

155-A
2 y



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACION DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA
A PARTIR DE CLOROFILA *a* EN LA PRESA
VALLE DE BRAVO, MEX., 1987.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A :
GABRIELA PEDRAZA MOCTEZUMA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

RESUMEN

En México los trabajos de tipo limnológico han profundizado poco en el estudio productivo de sus cuerpos de agua, incluso en los embalses que son sistemas importantes en el abastecimiento de agua, en la piscicultura y como centros turísticos principalmente. Por lo anterior se pretende con la presente investigación contribuir al conocimiento de la productividad primaria de los embalses a partir de la determinación de la concentración de clorofila a, estimando su relación con los factores fisicoquímicos que la limitan, en el embalse Valle de Bravo, Méx.

Por consiguiente se realizó un muestreo mensual de febrero a noviembre de 1987 (excepto en julio y septiembre cuando fue quincenal para considerar los cambios en la época de lluvias) en cinco estaciones ubicadas en la presa Valle de Bravo, Edo. de Méx. En cada estación se midió la transparencia y con base en estos datos utilizando el método de columna de manguera (Castagnino, 1982) se obtuvieron muestras de agua de un litro para el análisis de clorofila a y tres litros para el análisis de fósforo total, nitrógeno orgánico, pH, dureza, conductividad, alcalinidad y sólidos suspendidos fijos.

En el laboratorio se estimó la concentración de clorofila a mediante el método de Lorenzen (1967) en el que considera a la concentración de clorofila a mediante corrección por feofitina a (pigmento de degradación de la clorofila a). Los valores de productividad primaria neta se obtuvieron a partir de las concentraciones de clorofila a mediante la ecuación de Hyther y Yentsch (1957) en la que se incluye a la luz como el parámetro limitante más importante en la actividad fotosintética.

Por los resultados el embalse se clasificó como un lago cálido monomictico con formación de termoclina en verano. La luz, la temperatura, el fósforo y el nitrógeno son los parámetros que limitaron la productividad primaria estimada en 774.55 mgC/m²/día considerándolo como un embalse eutrófico, además se observó que la productividad primaria estuvo estrechamente relacionada con el periodo de lluvias y estiaje en el embalse. Por lo anterior, se consideró adecuado para el cultivo de peces como carpa y tilapia, pero

debido a su uso en el abastecimiento de agua es necesario disminuir su grado de eutroficación.

Por otra parte, se observó que el método de columna (Castagnino, op. cit.) permitió muestrear el espesor de la capa fótica en donde es posible la productividad primaria. Con el método de Lorenzen se eliminó una fuerte vía de error al considerar a la concentración de clorofila a con corrección de feofitina a. Al utilizar la ecuación de Ryther y Yentsch (op. cit.) es recomendable medir con un calibrador fotoeléctrico la radiación solar que recibe el embalse, para obtener valores más precisos de productividad primaria. Finalmente, se consideró que el método utilizado tanto en campo como en el laboratorio así como la ecuación de Ryther y Yentsch (op. cit.) son susceptibles de aplicar se en el estudio productivo de cualquier cuerpo de agua.

I N D I C E

	Página
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vi
1.0 INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Clasificación de lagos y embalses ..	4
1.1.2 Factores que limitan la productivi - dad primaria	7
1.1.3 Métodos de estimación de la produc - tividad primaria	11
1.2 Objetivos	18
2.0 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
3.0 METODOLOGIA	22
3.1 Muestreo y Análisis Físico-Químico del A - gua	22
3.2 Determinación de Clorofila <u>a</u>	24
3.3 Determinación de la Productividad Primaria	27
4.0 RESULTADOS Y DISCUSION	34
4.1 Análisis Físico-Químico del Agua	34
4.2 Análisis de Clorofila <u>a</u>	55
4.3 Análisis de la Productividad Primaria	59
5.0 CONCLUSIONES	71
6.0 LITERATURA CITADA	73

1.0 INTRODUCCION

Los trabajos de tipo limnológico realizados en México se iniciaron a principios del siglo XX (Chávez, 1986), generalmente se han enfocado al análisis fisicoquímico de los cuerpos de agua, o bien a la descripción, distribución y ecología de su flora y fauna, profundizando poco en los procesos productivos, siendo que la determinación de la productividad primaria en un sistema acuático es importante, ya que constituye el primer eslabón de energía que regula los índices de multiplicación y crecimiento en los organismos, por lo tanto es el punto inicial para el estudio del metabolismo en las comunidades cuando se trata de estimar el potencial biológico del ecosistema, además permite deducir el estado trófico del mismo y por consiguiente su calidad de agua, lo cual es indispensable conocer para poder dar alternativas de manejo, conservación y en su caso, restauración, mismas que indudablemente deben repercutir en favor de la producción biológica.

En los últimos años se han efectuado investigaciones en relación a este aspecto, siendo en su mayoría a nivel marino como son los trabajos de Jordán (1971), Cortéz (1972), y De la Lanza (1966 y 1987). En sistemas dulceacuícolas se han realizado investigaciones como la de Velasco (1982) en el lago de Pátzcuaro, Michoacán; González (1984) en el lago El Sol Edo. de Méx., entre otras. Se considera necesario tam -

bién realizar estudios de productividad en embalses, dada su utilidad en el desarrollo de la piscicultura a nivel extensivo, como sistemas de abastecimiento de agua y recurso de carácter turístico principalmente, tal es el caso del embalse Valle de Bravo, Méx., el cual forma parte del plan integral de abastecimiento de agua potable a la ciudad de México llamado Sistema Cutzamala, destacándose como uno de los sitios turísticos más importantes del Estado. En apoyo a las actividades turísticas y comerciales que ahí se realizan se ha fomentado el cultivo extensivo de peces como trucha, tilapia y carpa, por lo que se espera que el presente trabajo resulte útil para estimar el estado trófico de la presa y para pronosticar impactos ecológicos, así como el desarrollo integral de sus recursos.

Por ello la presente investigación pretende contribuir al conocimiento de la productividad primaria en embalses, partiendo de la concentración de clorofila a y estimando su relación con los factores fisicoquímicos limitantes.

1.1 ANTECEDENTES

Teóricamente, el volumen de agua que existe en el planeta es el mismo desde los primeros tiempos pero su distribución no es uniforme en toda la superficie terrestre debido a que

está sujeta a un continuo ciclo en el cual se presentan los fenómenos físicos de evaporación, condensación, congelación y fusión (Margalef, 1974). El ciclo hidrológico como parte determinante de la vida en el planeta es muy complejo, incluye el movimiento del agua desde la atmósfera, su entrada y almacenamiento temporal en aguas subterráneas y continentales como son ríos, lagos, embalses, etc., reincorporándose más tarde hacia su reservorio principal que son los océanos.

Hutchinson (1975) con base en la geomorfología y su origen clasificó 76 tipos de lagos dentro de los cuales incluyó a los embalses formados por el hombre con el fin de mejorar el aprovechamiento de las aguas superficiales mediante la construcción de presas los que se forman por el almacenamiento de la corriente de un río y a los que se les dan fines específicos como es el generar energía eléctrica, para riego, acuicultura, turismo, etc. A las presas se les denomina lagos artificiales o simplemente embalses.

Generalmente cualquier ecosistema acuático está estructurado por las siguientes unidades básicas:

- a) Medio Abiótico: que incluye sustancias orgánicas e inorgánicas y régimen climático.
- b) Medio Biótico: que comprende a los organismos productores, consumidores y desintegradores.

Estos dos componentes presentan una interacción muy compleja. En el caso de los sistemas lénticos como un lago, ac-

túan en forma característica presentando diferentes zonaciones y estratificaciones (Odum, 1978) aunque en los ríos grandes y profundos también se presenta una cierta zonación.

Típicamente, se distingue una zona trofogénica formada por vegetación emergida, sumergida, y plancton, los cuales al morir caen constantemente a la zona trofolítica donde actúan los organismos desintegradores que al degradar la materia orgánica liberan nutrimentos como fosfatos, nitratos, carbonatos y sulfatos principalmente, éstos a su vez son asimilados directamente por los productores e indirectamente por los consumidores.

1.1.3 Clasificación de lagos y embalses

El régimen climático dado por la temperatura, presión, humedad, precipitación, nubosidad y viento entre otros, determina el comportamiento de las masas de agua en los ecosistemas; de tal forma que en el caso de los lagos y embalses se pueden presentar períodos de circulación vertical u horizontal del agua y una estratificación térmica por diferencias en su densidad.

La latitud y la altura sobre el nivel del mar del cuerpo de agua son dos características muy importantes para determinar el tipo de estratificación que este presenta. De acuerdo a esta dinámica Hutchinson (op.cit.) clasificó a los lagos en

i) Lagos amicticos.- Si estan permanentemente cubiertos de hielo. Su localización está restringida a la zona antártica y en condiciones especiales, en montañas muy altas.

ii) Lagos fríos monomicticos.- Su temperatura nunca es superior a 4°C y muestran solo un periodo de circulación en el verano. Se encuentran principalmente en el ártico y en las altas montañas; aunque en el verano pueden estar libres de hielo, estan en frecuente contacto con glaciares.

iii) Lagos dimicticos.- Estos lagos presentan dos periodos de circulación holomictica en primavera y otoño, además de estratificación directa en el verano e inversa en el invierno. Este comportamiento es el más común en climas templados y ocasionalmente en zonas altas subtropicales.

iv) Lagos cálidos monomicticos.- Presentan circulación holomictica en el invierno y estan directamente estratificados en el verano. Se localizan en regiones templadas calientes o subtropicales, la temperatura nunca es inferior a 4°C .

v) Lagos oligomicticos .- Son generalmente tropicales y tienen periodos de circulación a intervalos excepcionalmente fríos. La temperatura del agua es normalmente muy superior a 4°C . La circulación se puede presentar después de varios años de una débil y continua estratificación.

vi) Lagos polimicticos.- Son lagos con circulación frecuente o continua. Este grupo se divide en polimicticos fríos o

polimíctico calientes. Los primeros mantienen una temperatura cercana a 4°C y se localizan en zonas ecuatoriales con fuertes vientos, baja humedad y con pequeñas variaciones estacionales de temperatura ambiental. Por otro lado, los lagos cálidos polimícticos son normalmente lagos tropicales con períodos frecuentes de circulación a temperaturas muy arriba de 4°C .

Otro tipo de clasificación de lagos se basa en su estado trófico y productividad primaria, dividiéndose en:

Oligotróficos.- Geológicamente son lagos jóvenes, profundos, con hipolimnion mayor que el epilimnion, baja productividad, escasa densidad de fitoplancton y el agua es clara.

Mesotróficos.- Estado de transición entre oligotrófico y eutrófico.

Eutróficos.- Lagos maduros, poco profundos, ricos en sólidos disueltos, mayor productividad primaria, poblaciones de plancton más densas y florecimientos algales muy comunes.

Distrófico.- Son pantanosos de pH ácido y aguas amarillentas o café, los sólidos disueltos escasean pero abunda el humus.

El fenómeno de eutroficación consiste en el enriquecimiento de los cuerpos de agua con nutrientes a un ritmo tal que llega un momento en que no es posible la mineralización completa de la materia orgánica producida, ya que la descomposi

ción del exceso de esta materia hace disminuir grandemente la concentración de oxígeno en el fondo (Velasco, 1982).

En terminos generales, puede considerarse a la eutroficación, como un proceso "sucesional" que presenta una lago a través del tiempo, es decir parte de una condición originalmente oligotrófica hacia una condición más productiva y eutrófica.

1.1.2 Factores que limitan la productividad primaria.

La productividad primaria, base de la clasificación trófica, se define como la velocidad a la que es almacenada la energía solar por la actividad fotosintética de organismos productores, en forma de sustancias orgánicas susceptibles de ser utilizadas como alimento, se expresa como gramos de carbono fijado por metro cuadrado de superficie al día y puede existir una relación directa con el estado trófico del cuerpo de agua. Así, la productividad baja es característica de los lagos oligotróficos, los cuales presentan poca biomasa (cantidad total de materia viviente por unidad de superficie o volumen), a diferencia de los lagos eutróficos que presentan un incremento en su productividad reflejandose esto en densidades muy altas de fitoplancton.

La productividad primaria de un lago es afectada por la acción de diversos factores, pero en realidad los factores que se consideraran como limitantes de la productividad primaria de un embalse de acuerdo con Krebs (1985) son:

Luz.- La radiación solar es muy importante en la dinámica de los ecosistemas, la energía que se recibe es transformada en energía química potencial de importancia básica para su productividad y la cantidad de desarrollo heterotrófico del sistema lacustre (Wetzel, 1975).

La cantidad de energía que recibe el sistema depende de la hora del día, altitud y condiciones meteorológicas, ya que está en función de la distancia angular del sol con respecto a la tierra. Los propios organismos del plancton así como los materiales en suspensión, intervienen en la penetración de la luz; así, la transparencia del agua es una medida común de la densidad del plancton y de materiales en suspensión, la forma más sencilla de medir este parámetro es por observación de la profundidad a la que desaparece de la vista el disco de Secchi. Existe una relación relativamente sencilla entre la profundidad del disco de Secchi y el valor de extinción de la luz (K) en el agua, el cual se refiere al hecho de que a pesar de que el agua es un líquido transparente, la luz que la atraviesa se debilita hasta desaparecer debido al fenómeno de absorción, que consiste en una disminu -

ción de energía luminosa al ser transformada en calor. Por otra parte, la absorción puede deberse también a la presencia de materiales disueltos en el agua, o bien a la materia suspendida dispersa, incluyendo el plancton y detritus. Cabe señalar que el exceso de luz inhibe la fotosíntesis. Por ejemplo Nielsen y Jensen (1957, citado por Krebs, op. cit.), registraron en el mar que cuando la luz superficial era excesiva, la producción máxima tenía lugar a varios metros de profundidad.

Temperatura.- Guarda una relación estrecha con la intensidad de luz y es difícil evaluarla como un factor separado de ella, debido a que la absorción de la energía solar y su disipación en forma de calor afectan profundamente la estratificación de las masas de agua (en donde las masas de agua de mayor temperatura se sobreponen a las más frías, formando capas o estratos) y consecuentemente influyen en la circulación estacional, lo anterior se refleja en cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua como: densidad, viscosidad, conductividad, solubilidad de gases (principalmente el oxígeno) y en la velocidad de reacciones químicas y bioquímicas. Finalmente, se puede decir que la temperatura es un factor importante en la productividad de un sistema, pues cuando la temperatura aumenta por lo general también lo hacen la producción de materia, el crecimiento y el intercam -

bio de nutrimentos, es decir la temperatura determina en cierto grado las condiciones de alta o baja producción. De acuerdo con Arrignon (1979), en condiciones donde la temperatura del medio ambiente es constante las comunidades crecen y se diversifican, en cambio en un medio con temperatura variable la producción es inestable.

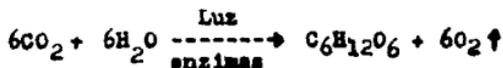
Nutrimentos.- Los vegetales requieren para su crecimiento de diversos nutrimentos como el fósforo, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, etc., estos nutrimentos no actúan en forma independiente unos de otros, por lo que se dificulta la identificación de los nutrimentos limitantes en la productividad primaria. Las primeras investigaciones hicieron suponer que el fósforo y el nitrógeno son los principales factores limitantes en lagos de aguas dulces, conclusión derivada de la fertilización de pequeños estanques de cultivo para incrementar la producción de peces (Krebs, op.cit.).

El fósforo se encuentra en las aguas naturales en forma de fósforo orgánico e inorgánico, tanto en partículas coloidales en suspensión como en los sedimentos.

El fósforo y el nitrógeno son reciclados varias veces durante el año y las algas solo utilizan una porción de fósforo como fosfatos y nitrógeno como nitratos.

1.1.3 Métodos de estimación de la productividad primaria.

La estimación de la productividad primaria es indispensable para evaluar la capacidad de desarrollo que presenta un ecosistema a expensas de la energía externa, la cual es captada en forma de luz y permanece algún tiempo en forma de energía química la que es degradada por las actividades orgánicas. En los sistemas acuáticos los productores primarios son los organismos del fitoplancton y las macrofitas, los que tienen como función principal la de fotosintetizar, proceso mediante el cual los organismos autótrofos forman su propia materia orgánica a partir del agua, CO₂, luz y nutrientes; liberando cantidades proporcionales de oxígeno al medio. La fórmula esquematizada de este proceso es la siguiente:



En la fotosíntesis, los pigmentos de los tejidos vegetales como las clorofilas, carotenoides y ficobilinas; absorben la energía de un fotón de luz visible que abarca las longitudes de onda entre 360 y 760 nm, utilizandola para iniciar los procesos químicos durante la fotosíntesis.

Es posible medir directamente la cantidad de luz incidente en la superficie terrestre, pero no la cantidad de luz so

lar utilizada por las plantas durante la fotosíntesis, sino sus consecuencias en la reducción de compuestos oxidados como compuestos de carbono principalmente, por lo que se han diseñado diversos métodos que permiten conocer la cantidad de carbono asimilado por el fitoplancton de un volumen dado de agua en un determinado tiempo; los más comunes son los siguientes:

Técnica de botellas claras y oscuras o método de Winkler.

Se incuban muestras de agua conteniendo poblaciones fitoplanctónicas en botellas claras y oscuras de un perfil vertical que incluye varias profundidades, la concentración inicial de oxígeno disuelto en las muestras (C1) se reducirá por la respiración en las botellas oscuras (C2) y aumentará hasta un valor (C3) en las botellas claras debido a la producción fotosintética y consumo respiratorio de oxígeno. Se considera que el oxígeno liberado es proporcional a la materia seca producida. La diferencia (C1 - C2) es la actividad respiratoria durante el tiempo de incubación; (C3 - C1) es la actividad fotosintética neta, la suma algebraica de las concentraciones (C3 - C1) + (C1 - C2) + (C3 - C2) es el equivalente de la actividad fotosintética bruta (Wetzel, 1975).

Existen diversos factores que alteran estos resultados, como el hecho de que las tasas de respiración no son iguales

en la luz y en la obscuridad dado que las algas realizan fotorespiración; además, la concentración de oxígeno es influenciada en tal experimento por la respiración no solo de las algas sino de otras formas de vida incluyendo la flora bacteriana que se desarrolla en el agua encerrada en las botellas. También es posible la presencia de errores analíticos en la determinación de oxígeno, o en el muestreo de las poblaciones; esta técnica es solo una estima aproximada (Wetzel, op. cit.).

Método del Carbono Catorce (C^{14}).

Este método es altamente sensible, fue descrito por Steemann-Nielsen (1952, citado por Ryther, 1956) y consiste en a dicionar una pequeña cantidad de bióxido de carbono marcado ($C^{14}O_2$) a una muestra de agua que contenga las poblaciones de plancton, después de permitir la realización del proceso fotosintético por un periodo conveniente, el fitoplancton es retenido en un filtro de 0.45 micras, éste a su vez es l vado, secado y medido por la técnica de conteo estandar. El C^{14} es utilizado para la determinación de la respiración, pe ro no permite estimar la leve respiración adicional de la ma teria orgánica durante las horas de muestreo; por lo tanto, esta técnica es recomendable solo para cultivos en el labora torio (Ryther, op. cit.).

Método del contenido de clorofila a.

Este procedimiento es relativamente sencillo, consiste en extraer el pigmento por filtración de una muestra de agua y luego medir su concentración en un espectrofotómetro. De acuerdo al estudio realizado por Myther y Yentsch (1957), es posible obtener valores de productividad primaria a partir de concentraciones de clorofila a, considerando que el plancton marino a saturación de luz tiene una velocidad de asimilación constante de 3.7 μ gramos de carbono por cada gramo de clorofila en una hora.

El método de la clorofila se utilizó primero en estudios marinos donde la extracción de clorofila de muestras de agua y la medición de la radiación incidente son más baratas y requieren menos tiempo que los métodos de C^{14} o de botellas claras y oscuras (Odum, 1975).

Los métodos descritos están sujetos a errores de muestreo y a la corrección necesaria por respiración; por esta y otras razones la determinación de la productividad primaria realizada por diferentes métodos es raramente comparable (Barnes, 1960).

A pesar del uso de estos métodos con sus respectivas ventajas y desventajas, aún no se ha puesto suficiente atención a las técnicas de determinación de la productividad primaria que incluya valores de radiación solar, aún a sabiendas de

que la luz, de acuerdo con Lyther (op. cit.) es el factor limitante más importante en la fotosíntesis.

Se han realizado estudios en los que se ha visto que el porcentaje de fotosíntesis se incrementa linealmente con la radiación solar, cuando esta es muy intensa se alcanza un punto de saturación, y posteriormente la fotosíntesis disminuye como consecuencia de una fotoinhibición (Barnes, op. cit.).

De acuerdo con Barnes (op. cit.) en aguas moderadamente claras, existe en la superficie una fuerte inhibición de la fotosíntesis, alcanzando su valor máximo a varios metros de profundidad, a diferencia de las aguas productivas en las que el máximo de fotosíntesis se alcanza generalmente cerca de la superficie. En los días nublados la radiación en la superficie del agua puede ser menor a la de saturación; es decir, en este caso no existe fotoinhibición por lo que el porcentaje máximo de fotosíntesis puede ocurrir a nivel superficial.

Lyther (op. cit.) encontró una relación empírica entre la radiación superficial diaria y la fotosíntesis relativa en la columna de agua del mar. Si se conoce la radiación incidente sobre la superficie del océano durante el día, el coeficiente de extinción de la luz (K) en el agua y los datos de fotosíntesis máxima, es posible calcular el porcentaje de

fotosíntesis relativa diaria a cualquier profundidad en la columna de agua en la cual el fitoplancton está distribuido homogéneamente.

Ryther y Yentsch (op. cit.) descubrieron que se puede obtener la productividad primaria neta conociendo el coeficiente de extinción, la radiación superficial diaria y la concentración de clorofila a en el fitoplancton marino.

Frecuentemente se han encontrado algunas algas fitoplanctónicas que logran adaptarse a intensidades altas o bajas de luz mediante variaciones en la cantidad de pigmento por célula, de tal forma que las células adaptadas a intensidades altas de luz tienen menores concentraciones de clorofila a con respecto a las que se adaptan a intensidades bajas debido al efecto de inhibición fotosintética.

De acuerdo con Román y Tenore (1978, citado por Barnes, op. cit.) los valores máximos de clorofila se ubican en las primeras horas del día y en el crepúsculo y los mínimos al medio día y en la noche.

La clorofila a es el pigmento indispensable para la realización de la fotosíntesis y se le encuentra en todas las algas aunque en diferentes concentraciones, debido a que su contenido en las células depende de la especie, edad, rango de crecimiento, luz y nutrientes (Wetzel, 1976).

En promedio la clorofila a constituye aproximadamente del

1 al 2 % del peso seco de materia orgánica en todas las algas planctónicas, siendo útil para estimar biomasa algal (APHA, 1980). De acuerdo con Brower y Zar (1977), la biomasa de clorofila a es expresada simplemente en mg de clorofila a por metro cúbico.

Se ha visto que la feofitina a, un producto de degradación común de la clorofila a, interfiere en la determinación de clorofila a ya que absorbe la luz y fluoresce en la misma región del espectro y si está presente causa errores en los valores de clorofila a, por lo que de acuerdo con los métodos estandar (APHA, op. cit.), es recomendable que cuando se mida clorofila a se mida también la concentración de feofitina a.

De la información anterior, se desprende la importancia de la medición de la productividad primaria en sistemas acuáticos con base en la cantidad del pigmento fotosintético clorofila a y su relación con factores limitantes como la luz.

Por ello, la presente investigación contempla los objetivos que a continuación se mencionan.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son:

- 1.- Establecer los parámetros fisicoquímicos que limitan la productividad primaria en el embalse Valle de Bravo, México.
- 2.- Contribuir al conocimiento de la productividad primaria a partir de la concentración de clorofila a en el embalse Valle de Bravo, México.

2.0 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La presa Valle de Bravo, en el estado de México (fig.1), está situada al oeste de la ciudad de Toluca a $19^{\circ}21'30''$ de latitud norte y $100^{\circ}11'00''$ de longitud oeste, a una altura de 1830 m.s.n.m. De acuerdo con los datos proporcionados por la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), la superficie del embalse es de 1730 ha., con una longitud máxima de 7.3 Km y 6.3 Km de ancho máximo, una profundidad máxima de 35 m y una capacidad de 335 millones de metros cúbicos. Recibe los aportes de cinco tributarios: los ríos Amanalco y Molino y los arroyos Santa Mónica, González y el Carrizal.

El clima de la región de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1987) es (A) C W (W) (1') g, es decir semicálido subhúmedo con una precipitación media anual entre 800mm y 1200 mm, evaporación de 2000 mm y temperatura media entre 18 y 22 °C. El embalse es endorreico, su relieve circundante montañoso y el basamento estructural calcáreo; no así en la superficie en la cual predominan materiales volcánicos debido a que la depresión donde se estableció la presa corresponde a un poljé, cuyo proceso cárstico quedó interrumpido por la actividad volcánica (López, 1971).

La vegetación de la zona está compuesta por bosques de pino, encino y oyamel, así como selva baja caducifolia con matorrales subespinosos y chaparrales (CAVM, 1979).

PRESA VALLE DE BRAVO

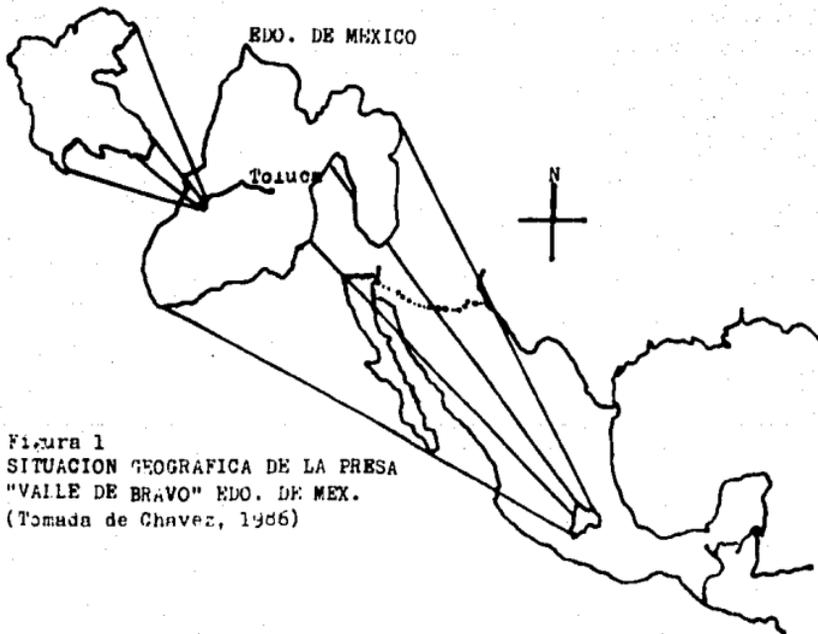


Figura 1
SITUACION GEOGRAFICA DE LA PRESA
"VALLE DE BRAVO" EDO. DE MEX.
(Tomada de Chavez, 1986)

3.0 METODOLOGIA

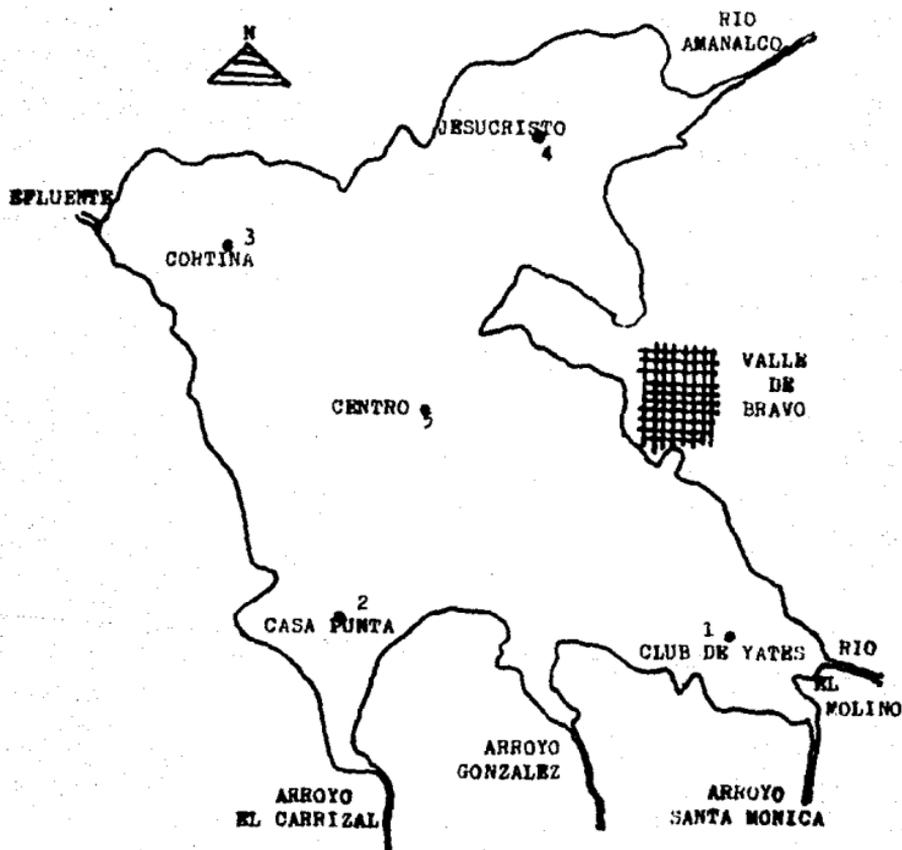
Con base en un reconocimiento del área de estudio se establecieron 5 estaciones de muestreo de acuerdo a los criterios de morfología, profundidad y afluentes del embalse (fig. 2). El muestreo se realizó mensualmente de febrero a noviembre de 1987, excepto en julio y septiembre que fue quincenal para considerar los cambios en la época de lluvias.

3.1 Muestreo y Análisis Físico-Químico del Agua.

En campo, se midió la transparencia o profundidad de visión del disco de Secchi en cada estación de muestreo.

Con el propósito de muestrear la columna de agua donde es posible la productividad primaria, se obtuvieron muestras de agua para el análisis de clorofila a por el método de columna propuesto por Castagnino (op. cit.), el que consiste en sumergir de manera vertical, una manguera de hule transparente y graduada de 2 pulgadas de diámetro con un lastre en el extremo inferior, desde la superficie hasta una profundidad correspondiente al doble de la profundidad de visión del disco de Secchi, una vez sumergida la manguera se cierra el orificio superior con un tapón de hule para evitar que el agua se escape por el orificio inferior, enseguida se extrae

Figura 2 Afluentes y localización de las estaciones de muestreo en la presa Valle de Bravo, Méx.1987



la manguera y vierte su contenido en una botella de plástico. Para cada estación se colectó un litro de agua al que se le agregó enseguida cinco gotas de $MgCO_3$ para evitar su acidificación, las muestras se agitaron y mantuvieron en hielo para su transporte y análisis posterior en el laboratorio.

De igual forma en cada estación se obtuvieron muestras de 3 litros de agua para el análisis de fósforo total, nitrógeno orgánico, pH, conductividad, dureza, alcalinidad y sólidos suspendidos fijos de acuerdo a los métodos estandar propuestos por la APHA (op. cit.).

Finalmente desde la superficie y a cada 2 metros hasta 0.5 metros de la profundidad total, se obtuvieron muestras de agua para las mediciones de temperatura con un termómetro integrado a la botella Van Dorn y de oxígeno disuelto con la botella muestreadora Winkler. La concentración de oxígeno se determinó en el laboratorio con la técnica de Winkler modificado (APHA, op. cit.).

3.2 Determinación de Clorofila a .

En el laboratorio se estimó la concentración de clorofila a siguiendo el método de Lorenzen (op. cit.), filtrando 500 ml de agua de cada muestra a través de membranas de 0.45 μ m.

cras de amplitud de poro en un equipo de filtración mili -
pore para concentrar los pigmentos. Cuando por cuestión de
tiempo no era posible extraer el pigmento inmediatamente despu
es de su concentración, los filtros se mantenían en congel
ación para continuar su análisis al día siguiente.

La extracción del pigmento se realizó con 10 ml de aceton
a al 90 % en los tubos de centrifuga que contenían el filt
ro, triturandolo hasta lograr su disolución total, enseguid
a se agitaban para homogenizar el extracto y se mantenían
en reposo en la oscuridad durante una hora, a los 30 minutos
intermedios se agitaba nuevamente para resuspender los precip
itados.

Los extractos se centrifugaron durante 15 minutos a 2500
r.p.m., decantando el sobrenadante de acetona de color verde
en celdas para su lectura en el espectrofotómetro marca Perrk
in-Elmer modelo Coleman 35. Para cada muestra se efectuaron
lecturas a 665 nm y 750 nm de absorbancia, esta última longit
ud se consideró con el objeto de corregir la presencia de
turbiedad en el extracto, restando sus valores a los valores
de 665 nm de las muestras correspondientes. Debido a que la
absorbancia de clorofila a a 665 nm incluye la absorbancia
de feofitina a como producto común de su degradación, esta
fuente de error se corrigió adicionando 2 gotas de HCl 1N

en la celda que contenía el extracto verde de acetona, para permitir la acidificación total. Después de 1 minuto se realizó una segunda lectura considerando las mismas longitudes de onda, determinando de esta forma las absorbancias por feofitina a. De acuerdo con Brower y Zar (op. cit.) el tratamiento con ácido remueve el magnesio del anillo de porfirina de la molécula de clorofila a por lo que su absorbancia no es mayor a 665 nm.

Para obtener la cantidad de pigmento por unidad de volumen de la muestra, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } \underline{a} \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{A \times 2.43 (665_0 - 665_a) \times V}{V_f \times l}$$

$$\text{Fepigmentos (mg/m}^3\text{)} = \frac{A \times 2.43 (1.7 \ 665_a - 665_0) \times V}{V_f \times l}$$

donde:

A = 11.0 coeficiente de absorción de la clorofila a

665₀ = absorbancia antes de la acidificación.

665_a = absorbancia después de la acidificación.

V = volumen de acetona usado para la extracción.

V_f = litros de agua filtrada.

l = medida de la celda (cm).

Una vez obtenido el valor de la concentración de clorofila a para cada muestra, ambos se sumaron algebraicamente a fin de determinar la concentración real de clorofila a.

3.3 Determinación de la Productividad Primaria.

Los valores de productividad primaria neta se obtuvieron mediante la ecuación de Ryther y Yentsch (op. cit.):

$$P = \frac{R}{K} \times C \times 3.7$$

donde:

P= Índice fotosintético de fitoplancton (gramos de carbono fijado por metro cuadrado al día).

R= Índice relativo de fotosíntesis para la cantidad de luz recibida.

K= Coeficiente de extinción de la luz.

C= Gramos de clorofila a por metro cúbico de agua.

La constante 3.7 fue determinada experimentalmente por Ryther y Yentsch (op. cit.), indica que durante la fotosínte -

sis se fijan 3.7 gramos de carbono por cada gramo de clorofila en 1 hora, bajo condiciones de saturación de luz.

El valor de R se obtuvo a partir de la figura No.3 (Tomada de Ryther y Yentsch, op. cit.) que consideran a la línea punteada como la fotosíntesis relativa total que equivale a la fotosíntesis medida a cada intensidad de luz, dividida entre la fotosíntesis máxima por cada metro de profundidad a partir de la superficie del mar para diferentes valores de radiación total diaria incidente en la superficie marina. Esta curva teórica considera su aplicación únicamente para un plancton hipotético en el que la población permanece constante, es decir homogénea con respecto al tiempo y a la profundidad dentro de la zona fótica.

Las líneas continuas representan la fotosíntesis relativa a saturación de luz en la superficie marina (I_0), y a profundidades donde la intensidad de luz superficial se reduce a 1 %, 10 %, 25 %, y 50 % respectivamente.

Los valores de la fotosíntesis relativa se pueden expresar en metros cuadrados o en metros cúbicos por día de acuerdo con las escalas que presenta esta figura.

Los valores de radiación solar se obtuvieron de acuerdo con Almanza y López (1975), mediante un estudio que realizaron en la República Mexicana, en el cual para estimar la ra-

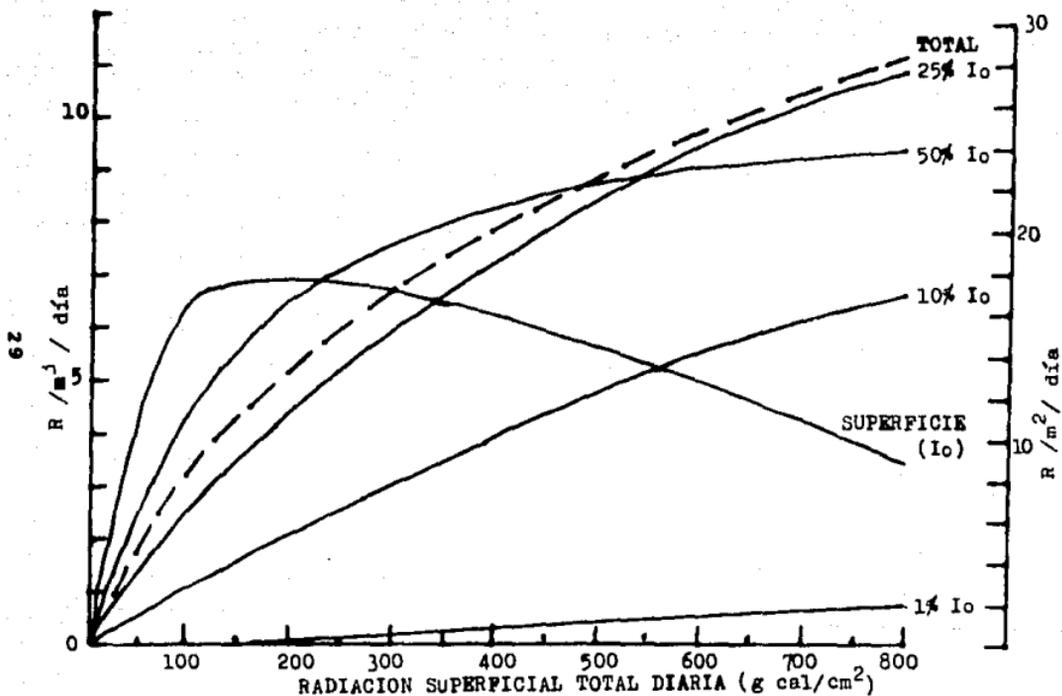


Figura 3 Relación entre la radiación superficial total diaria y la fotosíntesis relativa diaria (R) por unidad de superficie marina (línea punteada) y a la profundidad donde la intensidad de luz superficial se reduce en cantidades específicas (líneas continuas). (Tomada de Nyther y Yentsch, 1957)

diación total utilizaron el método empírico desarrollado por Jeevananda (1971, citado por Almanza y López, op. cit.), en el que además de incluir datos de horas de insolación, también tomaron en cuenta algunos parámetros meteorológicos como número de días lluviosos durante el mes y humedad media por día en el mes.

Mediante el procesamiento de estos datos obtuvieron una serie de 12 mapas mensuales utilizados en este estudio y uno anual de radiación solar total sobre una superficie horizontal (fig.4), en el que trazaron las líneas de radiación constante en intervalos de 50 langleyes por día ($ly = \text{cal/cm}^2$), para isolíneas con valores menores de 500 ly/día, y en intervalos de 100 ly/día para las mayores de 500ly/día. Del ma pa anual dedujeron que aproximadamente el 70 % del territorio nacional recibe mas de 400 ly/día en el año.

Ahora bien, en el presente estudio se hicieron coincidir los valores de radiación solar mensual para el Estado de México con la curva punteada de la figura 3 y utilizando la es cala del lado izquierdo de esta figura se obtuvieron los valores del índice relativo de fotosíntesis (R).

De acuerdo a Margalef (1976) el valor de K se puede obtener a partir de la expresión $K = 1.7/D_m$ utilizada para lagos templados donde: D_m es la profundidad de visión del disco de

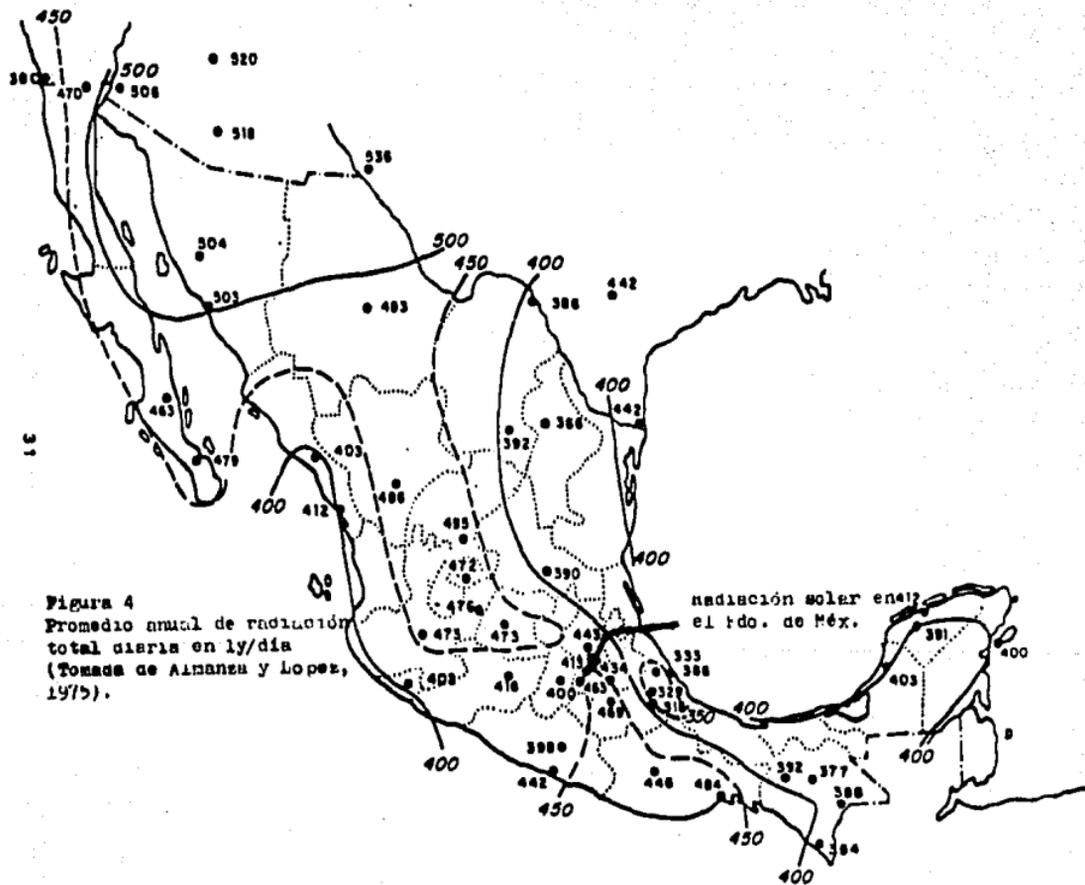


Figura 4
 Promedio anual de radiación
 total aerea en l/h/día
 (Tomada de Almanza y Lopez,
 1975).

radiación solar en l/h
 el tdo. de Méx.

Secchi. Este valor representa el espesor del agua a través del cual la intensidad de luz se reduce a un 10 % de la luz incidente en la superficie del agua.

Margalef (op. cit.), sugiere que si se acepta esta relación, y partiendo de la ecuación de Lambert para calcular la intensidad de luz I_z a una profundidad z :

$$I_z = I_0 e^{-KZ}$$

donde:

I_0 es la intensidad de luz en la superficie.

K es el coeficiente de extinción en función de la longitud de onda. Entonces considerando lo anterior y sustituyendo en la ecuación de Lambert el valor de $K = 1.7/D_m$ y $Z = D_m$:

$$I = I_0 e^{-1.7/D_m \cdot D_m}$$

$$\ln I = \ln I_0 - 1.7/D_m \cdot D_m$$

$$0 = 2.3 - 1.7$$

$$1.7 = 2.3$$

Lo anterior sugiere que una buena estima de K podría ser $K = 2.3/Dm$ lo cual significa que a la profundidad del disco de Secchi se tiene el 10 % de la luz de la superficie, y a dos veces dicha profundidad el 1 % de luz. De acuerdo con Margalef (op. cit.) estos valores son útiles para estimar el espesor de la capa fótica donde es posible la producción primaria y que sería aproximadamente el doble de la profundidad de visión del disco de Secchi, los valores de producción primaria a mayor profundidad arrojan resultados nulos o negativos por un exceso de respiración o de fijación heterotrófica de CO_2 .

4.0 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis Físico-Químico del Agua.

En la tabla 1 se presenta el promedio anual de cada uno de los parámetros físicoquímicos registrados por estación de muestreo, donde se observa que los valores de temperatura superficial del agua no variaron significativamente para las cinco estaciones durante todo el año, siendo el promedio anual de 22.68 °C.

En la estación 3 situada cerca del efluente se registró el valor más alto de transparencia con 2.10 m, en la estación 2 que se localiza por la desembocadura del arroyo el Carrisal se observó un ligero descenso en la transparencia a 1.94 m así como también en la estación 5 situada al centro con 1.90 m, el mínimo valor de transparencia se registró en la estación 4 con 1.74 m.

La concentración más baja de oxígeno disuelto se registró en la estación 3 con 6.40 mg/l y el valor más alto en la estación 5 con 7.6 mg/l .

Con respecto al pH el valor más alto se registró en la estación 4 donde fue de 7.6, los valores más bajos se registraron en la estación 3 con un pH de 7.10 y en la estación 5 con un pH de 6.50 .

Tabla 1 Promedio anual del análisis fisicoquímico por estación de muestreo en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987

NUM	ESTACION	TEMP. AGUA (°C)	TRANSPARENCIA Secchi	O. D. mg/l	pH	P-TOTAL mg/l	N-ORG mg/l	CONDUCTIVIDAD (µmhos/cm)	DUREZA CaCO3 mg/l	ALCALINIDAD mg/l	SSF mg/l
1	CLUB DE YATES	22.40	1.82	7.40	7.30	<.01	.52	138	67	70	13
2	CASA PUNTA	22.50	1.94	7.30	7.30	<.01	.53	137	65	61	6
3	CORTINA	22.70	2.10	6.40	7.10	<.01	.47	140	64	67	12
4	JESUCRISTO	22.80	1.74	7.20	7.60	<.01	.41	139	63	65	15
5	CENTRO	23.00	1.90	7.60	6.50	<.01	.32	142	65	66	7
PROMEDIO ANUAL		22.68	1.90	7.18	7.16	<.01	.45	139	64	66	11

El fósforo total se mantuvo homogéneo durante el año con valores menores de 0.01 mg/l.

Las concentraciones más altas de nitrógeno orgánico se registraron en la estación 2 con 0.53 mg/l y en la estación 1 con 0.52 mg/l, a diferencia de estos valores en la estación 5 la concentración de nitrógeno orgánico descendió a 32 mg/l.

El valor más bajo de conductividad se registró en la estación 2 con 137 μ mhos/cm y fue ligeramente más alto en la estación 3 con 140 μ mhos/cm.

En la dureza del agua no se registraron diferencias significativas para las cinco estaciones durante el año, el promedio anual fue de 64 mg/l de CaCO_3 .

En la estación 1 situada por la desembocadura del río el Molino y el arroyo Santa Mónica se registró el valor más alto de alcalinidad con 70 mg/l, en la estación 2 se registró el valor más bajo de alcalinidad con 61 mg/l, y en las estaciones 3, 4 y 5 el promedio anual de alcalinidad fue de 66 mg/l.

Las concentraciones más altas de sólidos suspendidos finos se registraron en la estación 4 con 15 mg/l, en la estación 1 con 13 mg/l y en la estación 3 con 12 mg/l, los valores más bajos se presentaron en la estación 5 con 7 mg/l y en la estación 2 con 6 mg/l.

Las diferencias observadas en los parámetros fisicoquímicos se debieron principalmente al aporte de materia orgánica, nutrientes y sales minerales que recibe el embalse de sus distintos tributarios, de los cuales el río Amanalco es el de mayor aportación con 90 millones de metros cúbicos al año de acuerdo con la C.A.V.M. (op. cit.).

Por otra parte a excepción de las concentraciones de sólidos suspendidos fijos y de oxígeno disuelto, se observó que entre la estación 3 (cortina) y 5 (centro) los parámetros fisicoquímicos presentaron un comportamiento similar lo cual se debió en gran parte a que a medida que las corrientes de agua fluyen en dirección de la cortina, se van depositando y disolviendo la materia orgánica, nutrientes y contaminantes que aportan los ríos y arroyos al embalse.

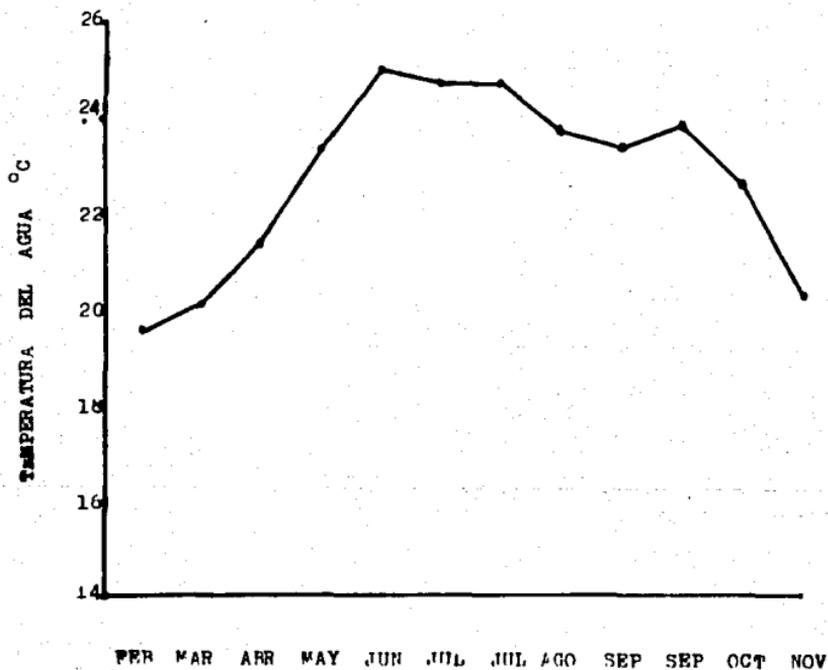
El promedio mensual de los parámetros fisicoquímicos registrados en las cinco estaciones del embalse se muestran en la tabla 2.

La temperatura superficial del agua (fig.5) varió estacionalmente es decir, en los meses cálidos se incrementó alcanzando su valor máximo en junio con 25 °C, posteriormente fue disminuyendo y en la época fría del año descendió a 20.3 °C en el mes de noviembre; en cuanto a su distribución vertical (fig.6) se observa que durante marzo se inició la estratifi-

Tabla 2 Promedio mensual de los parámetros fisicoquímicos registrados en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987

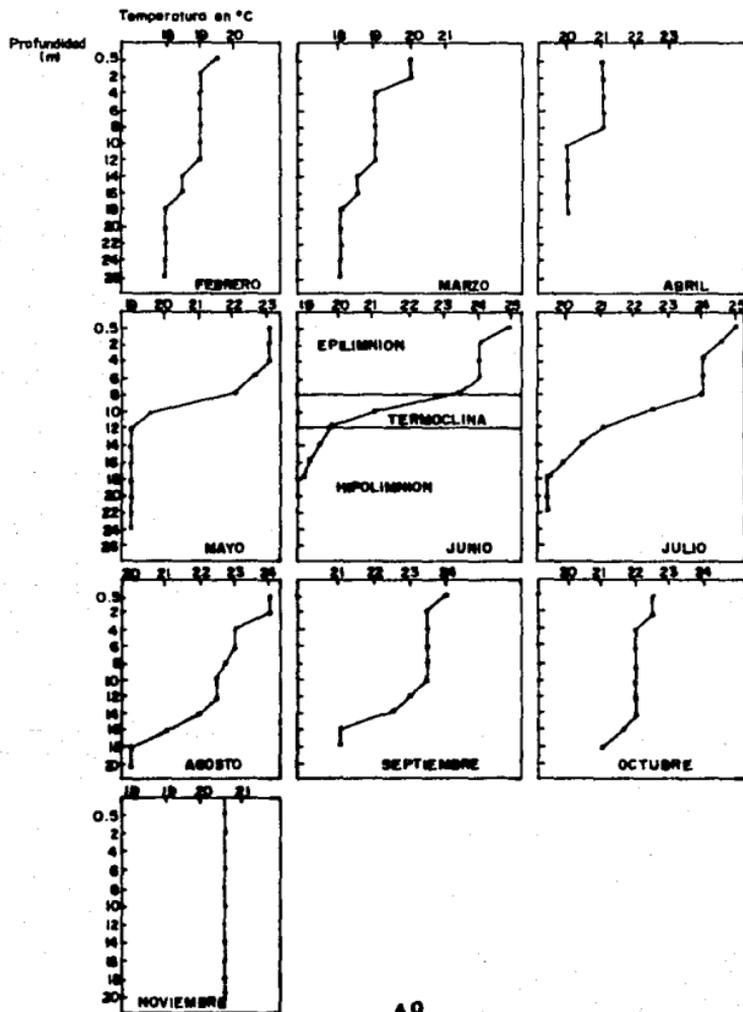
MES	TEMP. °C	O. D. mg/l	TRANSPA- RENCIA m	pH	P-TOTAL mg/l	N-ORG mg/l	CONDUCTI- VIDAD µmhos/cm	DUREZA mg/l	ALCALINI- DAD mg/l	SSF mg/l
FEB	19.60	8.44	2.42	7.70	<.01	.65	121.60	80.40	66.40	2.20
MAR	20.10	6.86	2.13	7.90	<.01	.22	150.00	77.20	72.40	2.40
ABR	21.40	5.24	2.25	7.70	<.01	.33	125.60	79.80	66.00	2.60
MAY	23.40	7.58	1.96	7.70	<.01	.95	141.10	74.40	79.20	26.00
JUN	25.00	7.52	1.84	8.00	<.01	.34	149.60	70.20	65.60	21.20
JUL	24.80	6.38	1.50	7.90	<.01	.64	171.80	71.60	73.20	4.60
JUL	24.80	7.26	1.56	8.00	<.01	.37	144.00	70.80	67.60	10.00
AGO	23.80	6.34	1.70	7.80	<.01	.45	139.60	41.80	62.00	15.00
SEP	23.40	6.86	1.61	7.80	<.01	.23	137.20	44.00	62.20	7.20
SEP	23.90	6.76	1.38	8.00	<.01	.19	135.20	50.80	64.00	4.00
OCT	22.70	6.60	2.07	7.50	<.01	.83	134.00	51.00	64.20	7.80
NOV	20.30	5.60	2.37	7.60	<.01	.42	139.00	52.00	67.80	2.60

Figura 5 Variación de la temperatura superficial del agua en la presa Valle de Bravo, Méx. 1967



MES

Figura 6.-PERFILES DE TEMPERATURA PARA LA PRESA VALLE DE BRAVO, MEX



cación térmica en la columna de agua y continuó su formación paulatinamente en los meses subsecuentes hasta junio cuando se presentó una clara estratificación térmica en el embalse, la parte superior mas caliente del lago o epilimnion (24 a 25 °C) es aislada temporalmente del agua subyacente mas fría (19 °C) o hipolimnion por una zona de transición en la que ocurrió un descenso brusco de temperatura (termoclina), esta zona funciona como una barrera para el intercambio de materiales debido a que el agua del epilimnion por ser menos densa no se mezcla fácilmente con el agua del hipolimnion que es mas fría y mas densa, consecuentemente el intercambio de gases y nutrimentos entre el hipolimnion y epilimnion fue en caso durante este mes, lo cual como se verá mas adelante influyó negativamente sobre la productividad primaria. En julio se observó todavía una ligera estratificación térmica, en cambio en agosto el rompimiento de la estratificación fue más notable hasta el mes de noviembre en donde se observa que la temperatura se homogenizó en toda la columna de agua aproximadamente entre los 20 y 21 °C.

El comportamiento anterior denota la presencia de un periodo de circulación vertical durante los meses fríos del año (noviembre a febrero), ocasionado por la formación de corrientes de circulación interna que a su vez propiciaron el

rompimiento de la estratificación térmica; por lo anterior el embalse se clasificó como un lago cálido monomictico de acuerdo al comportamiento descrito por Hutchinson (op. cit.) y a los tipos de estratificación y circulación según su ubicación geográfica descritos por Limón (1982).

La concentración superficial de oxígeno disuelto (fig. 7) disminuyó en los primeros meses de muestreo, a excepción del mes de febrero donde se registró la concentración mas alta de oxígeno disuelto (8.44 mg/l), probablemente debido al oleaje ocasionado por el viento que generalmente actúa con mayor intensidad en esta época del año posteriormente, a partir de mayo y el resto del año la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo en un intervalo no muy amplio de 6.3 a 7.5 mg/l, disminuyendo nuevamente a 5.6 mg/l.

En la distribución vertical de oxígeno disuelto (fig. 8) se observa que en febrero la concentración de oxígeno disuelto disminuyó aproximadamente dos unidades en la columna de agua, de 8.8 mg/l a los 0.5 m de profundidad a 7 mg/l a los 18 m de profundidad en cambio, en el verano el oxígeno disuelto se estratificó formando una oxiclina entre los 8 y 12 metros de profundidad en el mes de junio, coincidiendo además con la formación de la termoclina.

Figura 7 Variación de la concentración de oxígeno disuelto en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987

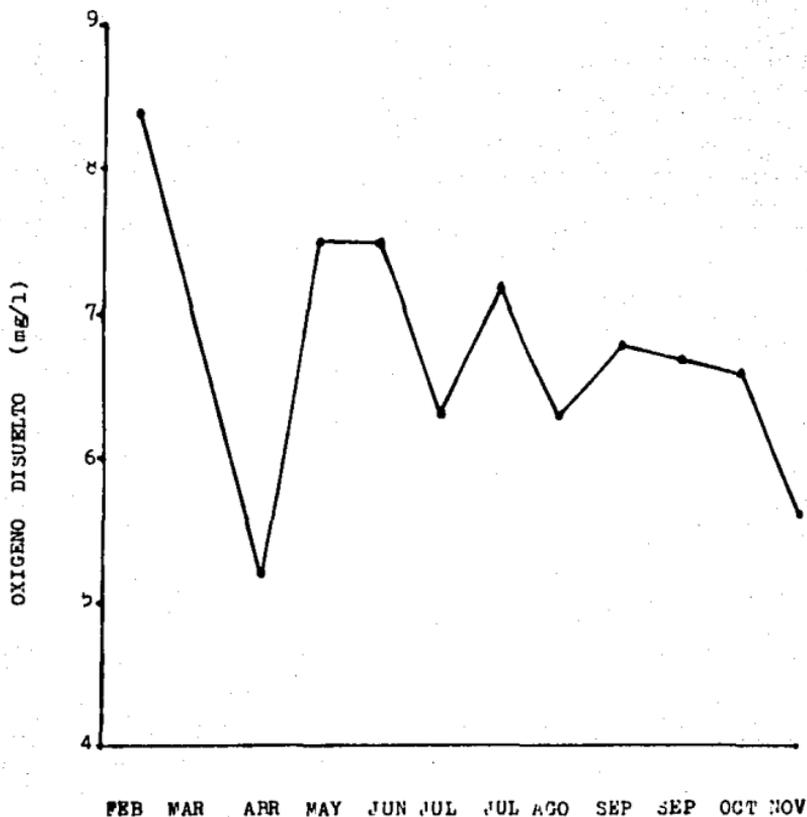
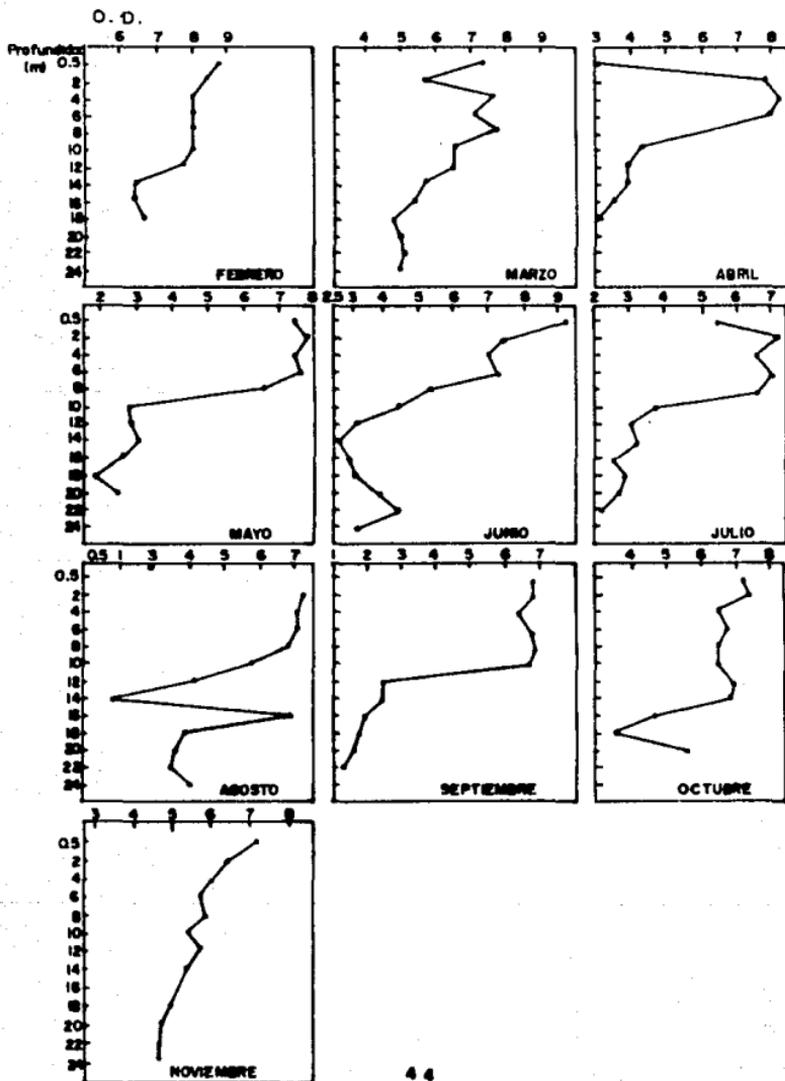


Figura 8 - PERFIL DE OXIGENO DISUELTO PARA LA PRESA VALLE DE BRAVO, MEX.

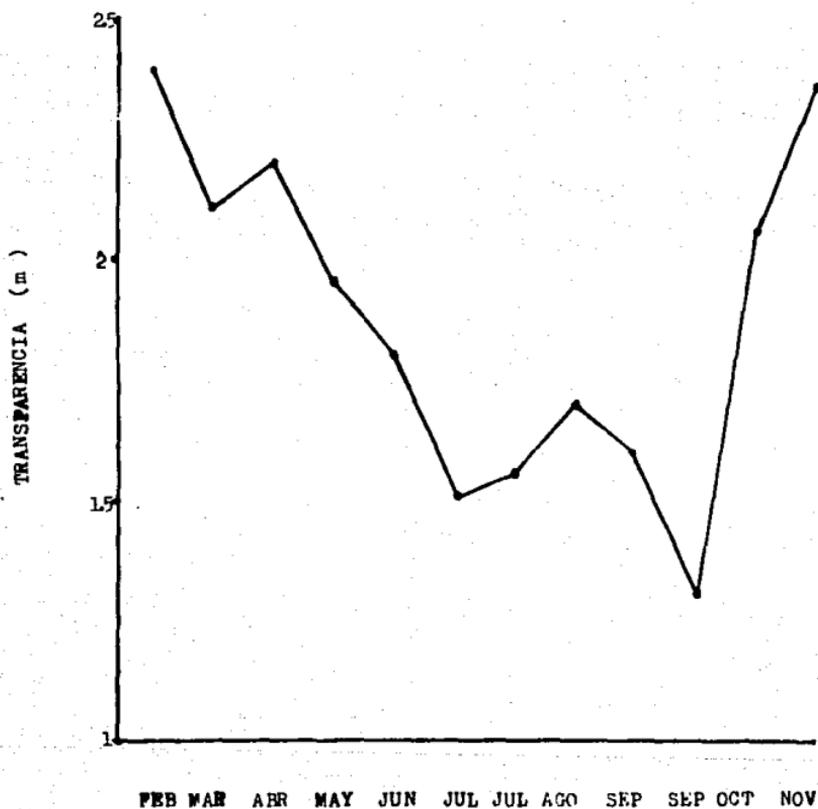


La disminución de oxígeno disuelto de acuerdo a la profundidad es resultado de la oxidación de materia orgánica que llega a las profundidades del embalse principalmente por el arrastre de materiales durante la época de lluvias, por lo que el oxígeno del fondo disminuyó de 5.1 mg/l en marzo a 1.3 mg/l en septiembre, sin llegar a la anoxia, posteriormente durante el otoño a medida que se rompió la estratificación térmica el embalse fue recuperándose por aumento gradual de sus concentraciones de oxígeno disuelto.

En abril el aumento en la concentración de oxígeno disuelto entre los 2 y 6 metros de profundidad hasta 8.5 mg/l probablemente se debió a que la radiación solar fue muy intensa e inhibió la actividad fotosintética de las algas en la superficie del agua, en cambio entre los 2 y 6 metros de profundidad en donde la intensidad de luz es menor, se favoreció la fotosíntesis y consecuentemente la producción de oxígeno. El aumento brusco en la concentración de oxígeno disuelto en el mes de agosto a los 16 metros de profundidad con 7 mg/l tal vez se debió al rompimiento de la estratificación térmica que presentó el embalse durante esta época.

Los valores de transparencia del agua (fig. 9) estuvieron estrechamente relacionados con el periodo de lluvias en el embalse, que de acuerdo con Chávez (1986) comprende los me -

Figura 9 Distribución mensual de la transparencia durante 1987 en la presa Valle de Bravo, Méx.



MES

ses de mayo a octubre.

Es probable que la disminución de la transparencia esté determinada hasta cierto punto por la densidad planctónica, pero principalmente se debió a que el embalse se encuentra dentro de una cuenca endorreica por lo que en la época de lluvia recibió fácilmente el aporte de materiales como limo y arcilla que son arrastrados por la lluvia al erosionar el suelo, además también influyó el aporte de materia orgánica contenida en las aguas residuales provenientes del poblado por los arroyos. Al permanecer la mayoría de estos materiales en suspensión enturbiaron el agua y atenuaron la penetración de la luz solar a las capas de agua más profundas del embalse.

El embalse presentó en sus alrededores y principalmente en la desembocadura de sus tributarios, invasión por lirio acuático el cual obstaculiza la penetración de la luz y disminuye el área de actividad fotosintética de las algas, ocasionando un efecto negativo sobre la productividad primaria. Aunque de acuerdo con Olvera (1988) por las propiedades de absorción que presenta el lirio acuático, su presencia se puede considerar como un sistema de tratamiento natural que atenúa en cierta medida la concentración de nutrimentos y contaminantes en el embalse.

En la figura 10 se observa que el pH tendió a ser básico, fluctuando entre 7.5 y 8, estos valores indican características de un medio donde predominan los bicarbonatos disueltos, pues a pesar de que la cuenca actualmente se encuentra mezclada con materiales volcánicos de cualquier forma su origen cárstico le confiere un cierto poder amortiguador que actúa durante todo el año.

Durante el periodo de muestreo el fósforo total se registró en cantidades insignificantes menores de 0.01 mg/l, este comportamiento puede interpretarse como un proceso en el que conforme el fósforo es regenerado por los organismos desintegradores es rápidamente asimilado por los vegetales, por esta razón se consideró que el fósforo es también un factor limitante de la productividad primaria en el embalse.

Las cantidades de nitrógeno orgánico se registraron en valores menores a 1 mg/l, (fig. 11), debido a su rápida asimilación como resultado de la intensa actividad biológica, por lo que al igual que el fósforo, se le consideró como un factor limitante en la productividad del embalse.

Como se sabe, el fósforo y el nitrógeno en exceso son los principales nutrimentos causantes de la eutroficación de las aguas, en este caso, a pesar de que ambos nutrimentos se registraron en cantidades bajas debido a su rápida asimila-

Figura 10 Variación mensual del pH en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987

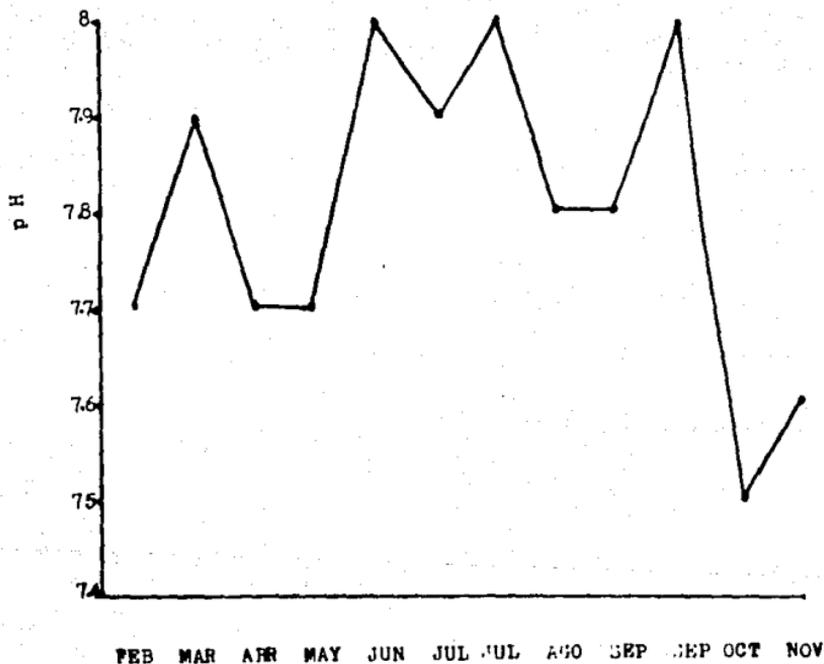
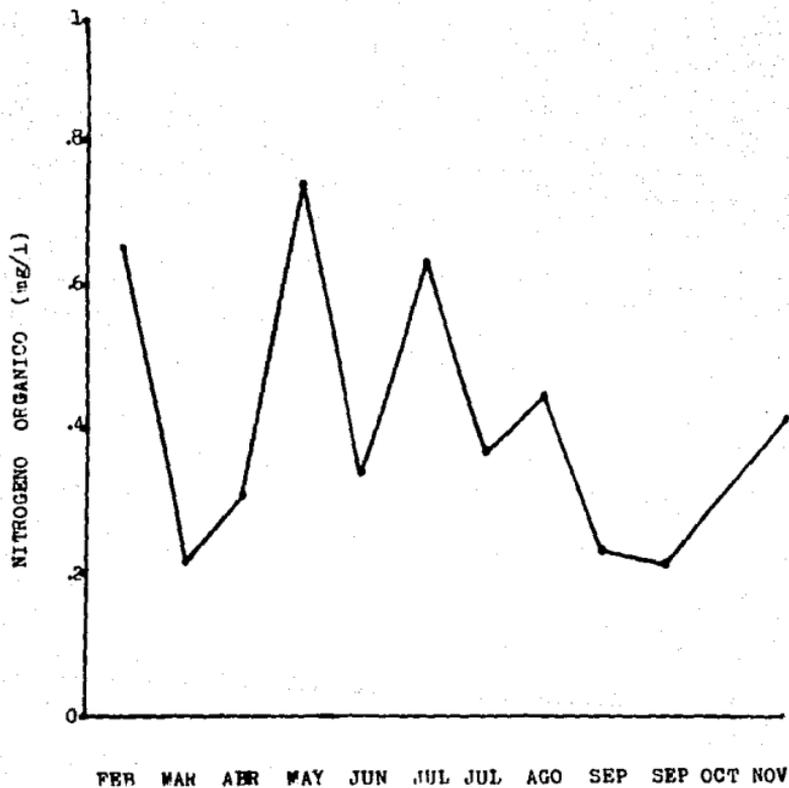


Figura 11 Variación mensual del nitrógeno orgánico en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987



MES

lación biológica, también es necesario considerar que de acuerdo al estudio realizado por Olvera (op. cit.) el vertimiento de aguas residuales provenientes del poblado enriquece el agua con nutrimentos y sustancias contaminantes que aceleran el proceso de eutroficación del embalse.

La conductividad es un parámetro indicador de las concentraciones de minerales disueltos en el agua debido a la capacidad de los iones para conducir la corriente eléctrica; en este caso, los valores registrados en el embalse fluctuaron entre 121 y 171 $\mu\text{mhos/cm}$ (fig. 12) lo cual nos indica que la concentración de minerales disueltos en el agua es adecuada para la conservación de la vida acuática, de acuerdo al criterio establecido por la Environmental Protection Agency (EPA, 1972).

Durante el año, los valores de dureza total oscilaron entre los 40 y 80 mg/l de CaCO_3 (fig. 13), este parámetro representa la concentración de metales alcalino-térreos originados en depósitos calcáreos, como es el caso de Valle de Bravo, coincidiendo con el intervalo 40 < 80 propuesto por Nisbet y Verneau en 1970 (citado por Arrignon, 1979) en su escala de clasificación que corresponde a aguas poco duras.

Los valores de alcalinidad (fig. 14) presentaron variaciones entre 62 y 79 mg/l de CaCO_3 , puesto que la alcalinidad

Figura 12 Variación mensual de la conductividad en la presa Valle de Bravo, Méx. 1967

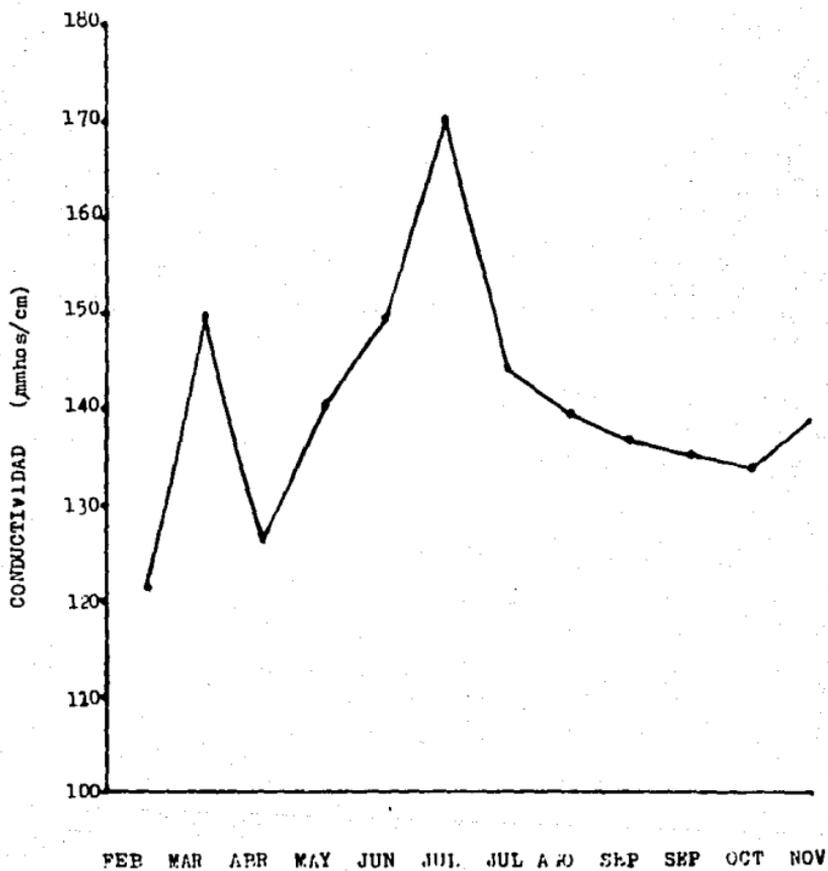
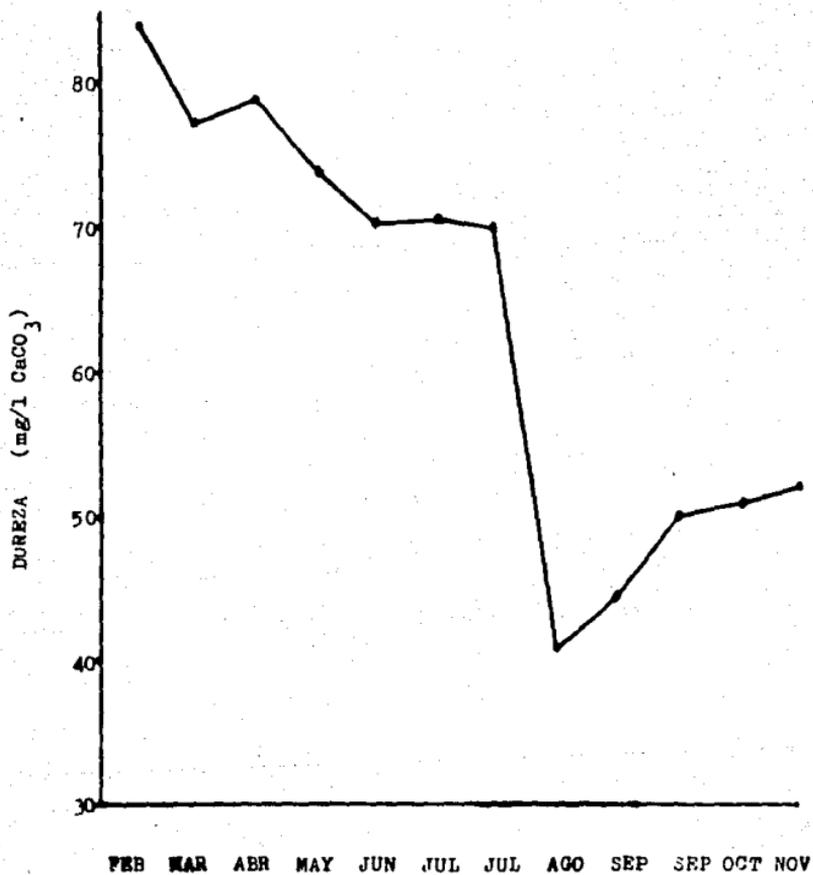
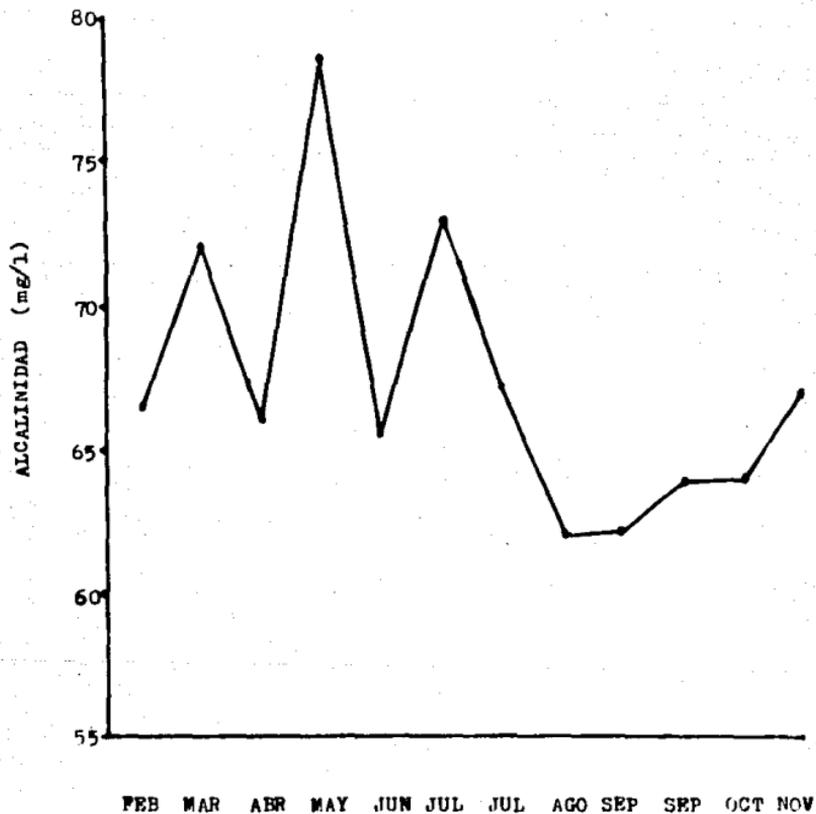


Figura 13 Variación mensual de la dureza durante 1987 en la presa Valle de Bravo, Méx.



MES

Figura 14 Variación mensual de la alcalinidad durante 1987 en la presa Valle de Bravo, Méx.



MES

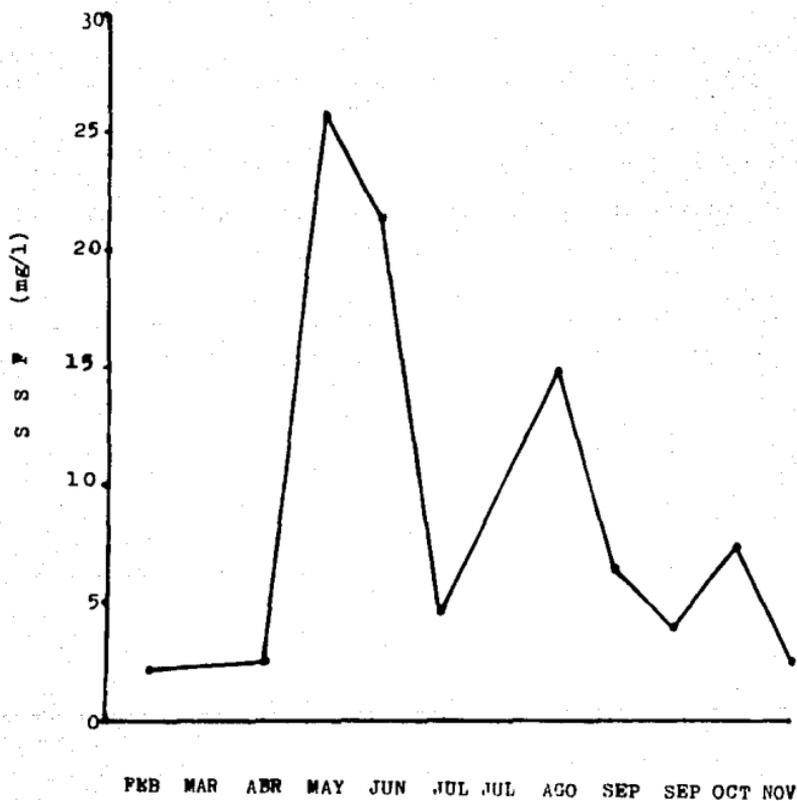
está relacionada con el pH, probablemente los valores registrados dependieron principalmente de la presencia de bicarbonatos en el medio.

En los sólidos suspendidos fijos (fig. 15) se registraron valores muy pequeños en los tres primeros muestreos (febrero, marzo y abril) con un promedio de 2.4 mg/l. Posteriormente en mayo se registró un ascenso muy notable en la concentración de sólidos suspendidos fijos con 26 mg/l, en los meses siguientes se obtuvieron valores paulatinamente más bajos hasta descender a 2.6 mg/l en noviembre. El comportamiento mensual de la concentración de sólidos suspendidos fijos en el embalse probablemente estuvo determinado por la estratificación térmica.

4.2 Análisis de Clorofila a.

La tabla 3 contiene los valores promedio mensuales de las lecturas a 665 nm para clorofila a y 750 nm (blanco de turbidez), sin HCl, con HCl, y sus respectivos valores de lecturas corregidas, así como también las concentraciones de clorofila a y feofitina a obtenidas mensualmente mediante el método de Lorenzen (op. cit.).

Figura 15 Concentración mensual de sólidos suspendidos fijos durante 1987 en la presa Valle de Bravo, Méx.



MES

Tabla 3 Lecturas obtenidas mensualmente para determinar la concentración real de clo-rofila μ (#2) en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987.

MES	SIN HCL		LEC. CORR.	CON HCL		LEC. CORR.	[CL μ] #1 mg/m	[FEOF. μ] mg/m	[CL μ] #2 mg/m
	650nm	750nm		750nm	650nm				
FEB	.29	.21	.08	.48	.60	.12	-25.02	70.88	45.86
MAR	.44	.37	.06	.79	.87	.08	-6.41	35.23	28.81
ABR	.29	.24	.05	.40	.49	.08	-16.23	44.39	28.14
MAY	.39	.31	.08	.82	.91	.09	.07	38.66	34.28
JUN	.31	.22	.09	.61	.68	.08	9.76	18.50	28.26
JUL	.49	.40	.07	.70	.79	.08	-25.67	36.42	10.75
JUL	.40	.33	.07	.73	.72	.03	21.38	-11.80	9.58
AGO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEP	.40	.33	.07	.73	.79	.06	5.35	16.96	22.30
SEP	.54	.46	.07	.82	.89	.07	-1.11	27.28	27.17
OCT	.35	.26	.08	.58	.68	.10	-15.66	44.57	28.91
NOV	.64	.50	.14	.75	.84	.09	9.62	38.17	47.79

#1 Sin corrección con feofitina μ

#2 Con corrección con feofitina μ

Los valores de clorofila a obtenidos en la primera determinación es decir sin considerar la concentración de feofitina a (x1) no fueron realmente representativos debido a que se obtuvieron valores negativos muy elevados desde -25.02 mg/m³ en febrero con respecto a los que son positivos pero relativamente bajos hasta 0.07 mg/m³ en mayo, a excepción del segundo muestreo de julio, los valores negativos registrados se pueden atribuir a que la feofitina a, pigmento resultante de la degradación de la clorofila a, absorbe la luz en la misma región del espectro que la clorofila a alterando consecuentemente su estimación; por lo tanto, en estas lecturas con valores positivos y negativos, lo que se registró en realidad fue simultáneamente la concentración de ambos pigmentos.

Los valores que representan exclusivamente la concentración de feofitina a fueron mas elevados que los de clorofila a sin considerar a la feofitina a, y además positivos excepto el segundo muestreo de julio. Al sumar a los valores que representan la concentración de feofitina a con los valores que incluyen la concentración de ambos pigmentos, se obtuvieron concentraciones realmente representativas de clorofila a

(*2), las que indudablemente justifican la importancia del método de Lorenzen (op. cit.) al considerar y eliminar una importante fuente de error.

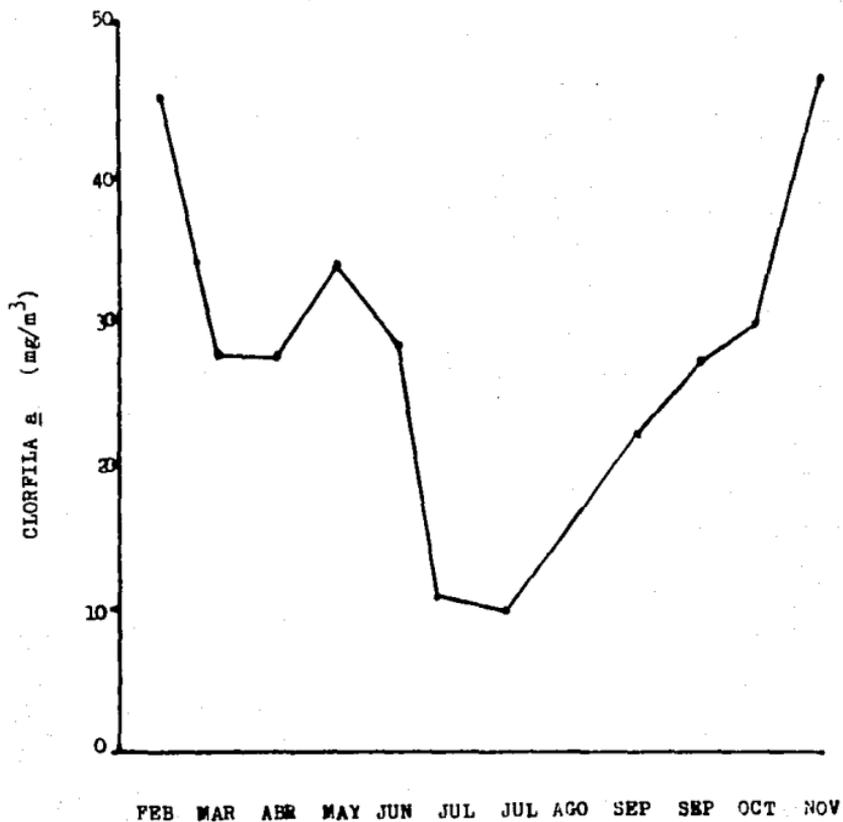
Los valores de concentración real de clorofila a oscilaron entre 9.58 y 47.7 mg/m³.

En la figura 16 se observa que durante el año los valores de concentración de clorofila a disminuyeron durante el periodo de precipitación en el embalse, el cual también influyó sobre la actividad fotosintética del fitoplancton, debido al aporte de sólidos al embalse, que al permanecer en suspensión atenuaron la penetración de la luz solar, que es factor indispensable para la fotosíntesis.

4.3 Análisis de la Productividad Primaria.

En la tabla No.4 se presenta la productividad primaria neta obtenida mediante la ecuación de Ryther y Yentsch (op. cit.) así como los parámetros básicos para determinarla. Se observa que durante el periodo de lluvia la transparencia disminuyó siendo su valor más bajo de 1.38 metros en el segundo muestreo de septiembre. De acuerdo a lo anterior, en este muestreo el valor del coeficiente de extinción aumentó

Figura 16 Comportamiento mensual de la clorofila a durante 1987 en la presa Valle de Bravo, Méx.



VES

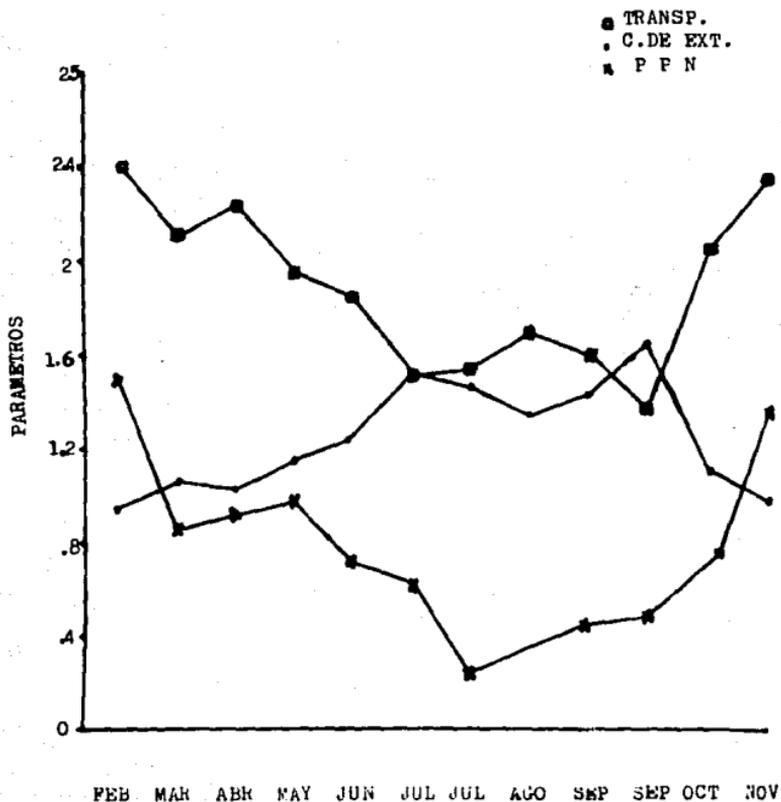
Tabla 4 Productividad Primaria Neta en la pros. Villa de Bravo, Mex. durante 1987 y los parámetros indispensables para determinarla mediante la ecuación de Ryther y Yentsch (1957).

MES	TRANSPAREN- CIA m	COEF. DE EXT.	RAD.SOL. Ly/día	FOT. REL.	[Chl _a] mg/m ³	PRODUCTIV. PRIM. NETA gC/m ² /día
FEB	2.42	.95	438	8.40	45.81	1498.70
MAR	2.13	1.08	481	8.80	28.81	868.60
ABR	2.25	1.02	496	9	26.14	918.70
MAY	1.96	1.17	505	9.10	34.28	936.50
JUN	1.84	1.25	451	8.50	28.25	710.80
JUL	1.50	1.53	440	8.45	30.28	618.80
JUL	1.56	1.47	440	8.45	12.58	267.60
AGO	1.70	1.35	440	8.45	-	-
SEP	1.61	1.43	421	8.20	22.30	473.10
SEP	1.38	1.67	421	8.20	27.17	493.60
OCT	2.07	1.11	395	7.90	28.91	761.30
NOV	2.37	.97	379	7.60	47.79	1385.40
PROM.	1.90	1.25	442	8.42	28.34	774.95

a 1.67 metros. En noviembre en ausencia del acarreo de sólidos por la lluvia, el coeficiente de extinción disminuyó considerablemente hasta 0.97 m. y en cambio, en este mes se registró la transparencia más elevada con 2.37 m. Este comportamiento se relacionó estrechamente con los valores de productividad primaria neta (fig. 17), los cuales al igual que lo que ocurrió con los valores de clorofila a, también disminuyeron durante el periodo de precipitación, mismo que a su vez influyó negativamente sobre la radiación solar. Es decir, a pesar de que la radiación solar disminuyó conforme transcurrió el año a partir de mayo (fig. 18), de acuerdo al rango de 0-800 ly/día de la figura 3 obtenida por Ryther y Yentsch (op. cit.) su intensidad fue adecuada debido a que se mantuvo en un nivel medio de 379 y 505 ly/día. Lo anterior, también se manifestó en el comportamiento de la fotosíntesis relativa (R) como se observa en la figura 19.

De acuerdo con Ryther (op. cit.), la fotosíntesis se incrementa linealmente en relación a la intensidad de luz, hasta llegar a un punto de saturación en el que ocurre una inhibición en la fotosíntesis, presentándose esta generalmente a partir de los 1000 ly/día. La inhibición fotosintética puede deberse principalmente a que el exceso de la energía solar que es absorbida por los pigmentos, no puede usar la vía nor

Figura 17 Comportamiento mensual de la productividad primaria neta en relación con la transpa - rencia y el coeficiente de extinción en la presa Valle de Bravo, Méx. 1987



MES

Figura 18 Variación anual de la radiación total diaria en el estado de México (Almanza y Lopez, 1975)

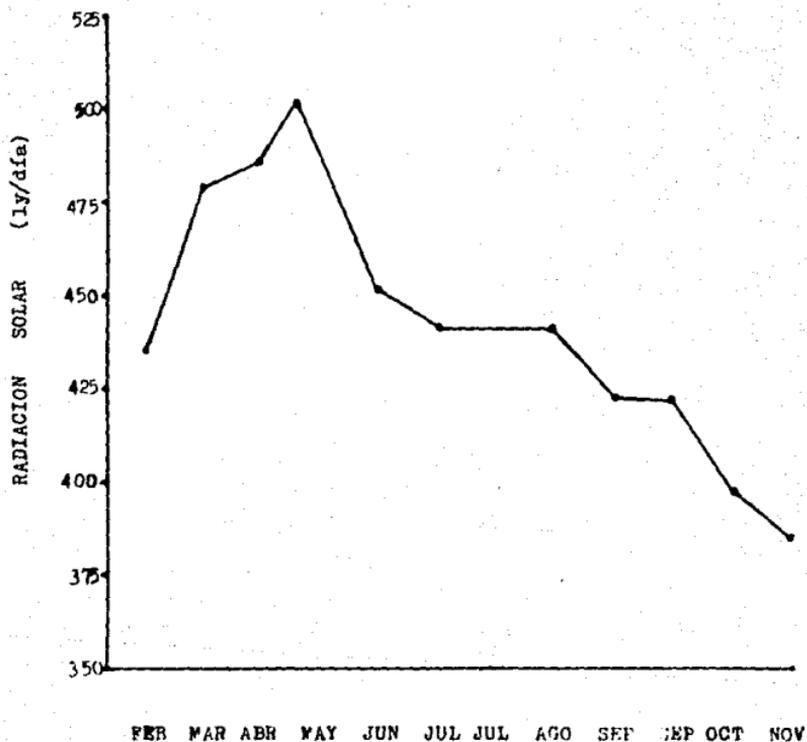
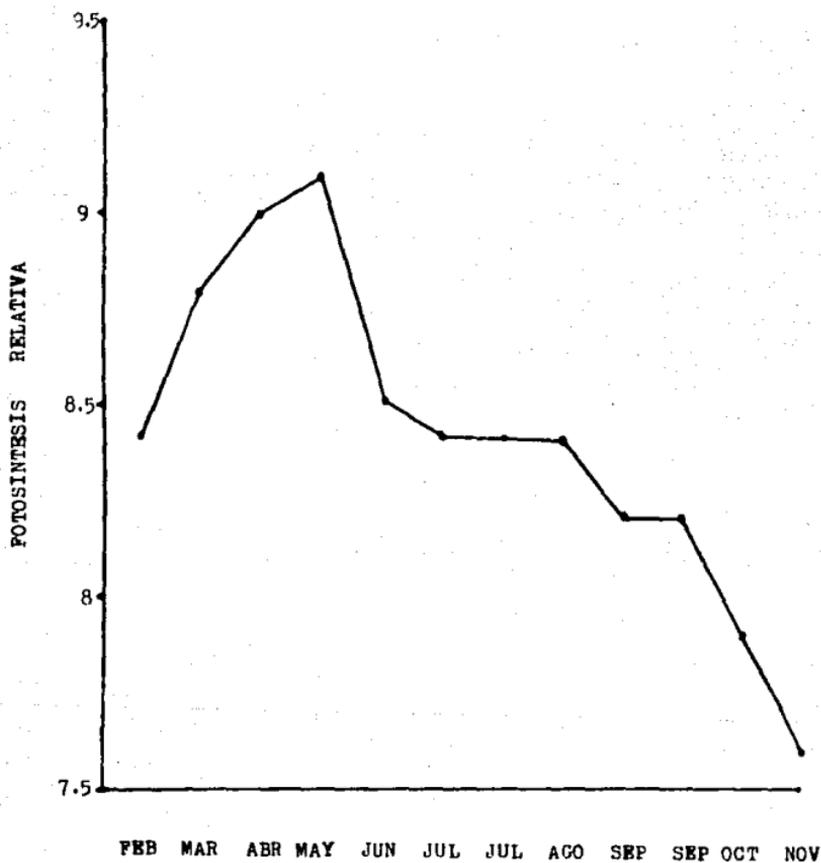


Figura 19 Fotosíntesis relativa mensual en el Estado de México de acuerdo al patron establecido por Ryther y Yentsch (1957).



MES

mal de los canales fotosintéticos, de tal manera que un sobreflujo altera las reacciones de fotooxidación.

Dadas las condiciones anteriores, es muy probable que en el embalse el fitoplancton no alcanzó el punto de saturación fotosintético puesto que la radiación solar como se mencionó anteriormente, se mantuvo en un nivel medio y por lo tanto la actividad fotosintética en el caso de que alcance su mayor intensidad, seguramente se realizó muy cerca de la superficie durante todo el año, incluso en los meses de mayor precipitación, cuando la actividad fotosintética disminuyó considerablemente lo cual se reflejó en los valores bajos de productividad primaria, probablemente el máximo porcentaje de fotosíntesis se presentó a nivel superficial.

Aunque este último contradice en cierta forma lo que se mencionó anteriormente con respecto a que en abril se registró un aumento en la concentración de oxígeno disuelto entre los 2 y 6 metros de profundidad probablemente debido a que la radiación solar fue intensa e inhibió la fotosíntesis en la superficie del agua.

Para discernir entre ambas posibilidades es necesario determinar la radiación solar que recibe directamente el embalse con un calibrador fotoeléctrico. Así como también conocer a que intensidad de luz alcanzan la saturación fotosintética

las diferentes especies de algas que habitan el embalse, principalmente las de mayor densidad.

Ahora bien, si se considera el hecho de que las lluvias aportan nutrimentos al embalse por el arrastre de materiales, estos no son asimilados mientras exista una turbiedad elevada que reduzca la penetración de la luz en la zona fótica, lo cual consecuentemente disminuyó la productividad primaria del embalse.

Por otra parte, el comportamiento de la productividad primaria neta a lo largo del año se atribuyó principalmente a la presencia de la estratificación térmica y al periodo de circulación vertical; es decir, como se observa en la tabla 4, en el mes de febrero se registró una productividad primaria neta de 1498.70 mg C/m²/día, en la figura 6 se observa que a medida que avanzó la estratificación térmica en junio cuando se ha formado la termoclina los valores de productividad primaria disminuyeron hasta 710.80 mg C/m²/día, posteriormente durante julio al iniciarse el rompimiento de la termoclina disminuyeron notablemente los valores de productividad a 219.67 y 203.75 mg C/m²/día; enseguida a medida que avanzó el periodo de circulación vertical aumentaron paulatinamente los valores de productividad primaria de tal forma que cuando la temperatura se homogenizó en la columna de

agua a 20.5 °C en el mes de noviembre aumentó nuevamente la productividad primaria a 1385.40 mg C/m²/día.

En el año se registró una productividad primaria de 774.55 mg de Carbono por metro cuadrado por lo que de acuerdo con Likens (1975, citado por Wetzel, op. cit.) el embalse se encontró en un estado eutrófico.

Realizando un análisis global de los resultados, se encontró que la luz, la temperatura, el fósforo y el nitrógeno es tuvieron íntimamente relacionados con el nivel de productividad primaria en el embalse, el resto de los parámetros registrados no se consideraron como limitantes de la productividad primaria, puesto que si bien es cierto que también deseñan un papel importante en el metabolismo del fitoplancton, en este caso no se observó una dependencia demasiado estre - cha entre el oxígeno, pH, conductividad, dureza, alcalinidad y sólidos suspendidos fijos, con la productividad primaria neta del embalse.

En general, dichos parámetros se mantuvieron en un rango deseable para el desarrollo de los organismos a lo largo del año, incluso por su estado trófico el embalse se consideró apto para el desarrollo de la piscicultura.

Desde el punto de vista de su uso para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de México, se consideró neces -

rio realizar ciertas medidas de control para mejorar el grado de eutroficación del embalse, como son disminuir la descarga de aguas residuales que llegan a la presa con lo cual se evitaría un aporte excesivo de materia orgánica, controlar el exceso de lirio acuático el cual además de los trastornos ecológicos que ocasiona, interfiere en el uso recreativo del embalse (pesca y navegación) y finalmente, evitar la erosión de la cuenca mediante la reforestación (Olvera, op. cit.).

Cabe mencionar que la determinación de los valores de clorofila a, aparte de su importancia en el conocimiento de la productividad primaria y estado trófico del embalse, también es útil si se le considera de acuerdo con Brower y Zar (op. cit.) como un índice de biomasa algal.

Por otra parte, la metodología utilizada tanto en campo como en laboratorio, así como el modelo de Ryther y Yentsch (op. cit.), se consideran de gran importancia ya que son susceptibles de aplicarse en el estudio productivo de cualquier cuerpo de agua, además de que involucran variables que normalmente no se contemplan en este tipo de estudios.

Así, por ejemplo, el método de columna permite muestrear el espesor de la capa fótica en donde es posible la productividad primaria, evitando el tener que muestrear a diferentes

profundidades para lograr el mismo propósito.

El método de Lorenzen para medir la concentración de clorofila a, elimina una importante fuente de error que es la presencia de feofitina a.

El modelo de Ryther y Yentsch incluye el factor luz como uno de los parámetros más importantes de la actividad fotosintética y por lo tanto determinante de la productividad primaria de cualquier cuerpo de agua; en este sentido, el presente estudio resulta ser un trabajo preliminar debido a que es necesario ampliar su desarrollo y tratar de obtener una gráfica como la figura No. 3 para medios dulcesacuícolas, a partir de la cual se pueda conocer la fotosíntesis relativa de un determinado embalse e incluirlos posteriormente en el modelo de Ryther y Yentsch como se hizo en este estudio para determinar la productividad primaria.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5.0 CONCLUSIONES

- El método de columna permite muestrear el espesor de la capa fótica en donde es posible la productividad primaria.
- La fórmula $K=2.3/D_m$ de acuerdo con Margalef (op. cit.) permite estimar el coeficiente de extinción considerando el espesor de la capa fótica donde es posible la productividad primaria.
- El método de Lorenzen (op. cit.) elimina una fuerte vía de error al considerar la concentración de clorofila a con corrección de feofitina a.
- El embalse presentó estratificación térmica en el verano y corrientes de circulación interna en el invierno por lo que se clasificó como un lago cálido monomictico.
- Por su productividad primaria neta anual de 774.55 mgC/m² el embalse se consideró eutrófico de acuerdo con Likens (op. cit.).
- La luz, la temperatura el fósforo y el nitrógeno son los parámetros que limitaron la productividad primaria en el embalse.
- Los valores de productividad primaria se relacionaron estrechamente con el periodo de estratificación y circulación en el embalse.
- Para obtener resultados más representativos de la pro -

ductividad primaria mediante el modelo de Ryther y Yentsch (op. cit.) se debe registrar la radiación solar que recibe el embalse directamente con un calibrador fotoeléctrico.

- Es necesario obtener una gráfica de fotosíntesis relativa para sistemas dulceacuícolas.

- Por su uso como fuente potencial en el abastecimiento de agua a la Ciudad de México es indispensable realizar ciertas medidas de control que disminuyan el grado de eutroficación del embalse.

6.0 LITERATURA CITADA

- Almanza, R. y López, S. (1975) Radiación solar global en la república mexicana mediante datos de insolación. Inst. de Ingeniería, U.N.A.M.
- APHA, AWA, WPC, (1980) Standar Methods for Examination of Water and Wastewater. 15 th ed. U.S.A.
- Arrignon, J. (1979) Ecología y Piscicultura de Aguas Dulces. Mundi-Prensa, Madrid.
- Barnes, K.S.K. (1980) Fundamental of Aquatic Ecosystems. Blackwell Scientific. Publication. Oxford.
- Brewer, J. E. y Zar, H. (1977) Field and Laboratory Methods for general ecology. W. M. Brown Company Publishers. University Illinois.
- Gastagnino, W. A. (1982) Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos cálidos tropicales. OMS/OPS/CEPIS, Lima, Peru.
- Comisión de Aguas del Valle de México, (1979) Estudio sobre el sistema de presas Valle de Bravo, Villa Victoria y Colorines, Edo. de Méx. Sría de Rec. Hidráulicos, México.
- Gortés, N. (1972) Estudio de la productividad primaria marina en base a los productos extracelulares en aguas adyacentes a la Isla Isabel, Nayarit. Méx. Tesis. Pac. de ciencias, U.N.A.M.
- Chávez, M. M. (1986) Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades fitoplanctónicas de Valle de Bravo, Edo. de Méx. Tesis. SEMEP Istacala.
- De la Lanza, E. et. al. Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmentos (D/D) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Ver. Universidad y Ciencia Vol. 3, No. 5 1986.

- De la Lanza E. G. Hidrología básica para definir la productividad acuática de ecosistemas. Acuavisión. FONDE FESCA 1987.
- Environment Protection Agency. (1972) Water Quality Criteria. E.P.A. (Ed.) Washington, D. C.
- Franco, L. J. Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. de Méx. Tesis. ENEP Iztacala.
- Hutchinson, G. E. (1975) A Treatise of Limnology. Vol. 1 Geography, Physics and Chemistry Parte 1 y 2 Jhon Wiley and Sons Gov. New York.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1987). Síntesis Geográfica, Nomenclatura y Anexo Cartográfico del Estado de México. México.
- Jordán, E. (1971) Comparación entre dos métodos para estimar Productividad Primaria en aguas literales del golfo de México. Anales del Inst. de Biología. U.N.A.M. Vol. 43 No. 1
- Krebs, C. J. (1985) Ecología, Estudio de la distribución y Abundancia. Ed. Harla. México.
- Limón, M. G. (1982) Propiedades térmicas de los lagos. Manual de Limnología. S.A.R.H. Enero, 1982.
- López, S.A. (1971) El relieve karstico del Valle de Bravo, Edo. de México. Anal. Inst. Geografía. México. 4:88-93
- Lorenzen, C. J. (1967) Determination of chlorophyll and Pheo pigments; Spectrophotometric Equations. Limnol. Oceanog. 12: 343-346
- Margalef, R. (1974) Ecología. Omega. Barcelona.
- Margalef, R. (1976) Limnología de los embalses españoles. Direc. Gral. de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Madrid.

- Odum, P. E. (1978) Ecología. 5a. edición, Ed. Interamericana México.
- Olvera, V. V. (1988) Estudio de eutroficación en la presa Valle de Bravo, Méx. VI Congreso Nacional de Saneamiento Ambiental, El Gran Reto. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. INTA. SARH.
- Reynoso, A. A. (1986) Estudio del fitoplancton del lago de Xochimilco, D. F. Tesis. Pac. Ciencias. U.N.A.M.
- Ryther, J. H. (1956) Photosintesis in the Ocean as a function of light intensity Limnol. Oceanogr. 2:281-286
- Ryther, J. H. y Yentsch, C. S. (1957) The estimation of Phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr. 2:281-286
- Velasco, P. A. (1982) Evaluación de la calidad del agua con base en algunos aspectos de la comunidad fitoplanctónica del lago de Pátzcuaro Mich. Tesis. Pac. Ciencias. U.N.A.M.
- Wetzel, R. G. (1975) Limnology. W. B. Saunders. Co. Philadelphia.