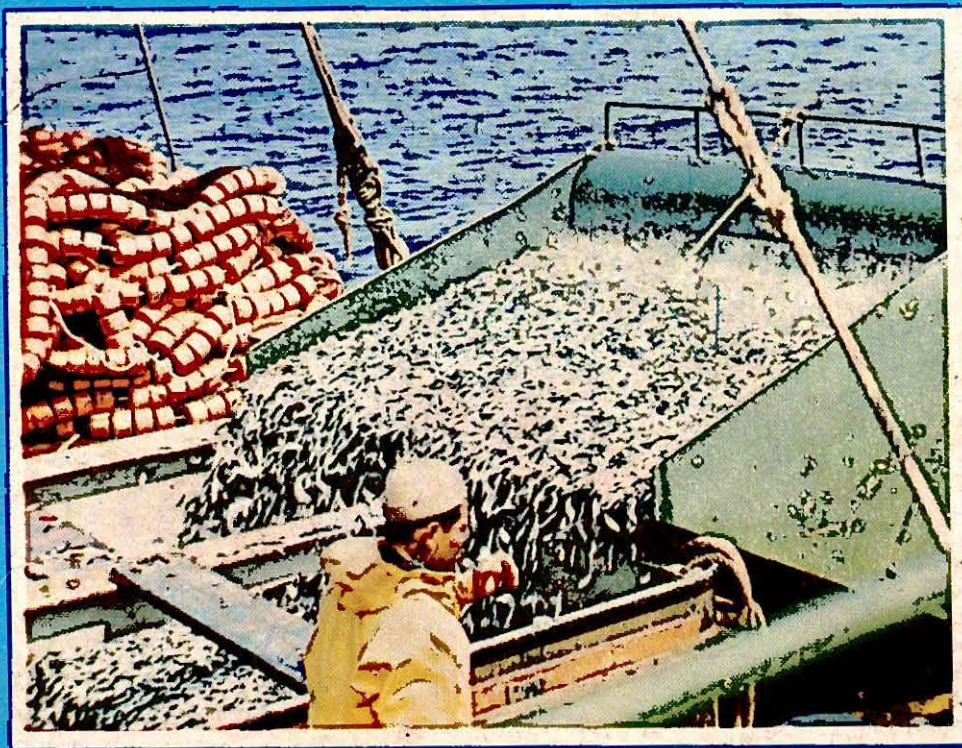


# DOCUMENTA

ORGANO INFORMATIVO TECNICO-CIENTIFICO DEL MINISTERIO DE PESQUERIA

JUNIO DE 1972  
No. 18

EDITADO POR LA OFICINA  
DE TRAMITE DOCUMENTARIO



LIMA - PERU



IMARPE  
UPI  
INVENTARIO  
1996



# DOCUMENTA

ORGANO INFORMATIVO TECNICO-CIENTIFICO  
DEL MINISTERIO DE PESQUERIA

**Director:**

Dr. José Linares Málaga

**Asesor:**

Dr. Lorenzo Palagi T.

**Jefe de Redacción y Diagrama:**

Sr. Samuel Bermeo Arce

**Administrador:**

Sr. Francisco Loayza G.

**Redacción:**

Lord Cochrane N° 351,  
Miraflores — Teléf.: 40-6995

**Impresores:**

Imprenta del Ministerio de  
Guerra — Jr. Ancash N° 671  
Lima

## CONTENIDO

- 2 Editorial
- 3 Normas Administrativas
- 4 Utilización de los Satélites en la pesca
- 5 Anotaciones sobre el camarón
- 10 Interpretación Matemática del Método Gaarder y Gran para la Estimación de la Productividad Primaria Acuática a Nivel de Fito Plancton.
- 18 Aspectos generales del pescado ahumado.
- 25 Examen Físico-Mecánico del cierre de la lata.
- 38 El cultivo de los Océanos.
- 41 Experiencia del cultivo en la tenca blanca.
- 45 Procedimiento Húngaro en la fabricación de antioxidantes.
- 46 Revista de Revistas
- 47 Reseñas Bibliográficas.
- 50 Miscelánea.
- 58 Noticiero.

**DOCUMENTA**  
ORGANO INFORMATIVO TECNICO-CIENTIFICO DEL MINISTERIO DE PESQUERIA  
AÑO DE 1972  
N.º 18



**NUESTRA CARATULA**

La anchoveta símbolo de nuestra riqueza hidrobiológica para su transformación en harina y aceite.

# "Interpretación Matemática del Método de Gaarder y Gran para la Estimación de la Productividad Primaria Acuática a Nivel de Fitoplacton"

Por: Antonio A. Ulloa Llerena y Walter Silva Mares(\*)

Tomado de la Revista Villarreal

## INTRODUCCION

En nuestro país se han efectuado muchos intentos de reproducción artificial de peces y crustáceos de agua dulce, principalmente paiches, suches, truchas, camarones, etc., en ambientes foráneos y en sus respectivos ambientes naturales. Los resultados, siempre han sido los mismos: el fracaso o un mínimo avance en algunos casos. La razón principal de estos resultados estriba en que se abordaba el problema por su parte final, sembrando o resembrando y no por el principio como debería ser; es decir, empezar por el estudio limnológico de los ambientes acuáticos, luego continuar con el estudio ecológico de cada una de las especies, para luego sembrar o resembrar determinada especie en un ambiente acuático apropiado, y en una cantidad científicamente factible.

Uno de los aspectos de gran importancia en el estudio limnológico de un ambiente acuático es la PRODUCTIVIDAD PRIMARIA ACUÁTICA A NIVEL DE FITOPLANCTON, que es la velocidad de producción de energía en forma de materia orgánica asimilable almacenada en el fitoplacton o en los tejidos de las plantas por medio de la fotosíntesis, lo cual va a permitir estimar la cantidad potencial teórica de fitoplacton y plantas del ambiente acuático, que constituye el primer nivel trófico de la CADENA DE LOS ALIMENTOS del ecosistema acuático, es decir el nivel trófico del cual van a depender cuantitativamente los demás niveles tróficos, a saber:

—Segundo nivel trófico, integrado por los organismos fitófagos.

—Tercer nivel trófico, integrado por los carnívoros que comen a los fitófagos.

—Cuarto nivel trófico, integrado por los carnívoros secundarios.

Nótese pues, que la cantidad de peces u otros organismos en ambientes foráneos o en ambientes naturales, tiene su punto de partida en la productividad primaria, dependiendo fundamentalmente de ésta; de ahí la importancia de plantear modelos para su cálculo o estimación.

Existen métodos específicos para la determinación de la productividad primaria en referencia a cada ambiente acuático continental, ya sean estos lagos, lagunas, ríos o estuarios. Así tenemos que entre otros:

—Para los ríos y estuarios se recomienda el método de la curva diurna.

—Para los lagos relativamente templados y profundos, el método hipolimnético.

—Para las lagunas o lagos poco profundos y de preferencia con turbiedad notoria, el método de T. GAARDER y H. GRAN.

El presente trabajo, es pues, una "Interpretación matemática del método de GAARDER y GRAN para la estimación de la productividad primaria acuática a nivel de fitoplacton". Se basa en los trabajos que sobre el tema han realizado los argentinos Pérez del Viso y Mantovani, y científicos de renombre mundial, tales como VOLLENWEIDER, TALLING, RODHE, BUURSMAN, etc., cuya importancia y significación para la ecología acuática es obvia.

## I.—PRODUCTIVIDAD

1.—CONCEPTO.— PRODUCTIVIDAD es la producción de un sistema en un intervalo de tiempo que se toma como unidad.

Este sistema, puede ser una fábrica completa, una maquinaria, una persona, un ecosistema o simplemente un nivel trófico.

Nótese la diferencia entre productividad y producción, mientras que en la productividad tiene intervención el factor tiempo, en la producción no. Así, por ejemplo, la productividad de un ecosistema en un nivel trófico determinado es la cantidad de energía que se almacena en forma de materia orgánica en dicho nivel trófico del ecosistema en un intervalo de tiempo. En cambio producción de este nivel trófico en un instante fijo es la materia orgánica presente en ese instante, es decir la biomasa.

2.—PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE UN ECOSISTEMA o básica de un ecosistema, una comunidad o parte de ésta, es la velocidad a que es almacenada la energía por fotosíntesis o quimiosíntesis de organismos productores, en forma de sustancias orgánicas susceptibles de ser utilizadas como material alimenticio.

Existen 2 clases de productividad primaria:

1) LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA BRUTA: o "asimilación total" es la velocidad total de la fotosíntesis, incluida la materia orgánica utilizada en la respiración durante el período de medición. También se le llama "fotosíntesis total" o "asimilación total".

2) LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA: o "asimilación neta" es la velocidad de almacenamiento de materia orgánica en los tejidos vegetales en exceso con respecto a la utilización respiratoria por parte de las plantas durante el período de medición. También se le llama "fotosíntesis aparente" o "asimilación neta". Cuando se desea obtener estimaciones de la productividad primaria bruta, generalmente la cantidad de la respiración se añade a las mediciones de la "fotosíntesis aparente", o sea a la productividad primaria neta.

3.—PRODUCTIVIDADES SECUNDARIAS EN UN ECOSISTEMA.— Son las velocidades de almacenamiento de la energía en los niveles tróficos

de los consumidores y desintegradores, y son cada vez menores en niveles sucesivos.

## II.—MEDICION DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA.

Hasta hoy no ha sido posible medir la productividad primaria en forma directa, o sea, medir el paso de energía a través del sistema, por lo cual todas las mediciones o estimaciones de ella se basan en alguna cantidad indirecta, tal como:

La cantidad de substancia producida;

La cantidad de materia prima utilizada;

La cantidad de producto secundario liberado.

Así mismo, una de las dificultades en la investigación de la productividad de un ecosistema radica en averiguar si el sistema se encuentra o no en equilibrio o en un estado estable.

En el "estado estable" de un ecosistema, las entradas compensan las salidas de material y energía.

Algunos de los métodos empleados en la estimación de la productividad son los siguientes:

1.—METODO DE LA COSECHA.— Se emplea cuando el consumo de los animales herbívoros no es cuantitativamente de importancia y el ritmo de producción va de cero, en el momento de la siembra, al máximo, en el momento de la cosecha. Así mismo, se emplea en situaciones terrestres sin cultivo, en las que predominan las plantas naturales, o en donde las plantas son poco consumidas antes de haber alcanzado desarrollo normal. En todos estos casos es preferible tomar muestras del cultivo a intervalos durante la estación y no confiar en averiguar en una sola cosecha. Este método no debe emplearse allí donde el alimento producido se va consumiendo a medida que se produce, salvo que se paralice el consumo durante el período de investigación.

2.—METODO DEL DOSAJE DE OXIGENO.— Dado que la mayoría de las clases de producción se traducen, en la naturaleza, en nuevo protoplasma, una ecuación que expresa cuantitativamente la productividad es la siguiente:

$1'300,000 \text{ cal. de energía radiante} + 106 \text{ CO}_2 + 90$

$\text{H}_2\text{O} + 16 \text{ NO}_3 + 1 \text{ PO}_4 + \text{elementos minerales} = 13,000$

$\text{cal. de energía potencial} + 154 \text{ O}_2 + 1'287,000 \text{ cal. de energía calórica dispersada.}$

Las 13,000 cal. de energía potencial están contenidas en 3,258 g de protoplasma producido, con la siguiente composición:

3,258 g de protop. = 106 C + 180 H + 46 O + 16 N + 1 P + 815 g de ceniza mineral.

Esta ecuación está basada en las proporciones de elementos contenidos en el protoplasma del plancton y el contenido de energía del mismo (SVERDRUP, 1942; CLARKE, 1948)

Es lógico que la productividad puede calcularse, al menos desde el punto de vista teórico, averiguando la cantidad de cualquiera de los elementos indicados durante el período de tiempo en que se mide la productividad. Así por ejemplo, como existe una equivalencia concreta entre el oxígeno y los alimentos producidos, la producción de oxígeno constituye una base para averiguar la productividad. Sin embargo en la mayoría de situaciones terrestres, animales y bacterias, e inclusive las plantas, agotan rápidamente el oxígeno, dándose a menudo intercambio de gas con otros medios. Esto no sucede en áreas acuáticas, donde la producción de oxígeno puede evaluarse por los siguientes métodos:

a) **Método de la curva diurna.**— Recomendable para ambientes acuáticos donde el agua está en movimiento, tales como ríos y estuarios, consiste en hacer mediciones del oxígeno disuelto en el agua durante el día y la noche; de modo que la suma de O<sub>2</sub> producido durante el día con el O<sub>2</sub> consumido durante la noche nos dará la productividad primaria bruta.

b) **Método hipolimnético.**— Recomendado para lagos relativamente templados y profundos, consiste en medir la desaparición del O<sub>2</sub> en las aguas profundas. Pues las aguas profundas no producen oxígeno y no están en circulación con las aguas superiores (sobre todo en verano); en estas condiciones, cuanto mayor es la producción en las aguas superiores iluminadas, tanto más cuerpos, células, peces y otra materia orgánica caen al fondo en donde bajo la acción de las bacterias y los hongos entran en descomposición con el consiguiente empleo de O<sub>2</sub>; resultando así que la velocidad de desaparición del O<sub>2</sub> en el fondo es proporcional a la productividad. Con este método se estará midiendo la productividad neta de la comunidad en su conjunto.

c) **Método de las botellas clara y oscura.**— Iniciado por T. GAARDER y H. GRAN en 1927, es recomendable para las lagunas o lagos poco profundos y cuya turbiedad de preferencia sea notoria, consiste en hacer mediciones del O<sub>2</sub> disuelto en la muestra de agua contenida en una botella clara y otra oscura en los extremos de un intervalo de tiempo; la suma del incremento de O<sub>2</sub> en la botella clara con el O<sub>2</sub> consumido en la botella oscura es la totalidad de O<sub>2</sub> producido, lo cual es proporcional a la productividad primaria bruta a nivel de fitoplancton.

3.—**METODO DE CO<sub>2</sub>.**— Es recomendable para situaciones terrestres, y consiste en medir las variaciones de CO<sub>2</sub> en vez de las variaciones de O<sub>2</sub>.

4.—**METODO DE LA DESAPARICION DE MATERIAS PRIMAS.**— De acuerdo a la ecuación de la productividad anterior, la productividad también puede medirse por la velocidad de desaparición de materias primas minerales. Aunque en un estado de equilibrio estable la cantidad consumida podría quedar compensada por la cantidad liberada o por la que penetra en el sistema, y no se podría averiguar la velocidad real de consumo. Pero, allí donde algunos constituyentes como el N o el P no se suministran de modo continuo, sino por ejemplo una sola vez al año o a intervalos, la velocidad a la que decrece su concentración proporciona una medida de la productividad durante el período en cuestión.

5.—**METODO DEL EMPLEO DE MATERIALES RADIOACTIVOS.**— Este método emplea el <sup>14</sup>C y el <sup>32</sup>P, y se ha usado para medir la productividad en los mares tropicales del mundo, sobre todo por STEEMAN-NIELSEN (1952), quien fue el primero en desarrollar el método.

6.—**METODO DE LA CLOROFILA.**— Se emplea para medir la productividad potencial primaria y se basa en las observaciones que demuestran que la productividad potencial primaria es proporcional a la cantidad de clorofila. Consiste en extraer el pigmento del material vegetal con acetona y averiguar la concentración de la clorofila en un espectrofotómetro.

### III.—METODO DE GAARDER Y GRAN PARA LA ESTIMACION DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA ACUÁTICA A NIVEL DE FITOPLANCTON.

1.—**PROCEDIMIENTO Y FUNDAMENTO.**— Este método también llamado de las botellas clara y oscura, es como hemos visto en el capítulo anterior uno de los métodos por DOSAJE DE OXIGENO.

El procedimiento de este método es como sigue: se llena una botella con agua conteniendo una concentración media de fitoplancton u otras unidades de producción y se suspende en el nivel de que procede el agua. Otra botella, con una envoltura negra con el fin de excluir totalmente la luz, se coloca en una situación similar. En la botella clara se produce oxígeno por fotosíntesis. Una parte del mismo es utilizado en la respiración y el resto es dispersado. En la botella oscura, en cambio, no se produce oxígeno alguno, más bien se consume una parte del oxígeno contenido en el agua; por consiguiente, la suma del incremento de oxígeno en la botella clara con el consumo de oxígeno en la botella oscura es igual al total del oxígeno producido.

El oxígeno suele medirse por titulación por el método de WINKLER, y un experimento determinado es limitado a un ciclo de 24 horas o menos.

Conocida la producción de oxígeno, es posible evaluar la productividad.

De acuerdo a la ecuación de la productividad dada en el capítulo anterior, por cada 106 C almacenados en forma de materia orgánica, se producen 154 O<sub>2</sub>, que considerando los pesos atómicos del carbono y del oxígeno, resulta que:

Por 1,272 g de carbono almacenado, se producen 4,928 g de oxígeno.

Así por ejemplo, si la producción de oxígeno es  $\frac{2 \text{ mg O}}{\text{dm}^3 \text{H}}$  y llamamos p<sub>1</sub> a la cantidad de carbono almacenado, se tiene que por simple regla de tres:

$$p_1 = \frac{1,272 \text{ g C}}{4,928 \text{ g O}} \times 2 \frac{\text{mg O}}{\text{dm}^3 \times \text{H}}$$

$$= 0.516 \frac{\text{mg C}}{\text{dm}^3 \times \text{H}}$$

o lo que es lo mismo:

$$p_1 = 516 \frac{\text{mg C}}{\text{m}^3 \times \text{H}}$$

Ahora si consideramos una columna de agua de 1 m<sup>2</sup> de superficie libre y cuyo nivel de compensación de la luz está a 3 metros (ver fig. 1).

Suponiendo (sólo con el fin de aclarar) que la productividad es constante a lo largo de toda la profundidad y en el intervalo de tiempo de 1.5 horas tendremos que la productividad P será:

$$P = 516 \frac{\text{mg C}}{\text{m}^3 \times \text{H}} \times 3 \text{ m} \times 1.5 \text{ H}$$

$$= 2,322 \frac{\text{mg C}}{\text{m}^2}$$

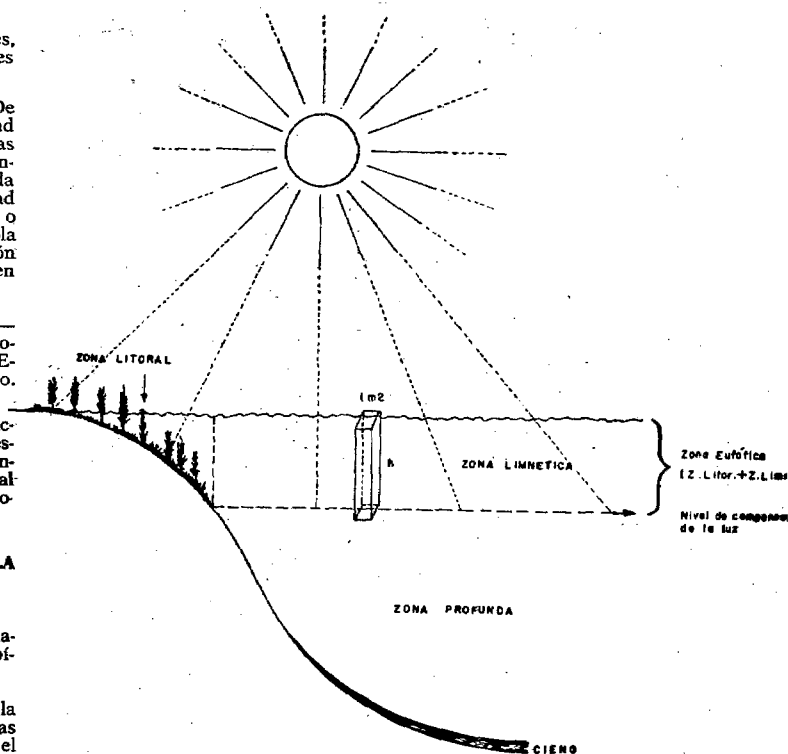


FIG. 1.—ZONAS DE UN LAGO.— Se ha representado una columna imaginaria de agua de 1 m<sup>2</sup> de superficie y "h" metros de profundidad.

El procedimiento con exposiciones in situ proporciona la mejor estimación de la productividad primaria; sin embargo, cuando los estudios abarcan zonas extensas y variadas, esto resulta sino imposible, extremadamente difícil, debido a la gran cantidad de mediciones que tendría que realizarse. Esta imposibilidad es salvada haciendo la estimación a partir de los datos de incubación en laboratorio, lo cual implica una serie de supuestos simplificadoros que deben ser cuidadosamente considerados, bajo el riesgo de cometer grandes errores.

2.—**FORMALIZACION MATEMATICA DEL PROBLEMA.**— Llamamos  $p$  a la velocidad de fotosíntesis por unidad de volumen de muestra o productividad primaria bruta en miligramos de Carbono por metro cúbico y por hora ( $\text{mg C/m}^3\text{H}$ ).

En un instante dado,  $p$  varía con la profundidad, debido a los siguientes factores:

- Diferencias en la iluminación, temperatura y nutrientes en los diferentes estratos.
- Diferencias en la densidad, composición y estado fisiológico del fitoplancton.

Esta dependencia de  $p$  con la profundidad  $z$ , en términos matemáticos, podría expresarse por una fórmula:  $p = f(z)$ , siendo  $f$  la función de dependencia.

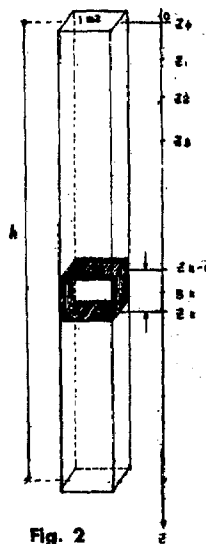


Fig. 2

Obtengamos, la velocidad de producción "P" por unidad de área de la cuenca, es decir la productividad primaria bruta en una columna de agua debajo de la unidad de superficie, hasta el nivel de compensación de la luz.

Con este fin en el eje lineal de coordenadas de la fig. 2 efectuemos una partición del intervalo cerrado (0,h) en "n" subintervalos iguales. Así mismo demos los siguientes pasos:

1) Si  $\Delta P$  es la productividad aproximada en el  $k$ -ésimo volumen elemental de agua, se tiene que:

$$\Delta P = f(s_k) \cdot (z_k - z_{k-1})$$

2) La productividad total aproximada, desde  $z = 0$ , hasta  $z = h$  será:

$$\sum_{k=1}^n f(s_k) (z_k - z_{k-1})$$

De donde se deduce que la productividad total  $P$  en la columna de agua estará dada por:

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n f(s_k) (z_k - z_{k-1})$$

Y por aplicación de la definición de integral definida a lo RIEMANN, considerando que  $f$  es una función continua en el intervalo (0,h) se tiene que:

$$P = \int_0^h f(z) dz$$

Además, como en la mayoría de los casos la productividad es prácticamente nula después del nivel de compensación de la luz, la integral puede hacerse desde  $z = 0$  hasta  $z = \infty$ , lo cual como veremos más adelante simplifica los cálculos matemáticos; así como también reemplazando  $f(z)$  por su igual  $p$ , tenemos finalmente que:

$$P = \int_0^{\infty} p dz \quad (1)$$

resultando  $P$  en  $\text{mg C/m}^2\text{H}$ .

Nótese que en las dimensiones de  $P$  figura  $\text{m}^2$  y no  $\text{m}^3$ , pues es la productividad de una columna, debajo de  $1 \text{ m}^2$  de superficie libre.

Pero, la productividad  $P$  por unidad de área de la cuenca, varía también a través del tiempo, debido a los siguientes factores:

- Diferencias en la energía solar incidente producidas por el movimiento aparente de sol y cambio del estado de transparencia atmosférica.
- Diferentes reacciones del fitoplancton a la misma energía radiante, ya que la actividad fotosintética depende de la historia previa de iluminación, e inclusive de la densidad del fitoplancton.

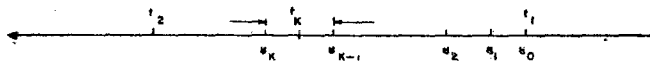
Sin embargo, si se desea calcular la productividad para un intervalo de tiempo  $\Delta t$  suficientemente pequeño,  $P$  puede considerarse constante y

la productividad  $P_{\Delta t}$  durante ese lapso se mide por:

$$P_{\Delta t} = P \cdot \Delta t$$

Ahora, para calcular la productividad de la columna en intervalos de tiempo mayores, que abarquen varias horas, como la productividad diaria por ejemplo, consideremos la dependencia de  $P$  con respecto al tiempo  $t$ , dada por la siguiente expresión matemática:  $P = \phi(t)$ , donde  $\phi$  es la función de dependencia.

Luego, con el fin de obtener la productividad  $P_{(t_1, t_2)}$  desde el instante inicial  $t_1$  hasta el instante final  $t_2$  efectuemos una partición del intervalo cerrado  $(t_1, t_2)$  en "n" subintervalos iguales en el sistema lineal de coordenadas siguiente:



Así mismo:

1) Si  $\Delta P_{(t_1, t_2)}$  es la productividad aproximada de la columna de agua en el  $k$ -ésimo intervalo de tiempo, se tiene que:

$$\Delta P_{(t_1, t_2)} = \phi(t_k) (\delta_k - \delta_{k-1})$$

2) La productividad total aproximada, desde el instante  $t_1$ , hasta el instante  $t_2$  será:

$$\sum_{k=1}^n \phi(t_k) (\delta_k - \delta_{k-1})$$

De lo cual se deduce que, la productividad total, desde  $t_1$  hasta  $t_2$  está dada por:

$$P_{(t_1, t_2)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \phi(t_k) (\delta_k - \delta_{k-1})$$

y aplicando el concepto de integral definida, considerando que  $\phi$  es una función continua en el intervalo  $(t_1, t_2)$  se tiene que:

$$P_{(t_1, t_2)} = \int_{t_1}^{t_2} \phi(t) dt$$

donde, reemplazando  $\phi(t)$ , que es  $P$ , por su igual dado en la ecuación (1), vamos a tener la ecuación final de la productividad en una columna de agua debajo de  $1 \text{ m}^2$  de superficie libre, desde el instante  $t_1$ , hasta el instante  $t_2$ :

$$P_{(t_1, t_2)} = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{\infty} p dz dt \quad (2)$$

resultando  $P_{(t_1, t_2)}$  expresada en  $\text{mg C/m}^2$ .

Así tenemos que el cálculo de la productividad primaria bruta a nivel de fitoplancton involucra una integral doble, una a lo largo de la profundidad  $z$  y otra a lo largo del tiempo  $t$ , que, por métodos puramente matemáticos, es imposible resolver, debido al desconocimiento de las funciones  $f$  y  $\phi$ . Sin embargo, asumiendo una serie de supuestos sim-

plificadores y empleando modelos matemáticos que en lo posible concuerden con los datos suministrados por la experiencia, se logra solución al problema.

### 3.—SUPUESTOS SIMPLIFICADORES.—

1) Se supone que el fitoplancton está distribuido en forma homogénea en toda la columna, manteniéndose a lo largo del día. En aguas turbias y poco profundas la distribución del fitoplancton se aproxima a una distribución homogénea, razón por la cual, en este tipo de aguas, esta simplificación será menos riesgosa.

2) Se supone que la iluminación bajo el agua, cumple estrictamente la ley de LAMBERT de absorción exponencial dada por la siguiente relación:

$$I = I'_0 e^{-\epsilon z} \quad (3)$$

donde  $I$  es la iluminación a la profundidad  $z$ , medida en lux o bujías-pié,  $I'_0$  es la iluminación inmediatamente debajo de la superficie y  $\epsilon$  es el coeficiente de extinción de la luz en  $m^{-1}$  cuando  $z$  se mide en  $m$ . Esta aproximación es muy discutida, pues el cumplimiento de esta ley supone además de la homogeneidad del medio óptico, que la radiación sea monocromática, lo cual está alejado de la realidad.

Como las radiaciones que presentan un mayor coeficiente de extinción son más rápidamente absorbidas, la composición espectral de la luz natural cambia con la profundidad, lo que genera un problema en la elección del coeficiente de extinción. Algunos autores usan el  $\epsilon$  menor, que corresponde como es lógico, a la radiación más penetrante; otros toman un  $\epsilon$  promedio; sin embargo, en lo que coinciden muchos autores es en considerar el coeficiente de extinción introducido por ATKINS y POOLE (1933) que se obtiene al aplicar la ley de Lambert a las mediciones efectuadas a distintas profundidades mediante fotómetros subacuáticos. En nuestros cálculos se supone en  $\epsilon$  constante durante el día.

3) Esta simplificación consiste en suponer que la variación de la iluminación bajo la superficie del agua en el transcurso del día está dada por la aproximación de VOLLENWEIDER:

$$I'_0 = I'_0 \text{ máx} \cdot \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{t}{\lambda} \right)$$

donde  $I'_0 \text{ máx}$  es la iluminación inmediatamente bajo la superficie al medio día,  $t$  el tiempo medido a partir del medio día y  $\lambda$  el tiempo transcurrido desde la salida hasta la puesta del sol.

Luego,  $t$  durante el día varía de  $-\frac{\lambda}{2}$  a  $\frac{\lambda}{2}$

$$\text{Ahora, si } \tau = \frac{t}{\lambda} \quad (4)$$

se tiene que  $\tau$  durante el día varía de  $-0.5$  a  $0.5$ , y la ecuación de Vollenweider se transforma en:

$$I'_0 = I'_0 \text{ máx} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos 2\pi \tau) \quad (5)$$

que, reemplazando en (3) nos da:

$$I = I'_0 \text{ máx} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos 2\pi \tau) e^{-\epsilon z} \quad (6)$$

fórmula, que nos permite calcular la iluminación instantánea en un punto del agua cuya profundidad es  $z$ .

4) Por último, se supone que la velocidad de fotosíntesis  $p$  depende sólo del valor instantáneo de la iluminación  $I$ . Esta suposición es la más discutida de todas las consideradas hasta aquí, puesto que no considera la historia previa de la muestra de agua, en cuanto a nutrientes, temperatura e iluminación, que son determinantes en la velocidad fotosintética.

Considerados los supuestos simplificados, ahora veamos la forma o relación de dependencia entre  $p$  e  $I$ . Ha sido motivo de polémica y hasta la actualidad los investigadores han buscado relaciones matemáticas que expresen esta dependencia, proponiendo variedad de soluciones, las mismas que según los casos a aplicar, presentan ventajas y desventajas.

#### DEPENDENCIA DE $p$ e $I$ .

Se distingue que:

a) A iluminaciones bajas, la productividad  $p$  es una función lineal de la iluminación  $I$ , pues la eficiencia cuántica es constante para iluminaciones bajas.

b) A mayores iluminaciones la eficiencia cuántica disminuye y la gráfica productividad-luz, va curvándose hasta alcanzar un valor de  $p$  máxima ( $p \text{ máx}$ ) denominada productividad a saturación.

c) A mayores intensidades luminosas se produce un fenómeno de inhibición de la productividad, apareciendo una disminución de  $p$ , es decir que la curva comienza a descender.

Los experimentos muestran este comportamiento general, sin embargo la forma exacta de la curva depende de las especies componentes de la población planctónica y de los otros factores mencionados.

#### 4.—MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto por PEREZ DEL VISO y MANTOVANI, consiste en suponer un diagrama trapecial para la gráfica productividad  $p$  — iluminación  $I$  normalizados, es decir referidos a dos parámetros semejantes; así tenemos que en el sistema de coordenadas birrectangulares, se han tabulado los valores de  $I/I_k$  en el eje horizontal y los valores de  $p/p \text{ máx}$  en el vertical.

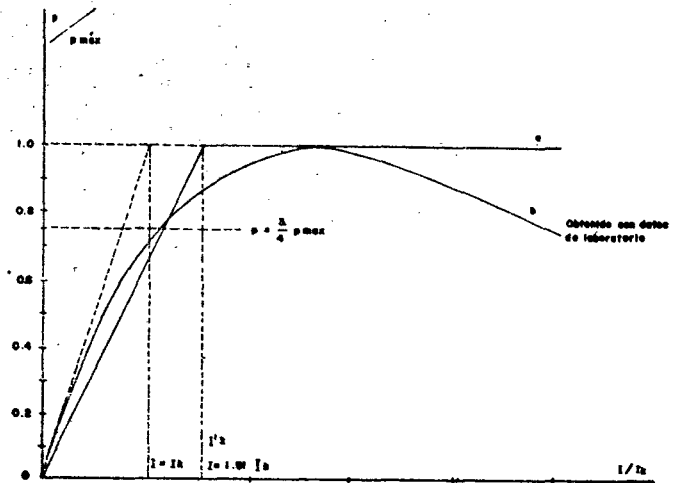


Fig. 3.—Curvas productividad-iluminación: a, modelo trapecial propuesto; b curva experimental.

Donde  $I_k$  es un valor de la iluminación introducido por TALLING (1957), valor que se toma como unidad de  $I$ ; y  $p \text{ máx}$  la productividad a saturación, valor que se toma también como unidad de  $p$ .

Como podemos observar en la fig. 3 (curva a), el modelo propuesto consiste en una relación estrictamente lineal en la primera parte, hasta que  $p$  alcanza el valor de saturación  $p \text{ máx}$ , correspondiente a una iluminación  $I_k$  y a partir de allí se supone un valor de  $p$  constante (zona del plateau).

La recta inicial del diagrama trapecial se obtiene trazándola desde el origen de coordenadas a un punto de la curva experimental obtenida en incubadores de laboratorio, a un valor de  $p$  igual a  $3/4$  de  $p \text{ máx}$ ; quedando así definida  $I'_k$ , que corresponde aproximadamente a 1.51 veces valor  $I_k$  de Talling. El valor  $I'_k$  de Talling corresponde a la intersección de las rectas extrapoladas de la primera parte de la curva y de la zona del plateau.

#### COMPARACION CON OTROS MODELOS.

Como decíamos líneas atrás, los investigadores han postulado variedad de modelos. Uno de los más conocidos es el planteado por SMITH (1937), que tampoco tiene en cuenta el fenómeno de inhibición por el cual:

$$p = p \text{ máx} \frac{aI}{\sqrt{1 + (aI)^2}} \quad (7)$$

donde  $p \text{ máx}$  es el valor hacia el cual tiende asintóticamente  $p$  para altos valores de  $I$ , y  $a$  es la pendiente de la primera parte de la curva, cumpliéndose así la relación  $a = \frac{1}{I_k}$

Además, como la ecuación (7) no considera el fenómeno de inhibición, se le aplica como factor, el corrector:

$$\frac{1}{(\sqrt{1 + (aI)^2})^n}, \text{ esto es:}$$

$$p = p \text{ máx} \frac{aI}{\sqrt{1 + (aI)^2}} \cdot \frac{1}{(\sqrt{1 + (aI)^2})^n} \quad (8)$$

En la Fig. 4 se muestra, con el ánimo de comparar: la curva propuesta (a), la curva de Smith (b) y la curva (c) que corresponde a la ecuación (8) con  $n = 1$  y  $a = 1/2 I_k$ , elegidos así para poder comparar las gráficas.

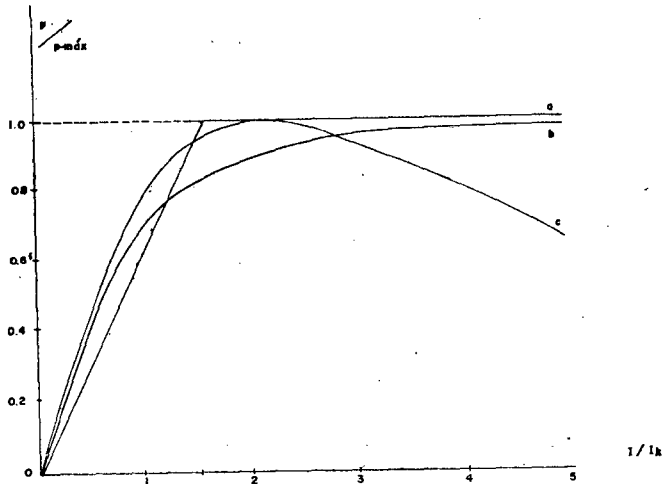


Fig. 4.—Curvas productividad-iluminación: a, método trapezoidal propuesto; b, curva de Smith; c, curva de Smith con inhibición

Si bien podría objetarse que el modelo propuesto se aparta algo de la relación experimental, la introducción de esta aproximación da la simplicidad en la formulación matemática para determinar los parámetros  $I'_k$  y  $p_{\text{máx}}$ , que definen la gráfica. Además, los resultados obtenidos con los cálculos basados en este modelo justifican su uso, como veremos más adelante.

#### FUNCION QUE DEFINE EL DIAGRAMA TRAPEZIAL.

En la Fig. 3:

1) Para la primera parte del diagrama trapezoidal, que se extiende en el intervalo cerrado  $(0, I'_k)$  se tiene que la función lineal queda expresada por una ecuación de la forma:

$$\frac{p}{p_{\text{máx}}} = m \frac{I}{I_k}$$

donde  $m$  es la pendiente de la recta.

Reemplazando en la relación (19):

$$P(\tau_1, \tau_2) = \frac{p_{\text{máx}} \cdot \lambda}{E} \cdot \phi(\tau, I'_k, \text{máx}) \text{ se tiene:}$$

$$P(\tau_1, \tau_2) = \frac{300 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \text{C}}{5.31 \text{ m}^{-1}} \times 10.66 \text{ H} \times 0.877$$

$$= 528 \frac{\text{mg}}{\text{m}^2} \cdot \text{C}$$

$$P(\tau_1, \tau_2) = 528 \frac{\text{mg}}{\text{m}^2} \cdot \text{C}$$

La tabla de la página siguiente, confeccionada con experimentos de Pérez del Viso y Mantovani, ilustran la aplicación del presente método.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.—Hasta la fecha todos los intentos o mediciones de la productividad primaria bruta a nivel de fitoplancton se han hecho por medios indirectos.
- 2.—Teniendo la ecuación de la productividad, ésta es una buena base para estimar la productividad, averiguando la cantidad de cualquiera de los elementos presentes durante el período de tiempo en que se mide la productividad.
- 3.—El método de T. GAARDER y H. GRAN se basa en la equivalencia entre el oxígeno y los alimentos producidos.
- 4.—Mientras no se conozcan las funciones  $f$  y  $\phi$  de las expresiones  $p = f(z)$  y  $P = \phi(t)$  usadas en el presente trabajo, para calcular

la productividad primaria bruta a nivel de fitoplancton tendrá que asumirse supuestos simplificados y aproximarse modelos matemáticos. Por esta razón el presente modelo de cálculo es recomendable para las lagunas o lagos poco profundos y preferentemente de turbiedad notoria.

5.—En un ecosistema estable, el diagrama fotosíntesis-iluminación se aproxima a un diagrama trapezoidal.

6.—En el presente modelo de cálculo, según el valor de  $I'_0$ , que es la iluminación inmediatamente debajo de la superficie, la expresión:

$$P = \frac{p_{\text{máx}}}{E} \cdot \frac{I'_0}{I'_k}, \quad (I'_0 \leq I'_k)$$

o la expresión:

$$P = \frac{p_{\text{máx}}}{E} \cdot (1 + \ln \frac{I'_0}{I'_k}); \quad (I'_0 > I'_k)$$

además, cuando  $z = 0$ , o sea en la superficie se tiene que aproximadamente  $I = I'_0$ , y cuando  $z = \infty$ , se tiene que  $I = 0$ , luego:

$$P = \int_0^{\infty} p \, dz = \int_{I'_0}^0 p \cdot \frac{dI}{-EI} = -\frac{1}{E} \int_{I'_0}^0 p \frac{dI}{I}$$

intercambiando los límites, para lo cual cambiamos el signo de la integral a fin de que esta no varíe:

$$P = \frac{1}{E} \int_0^{I'_0} p \frac{dI}{I}$$

Ahora, cuando  $I'_0 \leq I'_k$ , el dominio de la función es  $(0, I'_k)$ ; por lo tanto podemos reemplazar  $p$  por su valor dado en la ecuación (9):

$$P = \frac{1}{E} \int_0^{I'_0} p_{\text{máx}} \frac{I}{I_k} \cdot \frac{dI}{I}$$

$$= \frac{1}{E} \frac{p_{\text{máx}}}{I_k} \int_0^{I'_0} dI$$

$$= \frac{1}{E} \frac{p_{\text{máx}}}{I_k} \cdot (I)_0^{I'_0}$$

$$= \frac{p_{\text{máx}}}{E} \cdot \frac{I'_0}{I_k}$$

$$\text{O sea: } P = \frac{p_{\text{máx}}}{E} \cdot \frac{I'_0}{I_k} \quad (11)$$

Pero, si  $I'_0 > I'_k$ , tenemos que integrar la función combinada, o sea en las dos partes del diagrama trapezoidal:

En efecto, para la ecuación:

$$P = \frac{1}{E} \int_0^{I'_0} p \frac{dI}{I}$$

Se tiene que:  $0 < I'_k < I'_0$

Luego:

$$P = \frac{1}{E} \int_0^{I'_0} p \frac{dI}{I} = \frac{1}{E} \int_0^{I'_k} p \frac{dI}{I} + \frac{1}{E} \int_{I'_k}^{I'_0} p \frac{dI}{I}$$

para la primera integral reemplazamos en (11)  $I'_0$  por  $I'_k$ , y para la segunda integral reemplazamos  $p$  según (10):

$$\begin{aligned} P &= \frac{p \text{ máx}}{E} + \frac{1}{E} \int_{I'_k}^{I'_0} p \text{ máx} \cdot \frac{dI}{I} \\ &= \frac{p \text{ máx}}{E} \left( 1 + \int_{I'_k}^{I'_0} \frac{dI}{I} \right) \\ &= \frac{p \text{ máx}}{E} \cdot \left( 1 + (\ln) \frac{I'_0}{I'_k} \right) \\ &= \frac{p \text{ máx}}{E} \left\{ 1 + (\ln I'_0 - \ln I'_k) \right\} \end{aligned}$$

$$\text{O sea: } P = \frac{p \text{ máx}}{E} \left( 1 + \ln \frac{I'_0}{I'_k} \right) \quad (12)$$

Es decir, según el valor de  $I'_0$ , que es la iluminación inmediatamente debajo de la superficie, la expresión (11) o la expresión (12) nos dará la productividad primaria bruta instantánea en una columna de agua debajo de la unidad de superficie.

Por lo tanto, resumiendo lo expresado por (11) y (12) se tiene:

$$P = \begin{cases} \frac{p \text{ máx}}{E} \cdot \frac{I'_0}{I'_k}, & \text{para } I'_0 \leq I'_k \\ \frac{p \text{ máx}}{E} \cdot \left( 1 + \ln \frac{I'_0}{I'_k} \right), & \text{para } I'_0 > I'_k \end{cases} \quad (13)$$

#### CALCULO DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA BRUTA EN UN INTERVALO DE TIEMPO POR UNIDAD DE SUPERFICIE.

En efecto, trabajaremos con la ecuación (2):

$$P(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{\infty} p \, dz \, dt$$

reemplazando  $\int_0^{\infty} p \, dz$  por su igual  $P$  de acuerdo a la ecuación (1):

$$P(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} P \, dt \quad (14)$$

llamemos  $i'_0$  a la relación  $\frac{I'_0}{I'_k}$  de las expresiones (13), esto es:

$i'_0 = \frac{I'_0}{I'_k}$ , lo que permite afirmar que las siguientes equivalencias son verdaderas:

$$I'_0 \leq I'_k \text{ es equivalente a tener } i'_0 \leq 1$$

$$I'_0 > I'_k \text{ es equivalente a tener } i'_0 > 1$$

y las expresiones (13) se transforman en:

$$P = \begin{cases} \frac{p \text{ máx}}{E} i'_0, & \text{si sólo si } i'_0 \leq 1 \\ \frac{p \text{ máx}}{E} (1 + \ln i'_0), & \text{si sólo si } i'_0 > 1 \end{cases}$$

Estas dos últimas expresiones en general, son de la forma:

$$P = \frac{p \text{ máx}}{E} F(i'_0) \quad (15)$$

donde,  $F(i'_0)$  es una función definida de la manera siguiente:

$$F(i'_0) = \begin{cases} i'_0, & \text{si sólo si } i'_0 \leq 1 \\ 1 + \ln i'_0, & \text{si sólo si } i'_0 > 1 \end{cases} \quad (16)$$

y reemplazando  $P$  en la ecuación (14) por su igual dado por la ecuación (15), tenemos que:

$$\begin{aligned} P(t_1, t_2) &= \int_{t_1}^{t_2} \frac{p \text{ máx}}{E} F(i'_0) \, dt \\ &= \frac{p \text{ máx}}{E} \int_{t_1}^{t_2} F(i'_0) \, dt \end{aligned}$$

cambiemos la variable  $t$  por la variable  $\tau$  empleando

$$\text{la ecuación (4): } \tau = \frac{t}{\lambda}$$

como  $\lambda$  es constante se tiene que:

$$dt = \lambda \, d\tau$$

además cuando  $t = t_1$  es  $\tau = \tau_1$  y cuando  $t = t_2$

es  $\tau = \tau_2$ , luego:

$$P(\tau_1, \tau_2) = \frac{p \text{ máx} \cdot \lambda}{E} \int_{\tau_1}^{\tau_2} F(i'_0) \, d\tau \quad (17)$$

Pero anteriormente hemos visto, que si conocemos el valor de  $i'_0$ , sabremos de cual de sus dos formas de  $F(i'_0)$  se trata; luego con el fin de calcular  $i'_0$ , hallemos una relación existente entre  $i'_0$  y  $\tau$ :

Según (5):  $I'_0 = I'_k \text{ máx} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos 2\pi \tau)$

dividamos ambos miembros por  $I'_k$ :

$$\frac{I'_0}{I'_k} = \frac{I'_k \text{ máx}}{I'_k} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos 2\pi \tau)$$

y llamando  $i'_0 \text{ máx}$  al cociente  $\frac{I'_k \text{ máx}}{I'_k}$ , luego se tiene que:



$$i'_0 \text{ máx} = \frac{I'_0 \text{ máx}}{2} (1 + \cos 2\pi\tau) \quad (18)$$

expresión que nos sirve para calcular  $i'_0$  en función de  $I'_0 \text{ máx}$ ,  $I'_k$  y  $\tau$ . El valor de  $i'_0$ , junto con la expresión (16) nos indicará la forma o formas que toma ( $F(i'_0)$ ) utilizada en la relación de productividad (17).

Ahora, como (17) expresa la productividad, debemos resolver la integral:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} F(i'_0) d\tau$$

solución que depende de los límites  $\tau_1$  y  $\tau_2$  y como hemos visto de  $i'_0 \text{ máx}$ .

Para resolver esta integral por lo general es conveniente emplear métodos planimétricos, representando  $F(i'_0)$  en un sistema de coordenadas birectangulares desde  $\tau = -0.5$  hasta  $\tau = 0.5$  para diferentes valores de  $i'_0 \text{ máx}$ . Para hacer esta representación se utilizan las expresiones (18) y (16). (Fig. 5).

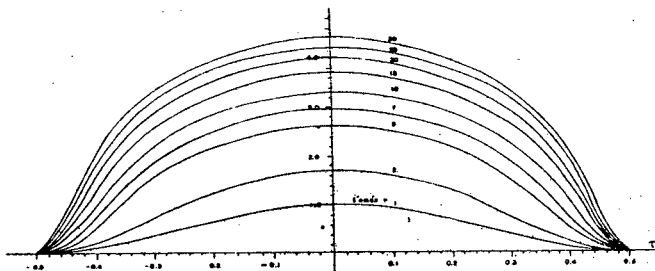


Fig. 5.—  $F(i'_0)$  para diferentes valores de  $i'_0 \text{ máx}$  en función de  $\tau$  para el modelo trapecial.

Luego, la solución de la integral en mención se reducirá al cálculo del área debajo de la curva correspondiente, desde  $\tau_1$  hasta  $\tau_2$ . En el caso de que ambos límites difieran sólo en el signo la productividad se calculará por:

$$P(-\tau, +\tau) = \frac{p \text{ máx} \cdot \lambda}{E} \cdot \phi(\tau, i'_0 \text{ máx}) \quad (19)$$

donde  $\phi(\tau, i'_0 \text{ máx})$  es la solución de la integral o área bajo la curva correspondiente al  $i'_0 \text{ máx}$  determinado, desde  $-\tau$  hasta  $+\tau$ .

Y para evaluar la productividad diaria utilizaremos la relación siguiente:

$$P_{\text{Diaria}} = \frac{p \text{ máx} \cdot \lambda}{E} \cdot \phi(i'_0 \text{ máx}) \quad (20)$$

donde  $\phi(i'_0 \text{ máx})$  es la solución de la integral o área bajo la curva correspondientes a  $i'_0 \text{ máx}$  desde  $-0.5$  hasta  $+0.5$ .

Para simplificar el trabajo de evaluar la integral por el cálculo del área debajo de la curva que es muy laborioso, en la fig. 6 se ha representado el valor de la integral  $\phi(\tau, i'_0 \text{ máx})$  en función de  $i'_0 \text{ máx}$  entre los límites  $-\tau$  y  $\tau$ , para diferentes valores de  $\tau$ . La curva superior, indicada con  $\tau = 0.5$ , da el valor de la integral para calcular la producción diaria por medio de la ecuación (20).

Si el problema fuera estimar la productividad en períodos menores de tiempo, desde  $t_1$  hasta  $t_2$ , se lee en la fig. 6 los valores de  $\phi$  para  $\tau^1 = \frac{t_1}{\lambda}$  y  $\tau^2 = \frac{t_2}{\lambda}$ , obteniéndose  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , luego se toma para la ecuación (19):

$$\phi = \frac{|\phi_1 + \phi_2|}{2} \quad (21)$$

empleándose el signo positivo cuando el período de exposición comprende el mediodía solar y el signo negativo cuando la exposición se hace totalmente antes o después del mediodía.

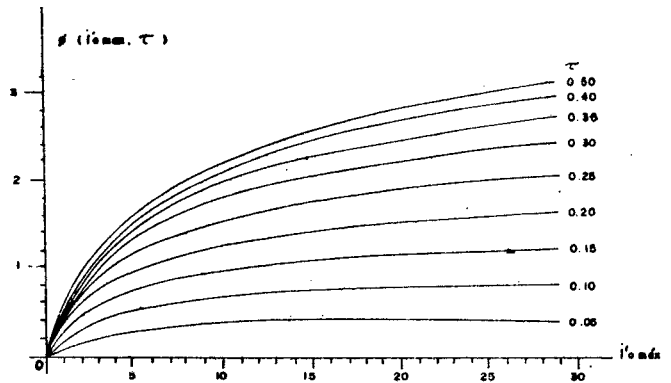


Fig. 6. Valor de la integral  $\phi(\tau, i'_0 \text{ máx})$  para diferentes valores de  $\tau$ , en función de  $i'_0 \text{ máx}$  para el modelo trapecial.

Por lo tanto, para el cálculo de la productividad primaria bruta en un intervalo de tiempo de una columna de agua debajo de la unidad de superficie, aplicando el presente modelo de cálculo, se requiere tener los siguientes datos:

1)  $p \text{ máx}$ , en  $\frac{\text{mg C}}{\text{m}^3 \text{ H}}$ :

Método de las botellas clara y oscura, por la variación de la concentración de oxígeno disuelto. Se hace uso de un analizador galvánico. Se hace la equivalencia a carbono.

2)  $I'_k$ , en lux o bujías-pié: Se determina con datos de laboratorio. (Fig. 3).

$I'_0 \text{ máx}$ , en lux o bujías-pié: se mide con un fotómetro subacuático,

3)  $\lambda$ , en Horas: Se obtiene de las tablas náuticas para la fecha y latitud considerada.

4)  $E$ , en  $\text{m}^{-1}$ : Se determina por medio de un fotómetro LANGE con célula de selenio y filtro de corrección de visibilidad. O si esto último no es posible se estima  $E$  a partir de la profundidad del disco SECCHI

"D" y empleando la relación:  $E = \frac{1.7}{D}$

5)  $t_1$ , tiempo medido en horas a partir del medio día: Según el primer límite del intervalo de tiempo.

$t_2$ , tiempo medido en horas a partir del medio día: Según el segundo límite del intervalo de tiempo.

**5.—ILUSTRACION.—** Como un ejemplo veamos el siguiente problema: Calcular la productividad primaria bruta desde las 10.007 horas, hasta las 12.991 horas, en una cuenca cuyas características son:

$\lambda = 10.66$  horas (horas de sol durante el día)

$$i'_0 \text{ máx} = \frac{I'_0 \text{ máx}}{k} = 9.12$$

$$p \text{ máx} = 300 \frac{\text{mC}}{\text{m}^3 \text{ H}}$$

$$E = 5.31 \text{ m}^{-1}$$

**SOLUCION**

$$12.000 - 10.007 = 1.993 \quad t_1 = -1.993$$

$$12.991 - 12.000 = 0.991 \quad t_2 = 0.991$$

$$\tau_1 = \frac{t_1}{\lambda} = \frac{-1.993}{10.66} = -0.187$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{\lambda} = \frac{0.991}{10.66} = +0.093$$

En la Fig. 6 para  $i'_0 \text{ máx} = 9.12$  y  $\tau_1 = -0.187$ :  $\phi_1 = 1.155$

En la Fig. 6 para  $i'_0 \text{ máx} = 9.12$  y  $\tau_2 = 0.093$ :  $\phi_2 = 0.600$

Aplicando la fórmula (21):

$$\phi = \frac{|1.155 + 0.600|}{2} = 0.877$$

Como  $m = \frac{I}{1.51}$  se tiene que:

$$\frac{p}{p \text{ máx}} = \frac{I}{1.51} \cdot \frac{I}{I_k}$$

Pero  $1.51 I_k = I'_k$  luego:

$$\frac{p}{p \text{ máx}} = \frac{I}{I'_k}, \text{ de donde:}$$

$$p = p \text{ máx} \frac{I}{I'_k} \quad (9)$$

2) Para la segunda parte del diagrama trapezical, que se extiende en el intervalo abierto  $]I'_k, \infty[$ , se tiene:

$$\frac{p}{p \text{ máx}} = 1, \text{ de donde: } p = p \text{ máx} \quad (10)$$

Por lo tanto, resumiendo lo expresado por (9) y (10) tenemos que:

$$p = \begin{cases} p \text{ máx} \frac{I}{I'_k}, & \text{para todo } I \text{ perteneciente a } (0, I'_k) \\ p \text{ máx}, & \text{para todo } I \text{ perteneciente a } ]I'_k, \infty[ \end{cases}$$

**CALCULO DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA BRUTA INSTANTANEA POR UNIDAD DE SUPERFICIE.**

En efecto, tendremos que resolver la integral de la ecuación (1):

$$P = \int_0^0 p dz$$

para lo cual, cambiemos la variable  $z$  por la variable  $I$ , empleando la

$$\text{ecuación (3): } I = I'_k e^{-\epsilon z}$$

en efecto:

$$dI = -\epsilon I'_k e^{-\epsilon z} dz = -\epsilon(I'_k e^{-\epsilon z}) dz = -\epsilon I dz$$

$$\text{de donde: } dz = \frac{dI}{-\epsilon I}$$

nos dará la productividad primaria bruta instantánea (P) en una columna de agua debajo de la unidad de superficie.

7.—Para calcular la productividad primaria bruta en un intervalo de tiempo por unidad de superficie:

1) Se usa la siguiente fórmula:

$$P(-\tau, \tau) = \frac{p \text{ máx}}{\epsilon} \cdot \lambda \cdot \phi(\tau, i'_0 \text{ máx})$$

donde:  $p \text{ máx}$ ,  $\lambda$  y  $\epsilon$  son datos

$$\phi(\tau, i'_0 \text{ máx}) \text{ es la solución de la integral } \int_{\tau_1}^{\tau_2} F(i'_0) d\tau$$

2) Para calcular  $\phi$  se usa la fórmula:

$$\phi = \frac{|\phi_1 + \phi_2|}{2}$$

3) Para calcular  $\phi_1$ , se usa  $\tau_1$ ,  $i'_0 \text{ máx}$  y la fig. 6

Para calcular  $\tau_1$  y  $i'_0 \text{ máx}$  se usan respectivamente:

$$\tau_1 = \frac{t_1}{\lambda} \text{ y } i'_0 \text{ máx} = \frac{I'_0 \text{ máx}}{I'_k}$$

$t_1$ ,  $\lambda$ ,  $I'_0 \text{ máx}$  y  $I'_k$  son datos.

4) De una manera similar a la anterior se calcula  $\phi_2$ .

8.—Dado que de la productividad primaria a nivel de fitoplancton dependen la totalidad de productividades secundarias de un ecosistema acuático, se recomienda que para sembrar o resembrar peces, crustáceos o moluscos en un ambiente acuático, debe empezarse por el cálculo de la productividad primaria a nivel de fitoplancton de los ambientes acuáticos. Por supuesto que paralelamente debe realizarse el estudio limnológico del medio y ecológico de la especie.

EXPERIMENTO N°	DATOS INICIALES					CALCULOS						
	$t_1$	$t_2$	$\lambda$	$i'_0 \text{ máx}$	$p \text{ máx}$	$\epsilon$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi$	$P'(t_1, t_2)$
	H O R A S	H O R A S	H O R A S	$i'_0 \text{ máx} = \frac{I'_0 \text{ máx}}{I'_k}$	mgC/m <sup>3</sup> H	m <sup>-1</sup>	$\tau_1 = \frac{t_1}{\lambda}$	$\tau_2 = \frac{t_2}{\lambda}$	Fig.6	Fig.6	FORMULA 21	FORMULA 19 mgC/m <sup>2</sup>
1	-1.993	+0.991	10.66	9.12	300	5.31	-0.187	+0.093	1.155	0.600	0.877	528
2	-1.303	+0.114	12.65	3.71	570	4.70	-0.103	+0.009	0.466	0.042	0.254	389
3	+0.202	+1.695	12.65	3.71	570	4.70	+0.016	+0.134	0.071	0.596	0.263	403
4	+1.758	+3.251	12.65	3.71	570	4.70	+0.139	+0.257	0.612	1.054	0.221	339
5	-6.325	+6.325	12.65	3.71	570	4.70	-0.500	+0.500	1.367	1.367	1.367	2090
6	-2.004	+1.328	12.07	6.67	470	7.51	-0.166	+0.110	0.927	0.633	0.780	589
7	-1.997	+1.997	12.48	5.02	222	4.81	-0.160	+0.160	0.807	0.807	0.807	465
8	-2.410	-1.380	12.65	3.71	570	4.70	-0.189	-0.109	0.822	0.492	0.165	253