiento del criterio de las técnicas de muestreo y métodos de prueba de los análisis a desarrollar en el laboratorio, así como el número de pruebas a procesar.

D.- Evaluación de los resultados obtenidos.

E.- Conclusiones.

OBJETIVOS

1o.- Inmediatos.

A.- Caracterización biológica y físico-química de la calidad de las aguas de los vasos y sus afluentes, teniendo los siguientes puntos:

1.- Instalación de una red de muestreo.

2.- Determinación de parámetros biológicos y físico-químicos. Los parámetros que se deben determinar son los siguientes:

entes:

Físicos

pH, temperatura, turbidez, conductividad eléctrica..

Químicos

Oxígeno disuelto (O D), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), salinidad, dureza, alcalinidad, acidez, nutrientes (fósforo y nitrógeno), detergentes, otros.

Biológicos

Pláncton, Nécton y Béntos.

B.- Cuantificación del área del vaso cubierta por maleza acuática, desplazamiento y zonas de mayor concentración.

C.- Determinación de la velocidad de crecimiento de esta maleza.

D.- Investigación en el centro piscícola " Benito Juárez" en relación a la aplicación de herbicidas para el control de malezas acuáticas y su efecto en el ecosistema, antes y después de la aplicación de esta sustancia.

Los parámetros que se deben desarrollar en este punto son los siguientes:

1o.- Biodegradación de los compuestos químicos (herbicidas) que se piensan aplicar.

2o.- Caracterización bacteriológica y físico-química de las aguas, antes y después de la aplicación.

3o.- Presencia de sustancias extrañas en el agua después de la aplicación.

II.- Medios

Paralelamente a la ejecución del estudio se efectuarán algunas pruebas con distintos métodos, que nos permitan encontrar la mejor forma de regular y controlar esta plaga vegetal.

CONTROL

Los principales métodos para combatir la maleza acuática son tres: mecánico, químico y biológico, también se esta experimentando un método físico a base de rayos laser sin que aún se obtengan resultados satisfactorios.

Método mecánico.- En esta categoría, se han utilizado basicamente dos sistemas de extracción.

a).- Extracción manual.- Es el más antiguo de los sistemas y para ello el hombre se vale de rastrillos, tridentes y redes de pesca tipo chinchorro. El material extraído se acumula en las riveras, este método resulta costoso y lento.

b) .- Extracción con máquinas.- En mayor escala se han empleado las máquinas colectoras o trituradoras de diferentes tipos. Se ha utilizado una máquina trituradora que tiene el inconveniente de regresar al agua el producto, traduciéndose esto en que cada pedazo triturado puede dar origen a una nueva planta, siendo contraproducente para el control.

Existe otra máquina que transporte las malezas a las riveras y las deposita para posteriormente quemarlas, resultando costosa su recolección. Hay otra que se utiliza -- principalmente para lirio acuático, fué construida por la Comisión Nacional Forrajera, consta de un lanchón metálico de

25m de largo por 8 m de ancho, con dos cámaras laterales para flotación, a ambos lados del lanchón van montadas dos sierras circulares de 2m de diámetro con la finalidad de cortar las acumulaciones de lirio. La capacidad de carga de esta cosechadora es de 150 m³, los trabajos realizados con este equipo son caros y se corre el riesgo de estar efectuando re-siembras.

En el caso particular del proyecto se aplicará la técnica y los implementos empleados hasta la fecha, con objeto de extraer distintos manchones de estas plantas y así evitar su pronta proliferación y desarrollo. Además de continuar el análisis de diferentes equipos para seleccionar el más apropiado para esta actividad.

Método químico..- Consiste en la aplicación de diversas substancias en forma de aerosol, conocidas como herbicidas, algunas de las cuales tienen un estrecho rango en su especificidad, es decir que pueden controlar especies de un género sin afectar a las demás del mismo género. Uno de los herbicidas más conocidos es el 2,4 ácido dicloro-fenoxi-ético (2,4 D) perteneciente al grupo conocido como hormonas vegetales; tiene un sinnúmero de derivados cada uno con propiedades específicas.

Para el vaso de la Anrostura se efectuarán algunas pruebas con productos químicos específicos, en las instalaciones del Centro Piscícola Penito Juárez, ubicado en el municipio de la Concordia, Chis. y en las áreas seleccionadas del vaso; con el objeto de conocer su acción y efectividad, así como detectar las posibles consecuencias sobre la cali--

dad del agua, fauna y flora acuática y la ecología del ecosistema. En estas pruebas se usarán principalmente los herbicidas recomendados por casas especializadas, las que además de proporcionar personal, equipo y material necesario, rendirán un informe detallado sobre la acción, consecuencias y efectividad de los productos empleados. Además de seguir consultando la bibliografía existente para definir que productos son recomendables.

Control biológico.- Se practicará mediante la siembra masiva de peces de hábitos fitófagos como la carpa herbívora (*Ctenopharingodon idella*), la que presenta un mejor desarrollo en zonas con denso crecimiento vegetal; consumiendo gran cantidad de plantas acuáticas, siempre que éstas no sean venenosas y no tengan espinas, ni sean excesivamente duras, por lo que generalmente se alimentan de:

Potamogeton sp, Hydrilla sp, Vallisneria sp, Spirodela sp, Eichhornia crassipes, así como plantas terrestres del tipo de Echinochoa sp, Setoria sp, etc.

Es un pez sumamente voraz, que puede consumir una cantidad vegetal equivalente al doble de su peso corporal, por día, aunque los adultos comen un poco menos que los jóvenes. Generalmente cuando comen 15 kg, si se alimentan de plantas acuáticas necesitan de 40-50 kg. para incrementar su peso en la proporción señalada. En condiciones ideales estos organismos alcanzan una talla aproximada de 1.20 m y un peso de 30-40 kg., inclusive se reportan en las corrientes de China ejemplares más grandes.

Existen reportes de que en México se ha introduci

do el control biológico, utilizando dugongos o manatíes --- (sirenido del género trichetus latirotris) que consumen -- grandes cantidades de lirio diariamente. En el lago de Chapala se introdujeron ejemplares de esta especie, obteniendose en principio buenos resultados, la ignorancia y el miedo de los habitantes han sido motivo de su extinción en dicha laguna.

LIMITES

1o.- De tiempo

Para que este estudio sea representativo de las condiciones naturales que prevalecen en el lugar, es necesario que el estudio comprenda un período de estiaje y otro de precipitación pluvial. Se considera representativo 12 meses.

2o.- De espacio

La zona donde se encuentran localizados los dos vasos de almacenamiento, así como sus principales afluentes.

3o.- De universo.

Asentamientos humanos, zonas industriales, drenes agrícolas, etc., toda acción humana y material que intervenga en el proceso de la eutroficación de los vasos.

JUSTIFICACION ECONOMICA

Si dejásemos sin control el crecimiento explosivo de la maleza acuática, tan solo por el fenómeno de evapotranspiración cuantificaremos su importancia económica con el sig. ejemplo:

a).- Superficie considerada en la presa de La Angostura = 13,117 Hs.

b).- Evaporación anual media= 1,431 mm.

c).- La evaporación varia de 2 a 8 veces mayor que la evaporación normal, para este cálculo se considera sólo cuatro veces de acuerdo a las condiciones existentes del lugar, ya que sus variaciones dependen de factores tales como: la humedad-ambiente, tipo y desarrollo de maleza y temperatura ambiente.

d).-De acuerdo con la capacidad específica de diseño de la presa de La Angostura son necesarios 4.3 m³ de agua para generar un KWH.

e).- El precio de venta de acuerdo con el estudio formulado por la Comisión Federal de Electricidad en diciembre de 1974, a nivel nacional es de 0.3086 pesos, por lo tanto - tenemos:

$$(13,117 \text{ Hs}) (1,431 \text{ mm}) (4) = 750'817,080 \text{ m}^3$$

$$\text{por lo que KWH} = 750'817,080 / 4.36 \text{ m}^3 \text{ de agua} = 172'205,752 \text{ KWH}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdida económica} &= (172'205,752 \text{ KWH}) (0.3086 \text{ pesos}) \\ &= \underline{53'142,695.0 \text{ pesos}} \end{aligned}$$

CONCLUSIONES

La posibilidad de limitar el fósforo en los cuerpos de agua contenidos, es la etapa más importante y necesaria, para tomar el control de la eutroficación. El camino más efectivo para hacer esto es reducir los suministros de fósforo.

Las aguas negras municipales son la principal fuente generadora, sus descargas a las aguas susceptibles deben ser tratadas para reducir el contenido de fósforo a un nivel mínimo, ya que todos los suministros son adicionables y por lo tanto significativos. Debe intentarse reducir por todos los caminos posibles la contribución del fósforo a las aguas.

La tecnología debe ser evolucionada para cortar efectivamente los suministros de fósforo de todas las fuentes difusoras puntualizadas. Es de suma importancia que la industria conozca a fondo sus procesos de producción que usa actualmente ligados con los residuos resultantes, y estar al tanto de los nuevos avances de las técnicas de producción para

poder optimizar el aprovechamiento de las materias primas, - la recuperación de subproductos y el reúso del agua dentro - de la misma planta con el propósito fundamental de reducir - la disposición al medio ambiente de contaminantes. En el caso de los detergentes se podría intentar, la elaboración de nuevas formulaciones en las que se elimine la inclusión de - fósforo.

Con respecto al control que en la actualidad se - practica, merced a las experiencias que se tienen, puede llevarse a cabo un programa general de control de la maleza acuática, canalizando los esfuerzos hacia una reducción considerable de las áreas invadidas, ya que una erradicación completa resultaría difícil y costosa. Hay que tomar en cuenta que con base en estudios previos, podría utilizarse, dependiendo de la cantidad de maleza a controlar, la combinación de dos o mas métodos con el fin de que se controle la maleza más rapido y eficientemente, previendo en todos los casos, - el impacto y el deterioro que se pudiera provocar en el medio ambiente.

Desde el punto de vista ecológico, el control de las malezas acuáticas por método biológico es el mejor, ya que proporciona beneficios tales como:

Aprovechamiento de las especies controladoras, menor costo y efecto de control constante.

Se ha comprobado la efectividad del control de malezas acuáticas mediante siembra de carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*); comprobándose que consume grandes can---

tidades de lirio, y si bien parece no poder erradicarlo, si podría controlar su población, además de poder constituir en un futuro con la vigilancia necesaria, una fuente de proteínas para los lugareños.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Anonymous. Detergent Phosphates Vindicated. Chemical Week 98. 1966
- 2.- Bassols, B. Angel. La División Económica Regional de México. Textos Universitarios. 264. 1967
- 3.- Burn, R. J., D.F. Krawczyk, and G. L. Harlow. Chemical and Physical Comparison of Combined and Separate Sewer Discharges. Journal W P C F 40. 1968.
- 4.- Datos Proporcionados por La Asociación Nacional de Fabricantes de Cerveza. México, D. F. 1975
- 5.- Datos Proporcionados por la Asociación Nacional de Embotelladores de Refresco. México, D. F. 1976
- 6.- Datos y Anteproyecto Proporcionado por La Comisión Federal de Electricidad. México, D.F. 1975
- 7.- La Ecología, Enciclopedia Salvat No. 80
- 8.- Lund, J.W.G., Phytoplankton, Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives., 306-330. 1969.
- 9.- Man's Impact on the Waters. Acuatic Weeds 4. 248-262. 1972

- 10.- NERP. Original Data or Information the National Eutrophication Research Program, Environmental Protection Agency, Pacific Northwest Water Laboratory, Corvallis Oregon. 1968
- 11.- Rademacher, J. M. Animal Waste Pollution. Animal Waste Management Conference. 1969.
- 12.- S.I.C. Boletín de Piscicultura Rural. XLIII. 69- 89. 1963
- 13.- Silvis, S.J. Detergents. Chemical Week 105. 1969
- 14.- Stumm, W., and J.J. Morgan. Stream Pollution by Algal - Nutrients. 12th Annual Conf. on Sanitary Engineering, Univer. of Kansas Press, Lawrence. 1962
- 15.- Thomas, E. A. , The Process of Eutrophication in Central European lakes. Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives, 1969
- 16.- U.S. Congress, House, Committee on Government Operations. Phosphates in Detergents and the Eutrophication of America's Waters. House Report No. 91-1004. April, 1970.
- 17.- U.S. Dept. of Commerce, Statistical Abstract of U.S. 1969
- 18.- Vallentyne, J. R. Phosphorus and the Control of Eutrophication. Canadian Res. and Development 3: 36-43, 49. 1970.
- 19.- Vollenweider, R. A., Scientific Fundamentals of the - Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication, 1968.

20.- Norma Oficial Mexicana DGN-AA-29-1975 " Determinación
de Fósforo Total en Agua"