

COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS PARA ESTIMAR PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN AGUAS LITORALES DEL GOLFO DE MÉXICO

ERIC JORDAN*

RESUMEN

Se hicieron estimaciones de productividad primaria en aguas costeras del Golfo de México, entre Tamaulipas y un arrecife en el banco de Campeche, como parte del programa de investigaciones marinas del Instituto de Biología, U.N.A.M.

Se utilizaron el método del C-14 y el de "botella clara y oscura", simultáneamente, con el fin de determinar cual de los dos es más apropiado para trabajar en aguas litorales con fuerte influencia continental.

Los datos muestran que el método del carbón-14 dio resultados interpretables, mientras que el método por evolución de oxígeno sufrió fuertes alteraciones debidas probablemente a efectos del ambiente cargado de sedimentos. Pero se considera necesario trabajar simultáneamente con dos métodos para una mejor interpretación de los datos obtenidos.

ABSTRACT

Measurements of primary productivity rates were made in coastal waters of the Gulf of México between Tamaulipas and a reef on Campeche Bank as part of the continuing marine program of the Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Both the Carbon-14 and the "light and dark bottle" methods were used simultaneously, to measure primary production rates in land-influenced coastal waters, in order to evaluate the reliability and accuracy of the two techniques.

The author concludes that the Carbon-14 method is the more reliable of the two for values. The "light and dark bottle" method, however, gave more variable results due possibly to environmental influences.

The author concludes that the Carbon-14 method is the more reliable of the two for coastal waters, but suggests that is necessary to employ at least two techniques simultaneously in order to better evaluate the production data.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio del segundo cuarto de este siglo se han venido ensayando diversos métodos que permiten estimar la tasa de producción primaria del fitoplancton. Aunque dichos métodos miden reacciones diferentes del proceso fotosintético, todos tratan de conocer la

cantidad de carbono que es asimilada por el fitoplancton de un volumen dado de agua en un tiempo determinado.

Indiscutiblemente, el trabajar con varios métodos a la vez es la forma más adecuada, pero hay ocasiones en que debido a las condiciones del área de tra-

* Departamento de Ciencias del Mar y Limnología. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

bajo no es posible aplicar más que un método; aquel que sea el correcto para esa zona.

Un tipo de aguas que es particularmente problemático por su alto contenido de sedimentos en suspensión y materia orgánica, son las aguas litorales y lagunares. Durante los trabajos llevados a cabo por el personal del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en lagunas costeras del noroeste de México (en vías de publicación), se vio la necesidad de determinar las posibilidades de aplica-

ción de los diferentes métodos que existen, para poder estimar la tasa de producción en este tipo de aguas.

El presente trabajo, tiene por objeto comparar dos métodos para estimar la productividad primaria; el método del carbón-14 (Steemann Nielsen, 1952), y el método por evolución del oxígeno (Gaarder y Gran, 1927), en aguas litorales del Golfo de México con fuerte influencia continental.

El trabajo de campo se llevó a cabo en el B/O "Virgilio Uribe" durante el crucero COSMA 70-06, del 15 de agos-

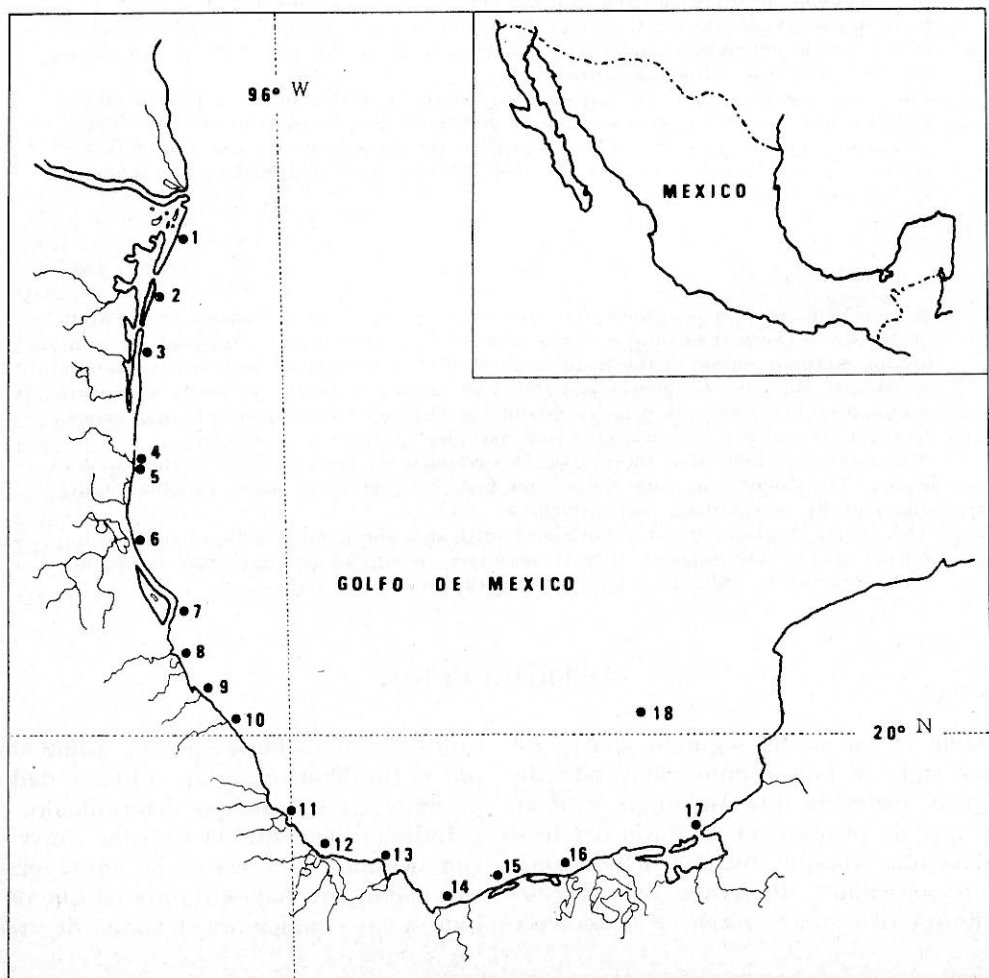


Fig. 1. Mapa de localización de estaciones.

to al 14 de septiembre de 1970, desde el norte de la Laguna Madre, Tamps. hasta la Laguna de Términos, Camp., como parte del programa de México, dentro de las Investigaciones Cooperativas del Caribe y Regiones Adyacentes (CICAR).

Se utilizaron muestras de 17 estaciones a lo largo del litoral y de una en el arrecife coralino Cayo Arcas, situado en el borde de la Plataforma de Yucatán, a 90 millas de la costa de Campeche (Fig. 1).

Las estaciones se realizaron cerca de la costa y a profundidades no mayores de 15 m. La zona de estudio tiene aproximadamente 720 millas, y está comprendida entre los 25°28' latitud norte

y 97°12' longitud oeste y los 18°49' latitud norte y 91°27' longitud oeste.

El trabajo de gabinete se realizó en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Es necesario decir que otros autores como Steemann Nielsen (1958), Strickland (1960), Ryther y Vaccaro (1954), Vollenweider (1969) y Ryther (1954), ya han trabajado en experimentos de comparación de estos dos métodos, pero ha sido principalmente en aguas oceánicas, o costeras en regiones de poca influencia continental, por lo cual se considera que no son comparables con el problema aquí estudiado.

METODOLOGÍA

Las muestras para ambos métodos, se tomaron simultáneamente por medio de botellas Nansen de 1.25 l de capacidad. Se colocaron en frascos claros y oscuros de 130 ml de capacidad, boca estrecha con tapón esmerilado, usándose un lote para el ^{14}C y otro para el oxígeno.

Para incubar las muestras se escogió el método "in situ" por ser más apropiado para los fines de este trabajo. Se sujetaron las botellas a un cable pendiente de una boya a la misma profundidad de la cual fueron tomadas las muestras y que correspondió a 100, 60, y 20%, de la intensidad luminosa en la superficie.

Para medir la intensidad de la luz se usó un fotómetro submarino, se esti-

mó la transparencia del agua por medio de un disco de Secchi.

El tiempo promedio de incubación para las muestras fue de 2 horas y se realizó en general, entre las 10 y 12 horas a. m., momento en que el sol estaba cerca del zenit. Se evitó en todo momento sombras no naturales sobre las incubaciones.

En las estaciones 12, 14 y 16 se incubó solamente a la superficie debido a que la turbiedad del agua, no permitía el paso de la luz.

En todas las estaciones se determinó temperatura, salinidad y oxígeno disuelto como datos hidrológicos (se consideró que el contenido total de C en el agua de las muestras, era el normal en el mar 25 mg C/L).

RESULTADOS

Carbón-14

En general los datos obtenidos muestran, que para esta época del año, el área de estudio presenta una producti-

vidad relativamente alta en comparación con otras zonas del mundo.

Particularmente las estaciones 15 y 17 (Fig. 2), que corresponden a la Sonda de Campeche, presentan altos valores de

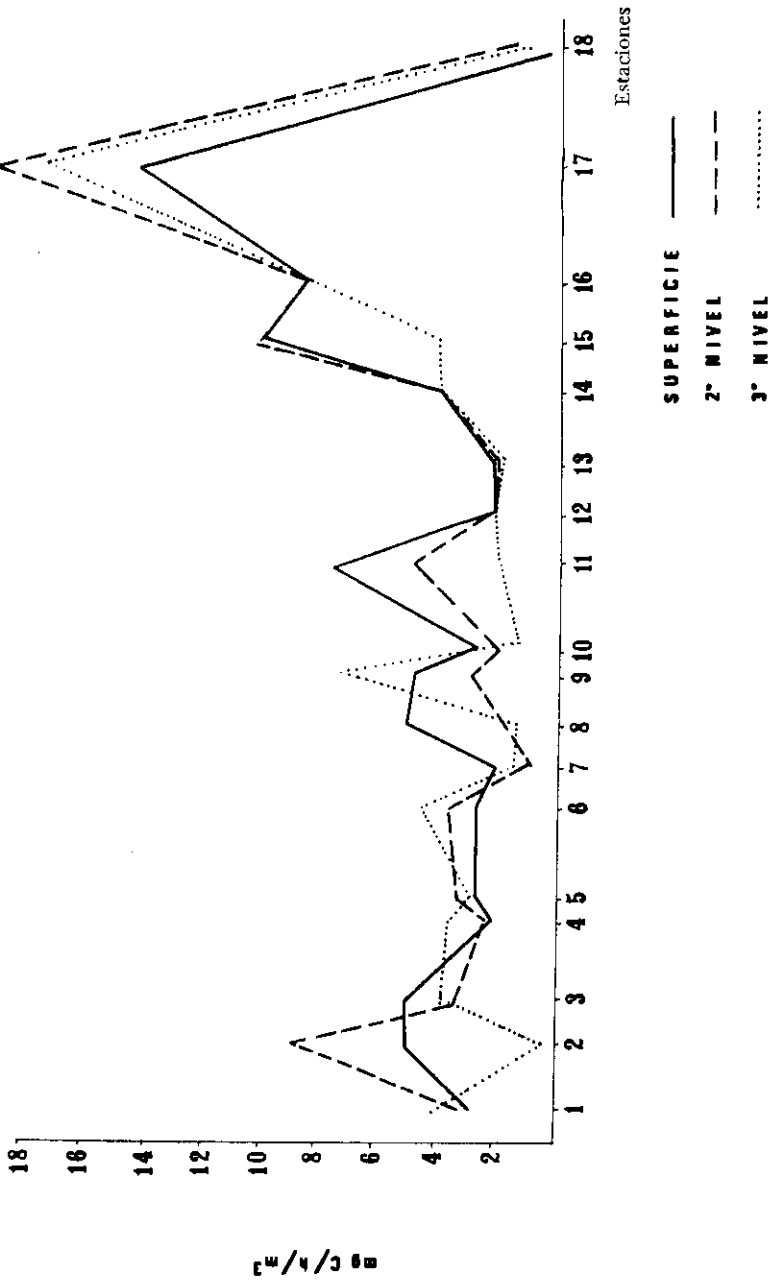


Fig. 2. Producción por Carbono - II.

asimilación. Aunque las estaciones 14 y 16 (tabla 1), presentan valores elevados, éstos sólo corresponden a la superficie y el valor total de la columna debe ser considerablemente menor.

Considerando el valor promedio de los tres niveles como un índice de la producción por columna de agua, se encuentra una zona entre las estaciones 1 y 11, de producción media con un ligero incremento en las estaciones 2, 9 y 11 que aunque presentan ambas los máximos valores en diferente nivel, alcanzan aproximadamente el mismo valor promedio.

Al contrario las estaciones 7, 10 y 13 presentan una producción primaria relativamente baja (la estación 12 se encuentra en el mismo caso que la 14 y 16). La 7 marca el punto de menor producción en todo el litoral, ya que los valores obtenidos en la estación 18, corresponden a un arrecife coralina a 90 millas de la costa y no a una zona litoral.

Oxígeno

Los datos obtenidos por el método del oxígeno mostraron en casi todas las estaciones, resultados de difícil interpretación, ya que los valores resultantes no permitían establecer relaciones cuantitativas entre las botellas correspondientes a la misma incubación.

Se intentó procesar los resultados mediante las fórmulas propuestas por Strickland (1968), para obtener en mg, C/h/m³, la fotosíntesis neta, fotosíntesis bruta y respiración. Para ello se utilizó un valor de 1.2 para el coeficiente fotosintético y de 1.0 para el coeficiente respiratorio (Strickland, 1960). Los resultados en esta forma obtenidos mostraron valores de carácter tanto positivo como negativo, independientemente de la función que se quisiera estimar. Como no es posible considerar un valor negativo de respiración como producción, se consideró que la información obtenida de esta manera no era interpretable. La magnitud de los valo-

TABLA 1
RESULTADOS DE HIDROLOGÍA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

| Est. | Muest. m. | HIDROLOGÍA | | | | 14 c | | | OXÍGENO | | | |
|------|--------------|-------------|-----------|------------------------|------------------------------|----------------------|-------|------|---------|------|-------|------|
| | | Temp. °C | Sal. ‰ | O ₂ ml/l | Sat. O ₂ ml/1% | mgC/h/m ³ | Inst. | | Clara | | Obsc. | |
| | | | | | | | ml/l | mgC | ml/l | mgC | ml/l | mgC |
| 1 | 0 | 28.11 | 36.554 | 3.72 | 4.35 | 2.20 | 3.72 | 1.99 | 4.22 | 2.25 | 3.21 | 1.21 |
| | 2 | 25.87 | 36.393 | 4.05 | 4.55 | 2.46 | 4.05 | 2.16 | 4.22 | 2.25 | 4.39 | 2.34 |
| | 7 | 25.78 | 36.358 | 4.14 | 4.50 | 2.84 | 4.14 | 2.21 | 4.56 | 2.43 | 4.31 | 2.30 |
| 2 | 0 | 26.01 | 36.575 | 1.18 | 4.50 | 5.28 | 1.18 | 0.63 | 3.72 | 1.99 | 3.55 | 1.89 |
| | 1 | 25.77 | 36.515 | 1.86 | 4.52 | 8.90 | 1.86 | 0.99 | 4.31 | 2.30 | 4.39 | 2.34 |
| | 5 | 23.58 | 36.424 | 4.05 | 4.70 | 0.00 | 4.05 | 2.16 | 3.55 | 1.89 | 3.88 | 2.07 |
| 3 | 0 | 24.29 | 36.445 | 4.39 | 4.65 | 5.11 | 4.39 | 2.34 | 3.72 | 1.99 | 3.88 | 2.07 |
| | 1 | 24.33 | 36.487 | 4.05 | 4.65 | 3.50 | 4.05 | 2.16 | 4.14 | 2.21 | — | — |
| | 5 | 23.63 | 36.507 | 4.31 | 4.70 | 3.36 | 4.31 | 2.30 | 4.05 | 2.16 | 4.05 | 2.16 |
| 4 | 0 | 23.00 | 36.415 | 4.73 | 4.72 | 2.25 | 4.73 | 2.53 | 3.88 | 2.07 | 3.88 | 2.07 |
| | 1 | 22.88 | 36.395 | 4.73 | 4.72 | 2.42 | 4.73 | 2.53 | 4.39 | 2.34 | 4.31 | 2.30 |
| | 4 | 22.81 | 36.444 | 4.90 | 4.72 | 3.41 | 4.72 | 2.53 | 4.56 | 2.43 | 4.22 | 2.25 |

TABLA 1

RESULTADOS DE HIDROLOGIA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (Continuación)

| Est. | Muest. m. | HIDROLOGÍA | | | | 14 c | | OXÍGENO | | | | | |
|------|--------------|-------------|-----------|------------------------|------------------------------|----------------------|-------|---------|-------|------|-------|------|--|
| | | Temp. °C | Sal. ‰ | O ₂ ml/l | Sat. O ₂ ml/1% | mgC/h/m ³ | Inst. | | Clara | | Obsc. | | |
| | | | | | | | ml/l | mgC | ml/l | mgC | ml/l | mgC | |
| 5 | 0 | 26.80 | 35.717 | 4.39 | 4.48 | 2.72 | 4.39 | 2.34 | 4.39 | 2.34 | 5.24 | 2.80 | |
| | 1 | 26.67 | 35.837 | 4.39 | 4.48 | 3.37 | 4.39 | 2.34 | 4.63 | 2.53 | 4.90 | 2.62 | |
| | 5 | 26.80 | 36.165 | 4.48 | 4.45 | 2.83 | 4.48 | 2.39 | 4.56 | 2.43 | 4.56 | 2.43 | |
| 6 | 0 | 24.30 | 36.635 | 3.80 | 4.60 | 2.75 | 3.80 | 2.03 | 4.56 | 2.43 | 4.90 | 2.62 | |
| | 1 | 23.99 | 36.479 | 3.21 | 4.65 | 3.81 | 3.21 | 1.71 | 4.73 | 2.53 | 4.39 | 2.34 | |
| | 8 | 22.52 | 36.499 | 4.73 | 4.76 | 4.27 | 4.73 | 2.53 | 4.39 | 2.34 | 4.73 | 2.53 | |
| 7 | 0 | 26.50 | 36.696 | 4.39 | 4.45 | 2.12 | 4.39 | 2.34 | 5.24 | 2.80 | 4.73 | 2.53 | |
| | 2 | 24.23 | 36.300 | 4.23 | 4.65 | 0.95 | 4.23 | 2.25 | 5.07 | 2.71 | 4.73 | 2.53 | |
| | 11 | — | 36.511 | 4.39 | 4.50 | 1.44 | 4.39 | 2.34 | 5.24 | 2.80 | 4.90 | 2.62 | |
| 8 | 0 | 26.11 | 31.276 | 2.19 | 4.65 | 5.37 | 2.19 | 1.17 | 4.39 | 2.34 | 5.24 | 2.80 | |
| | 1 | 23.43 | 36.345 | 3.38 | 4.72 | 1.80 | 3.38 | 1.80 | 3.46 | 1.85 | — | — | |
| | 9 | 22.96 | 36.503 | 4.05 | 4.75 | 1.38 | 4.05 | 2.16 | 4.39 | 2.34 | 4.59 | 2.34 | |
| 9 | 0 | 25.20 | 34.125 | 2.36 | 4.62 | 4.93 | 2.36 | 1.26 | 4.73 | 2.53 | 4.56 | 2.43 | |
| | 1 | 24.77 | 36.212 | 2.19 | 4.62 | 3.00 | 2.19 | 1.17 | 4.39 | 2.71 | 4.05 | 2.16 | |
| | 7 | 22.81 | 36.440 | 3.38 | 4.75 | 7.35 | 3.38 | 1.80 | 5.24 | 2.80 | 4.73 | 2.53 | |
| 10 | 0 | 24.27 | 36.355 | 4.56 | 4.65 | 2.65 | 4.56 | 2.43 | 3.55 | 1.89 | 5.24 | 2.80 | |
| | 2 | 23.97 | 36.367 | 3.04 | 4.40 | 1.89 | 3.04 | 1.62 | 4.73 | 2.53 | 5.07 | 2.71 | |
| | 9 | 22.11 | 36.534 | 4.05 | 4.80 | 1.16 | 4.05 | 2.16 | 4.81 | 2.57 | 5.32 | 2.84 | |
| 11 | 0 | 28.43 | 34.964 | 4.56 | 4.40 | 7.59 | 4.56 | 2.43 | 4.90 | 2.62 | 4.56 | 2.43 | |
| | 1 | 28.24 | 35.176 | 4.39 | 4.40 | 5.05 | 4.39 | 2.34 | 4.48 | 2.39 | 4.39 | 2.34 | |
| | 7 | 27.95 | 35.602 | 4.22 | 4.40 | 1.48 | 4.22 | 2.25 | 4.39 | 2.34 | 4.05 | 2.16 | |
| 12 | 0 | 28.01 | 25.046 | 3.88 | 4.70 | 2.16 | 3.88 | 2.07 | 3.69 | 1.95 | 3.69 | 1.95 | |
| 13 | 0 | 28.13 | 35.382 | 4.56 | 4.40 | 2.42 | 4.56 | 2.42 | 4.73 | 2.53 | 4.65 | 2.48 | |
| | 2 | 28.15 | 35.375 | 4.56 | 4.40 | 2.22 | 4.56 | 2.43 | 4.73 | 2.51 | 4.56 | 2.43 | |
| | 10 | 28.35 | 35.699 | 4.56 | 4.45 | 2.11 | 4.56 | 2.43 | 4.56 | 2.43 | 4.48 | 2.34 | |
| 14 | 0 | 28.71 | 14.890 | 4.05 | 4.95 | 4.10 | 4.05 | 2.16 | 4.59 | 2.44 | 4.42 | 2.35 | |
| 15 | 0 | 25.36 | 36.160 | 3.63 | 4.55 | 10.10 | 3.63 | 1.94 | 4.22 | 2.25 | 4.05 | 2.16 | |
| | 1 | 25.37 | 36.155 | 3.21 | 4.55 | 10.00 | 3.21 | 1.71 | 4.56 | 2.43 | 4.05 | 2.16 | |
| | 5 | 24.21 | 36.345 | 3.38 | 4.65 | 4.35 | 3.38 | 1.80 | 4.22 | 2.25 | 4.39 | 2.39 | |
| 16 | 0 | 24.41 | 35.888 | 4.22 | 4.65 | 8.51 | 4.22 | 2.25 | 3.91 | 2.08 | 4.25 | 2.27 | |
| 17 | 0 | 28.63 | 36.149 | 4.14 | 4.30 | 14.38 | 4.14 | 2.21 | 4.22 | 2.25 | 3.88 | 2.03 | |
| | 1 | 28.64 | 36.177 | 4.22 | 4.30 | 17.22 | 4.22 | 2.25 | 4.30 | 2.34 | 3.72 | 1.99 | |
| | 4 | 28.59 | 36.550 | 3.46 | 4.28 | 14.60 | 3.46 | 1.85 | 3.72 | 1.99 | 3.72 | 1.99 | |
| 18 | 0 | 28.98 | 36.641 | 4.50 | 4.30 | 0.20 | 4.50 | 2.41 | 4.37 | 2.34 | 4.39 | 2.34 | |
| | 2 | 28.95 | 36.621 | 4.22 | 4.30 | 1.26 | 4.22 | 2.25 | 4.39 | 2.34 | 4.48 | 2.39 | |
| | 11 | 28.92 | 36.649 | 4.22 | 4.30 | 0.85 | 4.22 | 2.25 | 4.39 | 2.34 | 4.39 | 2.34 | |

TABLA 2
VARIANTES EN LA PRODUCCIÓN POR OXÍGENO

| | |
|--|-------------|
| 1) Producción normal | CI > I > Ob |
| 2) Producción; respiración no registrada en b. obscura | CI > I = Ob |
| 3) Producción en botella clara y obscura (> en clara) | CI > Ob > I |
| 4) Producción en botella clara y obscura (= en ambas) | CI = Ob > I |
| 5) Producción en botella clara y obscura (> en obscura) | Ob > CI > I |
| 6) Producción en botella obscura y no en clara | Ob > CI = I |
| 7) Producción en botella obscura y respiración clara | Ob > I > CI |
| 8) No hay producción; respiración en botella obscura | CI = I > Ob |
| 9) No hay producción; respiración en ambas (< en clara) | I > Ob > CI |
| 10) No hay producción; respiración en ambas < en obsc.) | I > CI > Ob |
| 11) No hay producción; respiración en ambas (= en ambas) | I > CI = Ob |
| 12) No hay producción; respiración en botella clara | Ob = I > CI |

res obtenidos, sin considerar su valor positivo o negativo, fue de 10 a 100 veces diferente a los obtenidos por ^{14}C . Resultados obtenidos por Ryther y Vaccaro (1954), Steemann Nielsen (1958) y Ryther (1954), muestran diferencias similares, pero con sistemas de incubación diferentes.

En vista de que los valores no podían ser procesados en la forma anteriormente mencionada, se intentó estimar la cantidad de carbón asimilado por la fotosíntesis y consumido por la respiración, dando el mismo valor a los coeficientes fotosintético y respiratorio antes mencionados pero los valores así obtenidos mostraron muy poca variación y concentraciones cercanas a dos gramos de C/m^3 por el período de incubación. Dado que dichos valores fueron exageradamente elevados, se descartó el método.

Sabiendo que los valores obtenidos no servirían para estimar la tasa de producción, se decidió expresarlos como mg de C , de acuerdo a la fórmula dada por Margaleff (1967), tabla 1.

Dado que en los experimentos de oxígeno los valores obtenidos mostraron ser difícilmente interpretables, se trató de definir la tendencia mostrada por las incubaciones realizadas, en cuanto

a producción o respiración. De acuerdo con lo expuesto por Gaarder y Gran (1927), la diferencia en el contenido de oxígeno disuelto en los frascos experimentales, muestra las tasas de producción y respiración como fue expuesto

TABLA 3
PRODUCCIÓN POR OXÍGENO
(De acuerdo con la tabla 2)

| Estación | Producción por nivel | | | Producción por columna |
|----------|----------------------|----|----|------------------------|
| | 1° | 2° | 3° | |
| 1 | 1 | 5 | 3 | POSITIVA |
| 2 | 2 | 5 | 9 | POSITIVA |
| 3 | 2 | 5 | 9 | DUBOSA |
| 3 | 9 | — | 4 | DUBOSA |
| 4 | 4 | 10 | 10 | NEGATIVA |
| 5 | 6 | 5 | 4 | POSITIVA |
| 7 | 3 | 3 | 3 | POSITIVA |
| 8 | 5 | — | 4 | POSITIVA |
| 9 | 3 | 3 | 3 | POSITIVA |
| 10 | 7 | 5 | 5 | DUBOSA |
| 11 | 2 | 2 | 1 | POSITIVA |
| 12 | 9 | — | — | NEGATIVA |
| 13 | 3 | 2 | 8 | POSITIVA |
| 14 | 3 | — | — | POSITIVA |
| 15 | 3 | 3 | 5 | POSITIVA |
| 16 | 12 | — | — | NEGATIVA |
| 17 | 1 | 1 | 4 | POSITIVA |
| 18 | 11 | 5 | 4 | POSITIVA |

anteriormente, entonces si se utilizan los valores obtenidos como indicadores del proceso efectuado, puede definirse la tendencia mostrada por las incubaciones, esto es, si el contenido de oxígeno disuelto es mayor en la botella clara que en la instantánea, se efectuó un proceso fotosintético positivo; si el contenido es menor en las botellas claras y oscuras que en la instantánea, sólo hubo respiración. De esta forma es posible analizar cada una de las incubaciones realizadas y determinar su comportamiento, como se puede ver en la tabla 2.

Si se arreglan numéricamente las variaciones obtenidas, con respecto a la columna de aguas es posible, mostrar el resultado probable de las incubaciones realizadas y determinar si se efectuó un proceso principalmente respiratorio o fotosintético (tabla 3).

Esta forma de procesamiento, utiliza los valores obtenidos por el método como un indicador de los procesos realizados en las muestras, pero no indica que sea el fitoplancton de la muestra el responsable de los valores obtenidos, como se discutirá posteriormente.

El tratamiento dado a los resultados muestra que se realizó una producción aparentemente positiva en todas las estaciones, a excepción de la 4, 12 y 16 que no presentaron producción. Mientras que las estaciones 3 y 10 son de interpretación dudosa.

Entre las estaciones con producción positiva, la 7, 9, 11, 14 y 17 resultaron muy marcadas, y las demás con carácter positivo pero, menos señalado. Se puede observar, si se comparan, la figura 2 y la tabla 5, una ligera correlación entre los datos de oxígeno y ^{14}C , sobre todo en estas estaciones.

DISCUSIÓN

Como se puede ver en los resultados, los valores obtenidos por medio del método del oxígeno, son en general poco confiables. El hecho de que las fórmulas propuestas por Strickland (1968), no se hayan podido aplicar señala probablemente la influencia específica de este medio particular sobre las incubaciones realizadas.

Se considera que estos valores poco confiables no se deben a falta de capacidad del analista o a errores en el trabajo de campo o planeación del mismo. El método de evolución del oxígeno ha sido ampliamente usado para estimar la producción primaria de aguas oceánicas, o litorales moderadamente eutróficas y con poca influencia continental, donde ha dado resultados más o menos correctos. Sin embargo Steemann Nielsen (1958), mostró que en aguas oligotróficas los resultados obtenidos por este método, eran poco aceptables.

El método de Winkler para estimar el contenido de oxígeno disuelto que se utilizó en este trabajo, ha probado ser muy eficiente. El período de incubación que se utilizó se considera correcto (2 horas), aunque autores como Ryther y Vaccaro (1954), propagan períodos de incubación mayores de 24 horas para el oxígeno. Ya que no toman en cuenta la acción producida por la respiración bacteriana, por otro lado Doty y Ogury (1957), mostraron que en el proceso fotosintético existe una periodicidad que hace muy peligroso usar períodos largos de incubación. Basados en estos resultados, varios autores decidieron adoptar lapsos cortos de incubación, a una hora en que el sol estuviera cerca de zenit.

Así Talling (1961) y Soeder (1965), aconsejan incubaciones de incluso una hora en áreas de alta producción. M. Angot (comunicación personal) estima

que periodos de 2 a 4 horas son lo más indicado; Steemann Nielsen (1958) y Strickland (1960) son de la misma opinión. El hecho de utilizar, antes de la publicación de los trabajos de Doty y Ogury sobre la periodicidad fotosintética, lapsos de 24 horas o mayores para las incubaciones, se debió a la dificultad de extrapolar datos de incubaciones cortas a días completos (Ohle, 1958).

Debido a que la mayor parte de los trabajos de comparación realizados están hechos sobre cultivos de laboratorio, impide hasta cierto punto encontrar concordancia entre este trabajo y otros realizados en otras áreas. En el experimento comparativo de Ryther y Vaccaro (1954), en aguas oceánicas, encuentra buena concordancia entre el método del ^{14}C y el método del oxígeno, incubando 6 horas el primero y 24 horas el segundo.

Sin embargo el mismo Ryther (1954), posteriormente encuentra que si bien en aguas oceánicas la productividad obtenida es de 10 a 100 veces mayor en el oxígeno que en el ^{14}C , en aguas costeras la concordancia de los dos métodos es buena (considerando buena una variación 10 veces mayor para el oxígeno con respecto al ^{14}C).

Los valores presentados por Ryther (1954), son muy bajos, lo que sugiere que las aguas costeras en las que él trabajó, son de tipo oceánico y que probablemente el aporte continental que reciben sea insignificante, por lo que no puede considerarse bajo las mismas condiciones que este trabajo. Angot (1966), en Nosy-Bé, Madagascar, encuentra valores de ^{14}C , similares a los expresados en el presente trabajo, en estaciones cercanas a la costa.

Si bien por lo general se considera que el método del oxígeno, es funcional en aguas eutróficas y no oligotróficas (Stemann Nielsen, 1958; Ryther, 1954), parece ser que en aguas eutróficas sólo es funcional hasta cierto punto,

por encima del cual su efectividad decrece rápidamente. La razón de esto podría ser por un lado, debido a la presencia de sustancias fácilmente oxidables en los sedimentos en suspensión (en muestras de agua litoral o lagunar) o productos extracelulares y por otro lado a la excesiva facilidad de sobresaturación de la muestra (en este trabajo las estaciones 4, 5, 7, 11, 13, 17 y 18 presentan valores muy cercanos o mayores al punto de saturación del oxígeno, como se observa en la tabla 1). En el caso particular del presente trabajo, se estima que dichos puntos pueden ser causa de las alteraciones sufridas, pero no es posible determinar donde actúa uno y donde otro.

El método del ^{14}C mostró datos que podemos considerar reales y que la posibilidad de error, por efecto del tipo de aguas es mínima, o por lo menos constante. En general el método del ^{14}C , presenta el problema de que no se sabe que se está estimando; si la producción neta, producción bruta o algún punto entre las dos (Stemann Nielsen, 1963; Yentsch, 1963). Strickland (1960), considera que si bien podría ser un punto intermedio entre las dos, este es más bien cercano a la producción neta.

La ventaja que el método del oxígeno tiene sobre el método del ^{14}C , está en que puede mostrar zonas con déficit en la producción mientras que el ^{14}C mostrará siempre una producción positiva (Margalef, 1967).

Stemann Nielsen y Hansen (1959), propusieron un método para estimar la respiración y evitar este inconveniente en su técnica, pero no se ha considerado útil ya que se basa en una extrapolación teórica a partir de los datos obtenidos.

El encontrar una alta producción en las botellas oscuras, podría explicarse si fueran casos locales, como un fenómeno de quimiosíntesis a partir de energía almacenada en la propia célula (Stee-

mann Nielsen y Jorgensen, 1968), pero siendo tan amplio el efecto es preferible no considerar esta explicación si no es posible demostrarlo.

Respecto a los dos métodos, Fogg (1963) afirma que miden la tasa de reacciones fotosintéticas diferentes, por lo cual no pueden esperarse resultados concordantes. Strickland (1960), al hablar del método del oxígeno, aclara que en poblaciones naturales el coeficiente fotosintético, es inexacto al menos en un 10%, lo que bien puede impedir la concordancia entre los resultados.

Es necesario considerar además que la sensibilidad del ^{14}C es mucho mayor que la del oxígeno (Vollenweider, 1969; Ryther, 1954 y Strickland, 1960). Por otro lado Doty y Ogury (1958), afirman

que en el método del ^{14}C , la fuente de error sólo puede provenir durante la obtención y tratado de las muestras, de una mala manipulación por un técnico poco calificado para realizar ese trabajo.

En estudios anteriores hechos en lagunas litorales del noroeste de México, se presentó en las incubaciones de oxígeno el mismo problema que en el presente trabajo; con el método del ^{14}C no se podría trabajar debido a que la fuerte concentración de sedimentos en suspensión taponaba los filtros y enmascaraba las radiaciones beta del ^{14}C . M. Angot (comunicación personal), trató de utilizar un sistema de filtración previa para eliminar los sedimentos, pero los resultados obtenidos no fueron satisfactorios.

CONCLUSIONES

1. El método del carbón-14, reflejó una zona de productividad variable, que en general fue alta, especialmente para la Sonda de Campeche.

2. El método por evolución del oxígeno, dio valores difícilmente interpretables, y solamente pudo reflejar el patrón mostrado por el ^{14}C .

3. No pudo definirse concretamente la razón por la cual, el método del oxígeno mostró datos poco confiables, pero se considera que es un efecto del medio ambiente, más que un comportamiento irregular de la población fitoplanctónica, como podría ser la presencia de sustancias fácilmente oxidables, o productos extracelulares o también metabolismo bacteriano. De intentarse utilizar este método para estimar la productividad primaria en aguas lagunares,

es recomendable hacer un análisis químico del agua en cuestión, para tratar de definir la presencia de sustancias que pudieran intervenir en el método y asimismo determinar la influencia bacteriana.

4. Aunque en este trabajo los resultados obtenidos por el método del ^{14}C , son buenos, se considera que en otros experimentos puede incurrirse en un riesgo cuyo porcentaje no es posible definir, de no incluirse otros métodos adicionales.

5. De trabajarse en aguas de este tipo con el método del ^{14}C , es necesario utilizar un sistema de diluciones, esta variante del método es efectiva, si antes se determina el error introducido por las diluciones. (Stemann Nielsen, comunicación personal).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a M. Angot (UNESCO, Instituto de Biología UNAM) y A. Ayala-Castañares (Instituto de Biología, UNAM), su asesoramiento en el desarrollo del trabajo y

al Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, la UNESCO y la Secretaría de Marina las facilidades proporcionadas para el estudio.

LITERATURA CITADA

- ANGOT, M., 1966. Hydrologie et phytoplancton de l'eau de surface en avril 1965 a Nosy Bé. *Cha. O.R.S.T.O.M. Sér. Oceanogr.*, 4(1):95-136, 14 figs.
- , 1968. Variations de la production primaire au environs de Nosy Bé (Madagascar) en 1965. *Cah.O.R.S.T.O.M. Sér. Oceanogr.*, 6(2):3-31, 6 figs
- COOPER, L. N. H., 1958. Consumption of nutrient salts in the English Channel as a means of measuring production: In: Høst A. F. (Ed.) *Contributions to Plankton Symposium*. Rapp. Cons. Explor. Mer., 144:35-37, 1 fig.
- DOTY, M. S. y M. OGURY, 1957. Evidence for a daily periodicity. *Limnol. and Oceanogr.*, 2(3):37-40.
- , 1958. Selected features of the isotopic carbon primary productivity technique. In: Høst, A. F. (Ed.) *Contributions to Plankton Symposium*. Rapp. Cons. Explor. Mer., 144: 47-55, 5 figs.
- EMERSON, R., 1929. Relation between maximum rate of photosynthesis and chlorophyll concentration. *J. Gen. Physiol.*, 12:69-75.
- FOGG, G. E., 1963. The role of algae in organic production in aquatic environments. *British Phyc. Bull.*, 2:195-205.
- , 1969. *Photocynthesis*. English Univ. Press., 116 p., 41 figs.
- GAARDNER, T. y H. H. GRAN, 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapp. Cons. Explor. Mer.* 42(3): 24-29.
- MARGALEF, R., 1967. La vida suspendida en las aguas. In: Fund. La Salle (Ed.) *Ecología Marina*, 493-562, 18 figs.
- OHLE, W., 1958. Diurnal production and destruction rates of phytoplankton in lakes. In: Høst, A. F. (Ed.) *Contributions to Plankton Symposium*. Rapp. Explor. Cons. Mer., 144:129-131, 2 figs.
- RILEY, G. A., 1941a. Plankton Studies III., *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 7(4).
- , 191 b. Plankton Studies IV. George's Bank. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 7(4).
- RYTHER, J. H., 1954. The ratio of photosynthesis to respiration in marine plankton algae and its effect upon the measurement of productivity. *Deep Sea Research.*, 2(2): 134-139, 2 figs.
- RYTHER, J. H. y R. F. VACCARO, 1954. A comparison of the O₂ and ¹⁴CO₂ methods of measuring marine photosynthesis. *J. Cons. Explor. Mer.* 20:25-34, 3 figs.
- RYTHER, J. H. y C. S. YENTSCH, 1958. Primary production of continental shelf waters off New York. *Limnol. and Oceanogr.*, 3(2):327-332.
- SOEDER, C. J., 1965. Some aspects of phytoplankton growth and activity. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Suppl.*, 18:47-59.
- STEEEMANN NIELSEN, E., 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Explor. Mer.* 18:117-140.
- , 1958. Experimental methods for measuring organic production in the sea. In: Hill, M. N. (Ed.) *The Sea*. Interscience New York, 2:129-164, 20 figs.
- STEEEMANN NIELSEN, E. y V. K. HANSEN, 1959. Measurements with the carbon-14 technique of the respiration rates in natural populations of phytoplankton. *Deep Sea Research*, 5:222-232, 10 figs.
- STEEEMANN NIELSEN, E. y E. G. JORGENSEN, 1968. The adaptation of plankton algae III. With special considerations of their importance in nature. *Phys. Plant.*, 21:647-654.
- STRICKLAND, J. D. H., 1960. Measuring the marine production of phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 122:1-172.
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS, 1968. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Canada*, 167:1-311.
- TALLING, J. F., 1961. Photosynthesis under natural conditions. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 12:133-154.
- VOLEENWEIDER, R. A., 1969. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. *Intern. Biol. Progr.*, 12:1-213.
- YENTSCH, C. S., 1963. Primary Production. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1:157-175