

## Respuestas fotosintéticas del fitoplancton de una zona costera del Golfo de México que recibe descargas térmicas

Amparo Martínez-Arroyo, Sofía Abundes e Irma Rosas

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria 04510 México. D.F. Fax: (525) 616 07 89 MEXICO. Email: amparo@ccaunam.atmosfcu.unam.mx

Recibido 14-I-1999. Corregido 12-III-1999. Aceptado 12-IV-1999.

**Abstract.** Photosynthetic behavior of phytoplankton was analyzed emphasizing the short-term responses to light and temperature. Samples were obtained in a tropical coastal zone with permanent hot water discharges from a thermoelectric plant. They were collected in five periods between March 1993 and October 1994 in four sites where temperatures ranged from 23 to 36 °C. Field data analysis did not show significative differences between the species composition and relative abundance of communities from different sampling sites. Response to photosynthesis experiments was segregated according to the origin of microalgae assemblages and composition of samples. Photosynthesis behavior presented alterations in algae assemblages sampled in the site where hot water is discharged, such as rates reduction, higher light requirements, and lower temperature to achieve photosynthetic production than the other algae communities. Therefore, both structure and function analysis must be integrated in order to understand better the disturbed ecosystems.

**Key words:** phytoplankton, photosynthesis, tropical coast, thermal pollution.

El desarrollo y crecimiento de plantas termoeléctricas a lo largo de las costas tropicales y subtropicales durante las últimas tres décadas, y la perspectiva de que se incremente exponencialmente su número en los próximos años, hace necesario conocer las respuestas de los ecosistemas que reciben de manera continua las descargas. Este tipo de industria se desarrolla desde principios de siglo en latitudes templadas y frías por lo que las investigaciones más antiguas se refieren a esas regiones (Naylor 1965, Hamilton *et al.* 1970, Hirayama e Hirano 1970). Los estudios sobre los efectos de descargas térmicas en el fitoplancton son numerosos, pero distan mucho de ser homogéneos en sus conclusiones, tanto sobre la importancia del impacto como sobre sus mecanismos (Morris y Glover 1974, Goldman y Davidson 1977, Sanders *et al.* 1981, Langford 1990).

Este trabajo se llevó a cabo de marzo de 1993 a octubre de 1994 en la costa de Tuxpan,

Veracruz, en el Golfo de México (21 ° 08' N 97° 10' O) frente a la planta termoeléctrica Adolfo López Mateos, la cual desde el inicio de su funcionamiento en 1989 ha generado distintos microambientes en la línea de costa, al utilizar agua del mar para el enfriamiento de sus unidades y regresarla nuevamente con la temperatura elevada en alrededor de diez grados centígrados.

Considerando que la redundancia de los procesos fisiológicos en las poblaciones naturales hace que las especies del fitoplancton reaccionen en conjunto como si fueran una superespecie (Yentsch y Phinney 1985), el estudio se diseñó para evaluar el comportamiento fotosintético en el conjunto de las poblaciones naturales que estuvieran en muestras colectadas a la misma profundidad, con una botella Van Dorn de 3 litros, en sitios fijos de muestreo. Las estaciones se seleccionaron en razón de su ubicación respecto a la planta termoeléct-

trica y las corrientes de agua en la costa, las cuales en la superficie tienen un componente hacia el norte la mayor parte del año (Vidal *et al.* 1990). La estación 1 está situada en la línea de costa, en el extremo sur de la planta, corresponde al área de entrada de agua; la estación 2 está situada cuatro kilómetros mar adentro; la estación 3 a una distancia de 500 m frente a la zona que recibe el agua y la estación 4 se ubica en la salida del canal de descarga de la termoeléctrica, en el extremo norte de la planta.

En estas estaciones se registraron en perfil vertical la temperatura, el oxígeno, el pH, luz fotosintéticamente activa (PAR) y la concentración de nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos.

Para las dos primeras variables se utilizó un oxímetro de campo YSI modelo 58, el pH se registró con un potenciómetro digital Cole-Parmer, la luz con un cuantómetro Li-Cor con sensor 193UW. El análisis de nutrientes se llevó a cabo en un equipo automatizado (Tecator y Autoanalyzer II de Perkin Elmer) y siguiendo los métodos descritos en Treguer y Le Corre (1975).

Las muestras fueron colectadas en muestreos mañana y tarde de 5 a 10 días consecutivos. Las muestras para experimentos de fotosíntesis (profundidad de un metro) se tomaron por triplicado, homogeneizándolas en el laboratorio. Posteriormente se filtró un litro de cada muestra homogeneizada, con filtros Whatman GF/F, utilizando acetona al 90% como solvente para cuantificación de clorofila *a* en un fluorómetro marca Turner (modelo 450) según el método de Holm-Hansen *et al.* (1965). Se fijaron 250 ml con acetato lugol, para identificación y cuantificación de organismos en microscopio invertido (Olympus CK2) por el método de Utermöhl (Vollenweider 1974). Las muestras experimentales se pasaron a través de una malla de 73  $\mu\text{m}$  para separar zooplanctones mayores y se mantuvieron a temperatura constante en el laboratorio, protegidas de la luz. Los experimentos se efectuaron el mismo día de muestreo.

Las mediciones de producción de oxígeno a luz constante y cambiando temperaturas (de 20 a 40 °C, con aumento de 5 grados cada 15

minutos hasta llegar a 40 °C y disminuyendo de la misma forma), se realizaron por medio de incubaciones por duplicado en botellas DBO de 300 ml. con proyectores de diapositivas como fuente luminosa (800-1000  $\text{E m}^2 \text{s}^{-1}$ ). La evolución de la concentración de oxígeno se siguió con dos oxímetros (YSI modelo 58 y Orion modelo 800) con agitador integrado. Un testigo de agua filtrada se sometió al mismo tratamiento con cada serie de experimentos para descontar los cambios en la concentración de oxígeno debidos a reacciones fisicoquímicas del agua.

Las curvas de irradiance-fotosíntesis (I-P) se elaboraron mediante experimentos realizados en un sistema integrado por una celda de 3.5 ml, sensor polarográfico de oxígeno, control de temperatura, luz y agitación magnética (Hansatech) diseñado por Walker (1990). Mediante estas curvas se obtienen los parámetros característicos de la fotosíntesis: producción máxima ( $P_{\text{max}}$ ), irradiance de saturación ( $I_k$ ) y la pendiente inicial ( $\infty$ ) que indica la eficiencia de captura de fotones. Las incubaciones fueron hechas, por duplicado, a temperatura constante (26°C) aplicando irradiancias crecientes (de 0 a 600  $\text{E m}^2 \text{s}^{-1}$  en los experimentos del mes de Julio y hasta 3000  $\text{E m}^2 \text{s}^{-1}$  en el mes de octubre). Las tasas de producción de oxígeno obtenidas para cada irradiance se graficaron en curvas P-I y los datos experimentales se ajustaron a la formulación exponencial planteada por Platt *et al.* (1980) para incluir la fotoinhibición.

Para comparar los resultados de la producción fotosintética obtenida en las muestras de la estación de entrada con respecto a la de la estación que recibe la descarga, se aplicó la ecuación sugerida por Hamilton *et al.* (1970) para calcular el porcentaje de reducción de fotosíntesis.

Los resultados de temperatura, oxígeno y porcentaje de penetración de luz correspondientes a la profundidad de la toma de muestras experimentales (1 m) en cada estación y mes de muestreo, se presentan en la Fig. 1, al igual que las concentraciones de clorofila y feopigmentos.

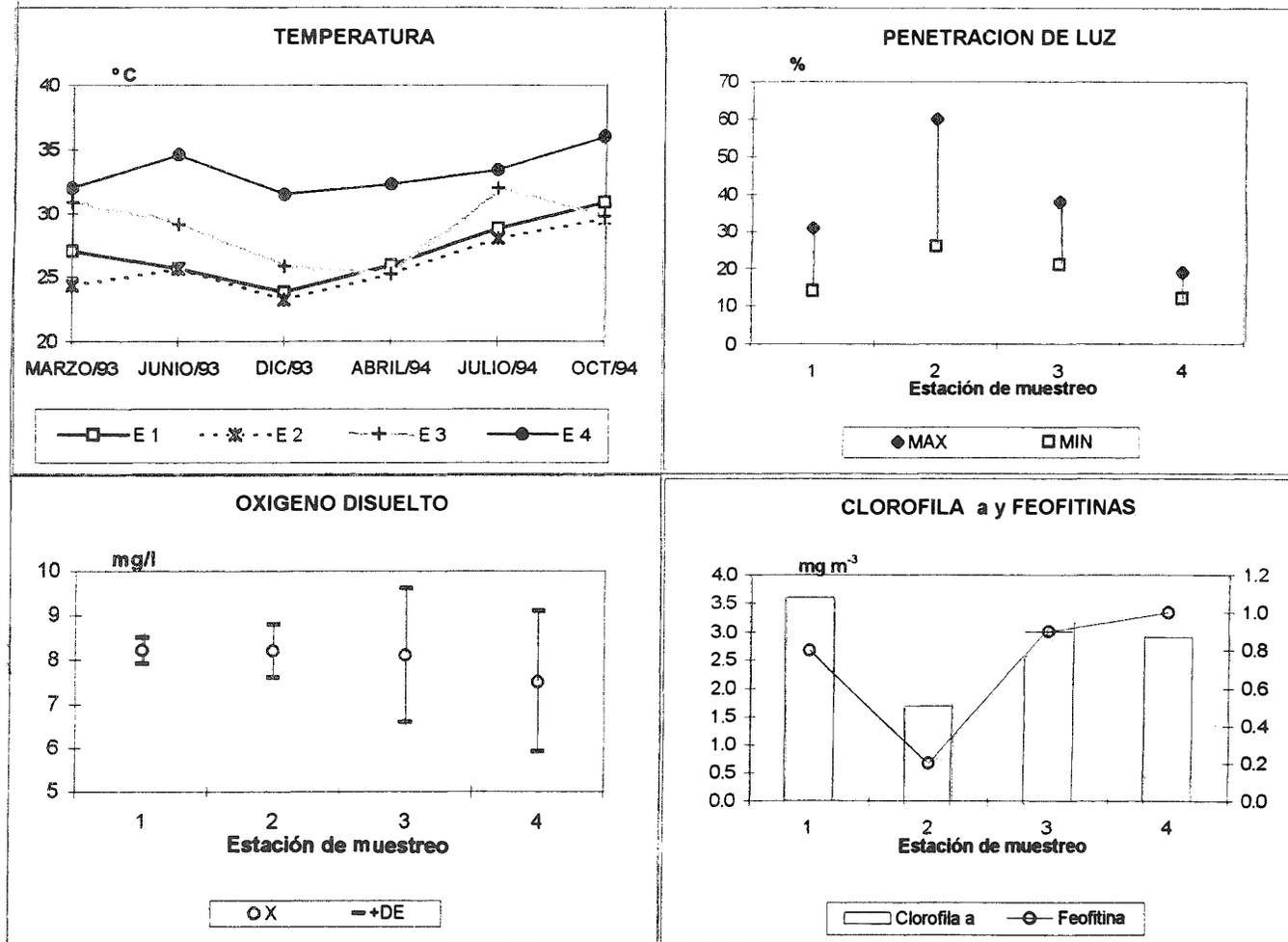


Fig. 1.- Variables físicas y químicas registradas en campo, a un metro de profundidad, en muestreos matutinos durante los seis periodos de muestreo.

El pH mantuvo valores constantes y similares en las cuatro estaciones ( $8.3 \pm 0.08$  en las 3 primeras y  $8.4 \pm 0.05$  en la estación 2). Los nutrientes no mostraron concentraciones limitantes para la fotosíntesis (Geider y Osborne 1992).

Las diatomeas pennales dominaron ampliamente en las muestras, seguidas de las diatomeas céntricas, dinoflagelados, coccolitoforidos y cianobacterias. Silicoflagelados, fitoflagelados y clorofitas tuvieron presencia ocasional. Se identificaron 101 especies distribuidas: 85 en la estación 1, 84 en la estación 2, 83 en la estación 3 y 75 en la estación 4. La mayor reducción en cuanto a especies observada en la estación 4 fue de dinoflagelados y se presentó un aumento de cianobacterias. El análisis de varianza (ANDEVA) y el análisis de varianza multivariado (MANOVA) aplicados al número de células y concentración de clorofila por estación y mes de muestreo sólo mostraron diferencias significativas respecto a la estación 2, que es la más alejada de la playa y tiene una mayor profundidad, lo cual permite que los organismos se distribuyan a lo largo de la capa fótica y exista una menor densidad de población. Sin embargo en esta estación las comunidades presentaron una heterogeneidad mayor en su composición y abundancia relativa, mientras que en las tres estaciones más cercanas a la orilla, la predominancia de diatomeas fue constante. Al analizar sólo las tres primeras estaciones, la estación 3 presenta mayor heterogeneidad en su composición que la 1 y la 4 al tener una posición en la que recibe influencia tanto de la orilla como del mar abierto.

Los primeros experimentos efectuados con botellas DBO de 300 ml. mostraron respuestas tanto en producción de oxígeno como en consumo de éste sólo con los cambios de temperatura y no de irradianza. Esto en principio podría atribuirse a una mayor afectación de los microorganismos heterótrofos, cuya respiración aumentaría al aumentar la temperatura, pero no se realizaron pruebas para confirmarlo. La estación 4 alcanzó sus

valores máximos de producción de oxígeno ( $0.090 \text{ pmol O}_2 \text{ cel}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) a  $25^\circ\text{C}$ . Las muestras provenientes de las estaciones 1, 2 y 3 mostraron mayor tolerancia a la temperatura, alcanzando sus valores máximos de fotosíntesis a  $35$  y  $40^\circ\text{C}$  en los meses de abril y julio; en octubre y diciembre la  $P_{\text{max}}$  se alcanzó a temperaturas entre  $20$  y  $25^\circ\text{C}$ , decayendo a temperaturas mayores. La estación 4 sólo en el mes de julio tuvo producción fotosintética a  $35^\circ\text{C}$ . Los valores de  $P_{\text{max}}$  (en  $\text{pmol O}_2 \text{ cel}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) observados en los experimentos fueron de  $0.031$  a  $0.124$  en la estación 1; de  $0.102$  a  $3.72$  en la estación 2; de  $0.135$  a  $1.92$  en la estación 3 y de  $0.007$  a  $0.090$  en la estación 4. La comparación entre los datos de la zona de entrada del agua a la planta termoeléctrica y la zona de salida utilizando la ecuación de Hamilton *et al.* (1970) da una reducción de la producción fotosintética en la estación 4 del  $27$  al  $77\%$  con respecto a la de la estación 1.

Los experimentos a volúmenes menores se efectuaron en los meses de julio y octubre. En las muestras del mes de julio no se registró producción neta de oxígeno en ninguna de las muestras de la estación 4, mientras que en los experimentos de Octubre presentaron su máxima producción en las muestras vespertinas. Las irradianzas más altas aplicadas en los experimentos del mes de octubre permitieron observar fotoinhibición en muestras algales de las cuatro estaciones. Los valores obtenidos después de ajustar al modelo de Platt *et al.* (1980) para los parámetros fotosintéticos se presentan en el Cuadro 1.

La concentración de feofitina permitiría una primera explicación al hecho de que a biomasa fotosintéticas similares la respuesta fotosintética sea diferente, sin embargo se toma con cautela debido a las interferencias posibles con otros pigmentos que no pueden ser adecuadamente valorados por el método fluorométrico (Jeffrey *et al.* 1997). La composición de la comunidad tiene también un papel, ya que las muestras con mayor diversidad relativa coincidieron con una respuesta fotosintética más alta.

CUADRO 1

Parámetros de las curvas I-P obtenidos del ajuste de datos experimentales al modelo exponencial de Platt *et al.* (1980)

Estación Mes	1				2				3				4	
	Julio		Octubre		Julio		Octubre		Julio		Octubre		Octubre	
Muestreo	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
P <sub>máx</sub>	2.73	2.02	0.54	-	2.50	-	-	0.12	5.53	0.19	-	1.53	0.03	-
P <sub>s</sub>	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	0.09	-	-	1.71
I <sub>k</sub>	2000	600	2158	-	600	-	2158	1200	600	600	1200	1850	2550	1850
$\alpha$	0.01	0.008	0.0005	-	0.01	-	0.0003	0.0004	0.028	0.0001	0.0034	-	0.00005	0.0002

M = Matutino V = Vespertino

P<sub>máx</sub> =  $\mu\text{mol O}_2 \text{ cel}^{-1} \text{ h}^{-1}$

P<sub>s</sub> =  $\mu\text{mol O}_2 \text{ cel}^{-1} \text{ h}^{-1}$

I<sub>k</sub> =  $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

$\alpha$  =  $\mu\text{mol O}_2 \text{ cel}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

La reducción en la fotosíntesis observada en este estudio en las exposiciones cortas a temperaturas mayores a 35 °C, coincide con los resultados de Hirayama e Hirano (1970). Li y Morris (1982) encontraron que las algas que crecen a bajas temperaturas tienen mayor capacidad fotosintética, lo cual coincidiría con los resultados obtenidos en este estudio para las tasas de producción alcanzadas por las muestras de las estaciones 2 y 3 cuyas temperaturas son usualmente menores a las de las otras dos estaciones.

El que las comunidades de ambientes expuestos a altas temperaturas hayan requerido mayores intensidades de luz para presentar producción neta de oxígeno podría sugerir alteración en los fotoreceptores, lo cual se reforzaría con los bajos valores obtenidos en la pendiente inicial ( $\infty$ ) que indica la eficiencia en la captura de fotones (Geider y Osborne 1992).

Si bien los resultados de estructura de las comunidades de fitoplancton en el área de estudio no permiten inferir una alteración grave en sus poblaciones, el funcionamiento fotosintético de conjunto fue notoriamente diferente en la estación expuesta a altas temperaturas.

El área que abarca la influencia de la termoeléctrica podría no representar un problema para el fitoplancton costero pero los efectos acumulativos, tanto a escala espacial como temporal, no se pueden predecir aún. Un se-

guimiento de las comunidades locales integrando tanto estructura como funcionamiento puede proporcionar el conocimiento necesario para detectar tendencias y proponer alternativas de manejo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó dentro del proyecto IN209192 apoyado por la DGAPA, UNAM. Los autores agradecen el apoyo técnico de A. Rocha, R. Cruz y O. Avilés.

#### RESUMEN

Con el fin de conocer el funcionamiento fotosintético de las comunidades de microalgas en ambientes con alteraciones térmicas, se realizaron experimentos de respuesta fotosíntesis-temperatura y fotosíntesis-irradiancia (curvas P-I) con muestras obtenidas en una zona costera tropical en donde una planta termoeléctrica tiene una descarga continua del agua utilizada para enfriamiento de sus instalaciones. Durante cinco períodos de muestreo y experimentación entre marzo de 1993 y octubre de 1994, se obtuvieron registros fisicoquímicos y biológicos de cuatro áreas con distintos microambientes térmicos (entre 23 y 36 °C) y se colectaron las muestras de fitoplancton para experimentación. Los resultados indican que las comunidades expuestas a altas temperaturas (30 °C) requieren mayor cantidad de fotones para producir oxígeno y presentan menor tasa de producción fotosintética que las muestras de microalgas de áreas con menor grado de influencia de la

descarga térmica. El análisis de abundancia relativa de los diferentes taxa presentes en las muestras, así como las concentraciones de clorofila *a* no presentan diferencias significativas entre las estaciones, por lo que se concluye que un enfoque ecofisiológico, que analice tanto estructura como función, es necesario al estudiar ecosistemas alterados.

### REFERENCIAS

- Geider, R. & B. Osborne. 1992. Algal Photosynthesis. Chapman and Hall. Nueva York. 250 p.
- Goldman, J. & J. Davidson. 1977. Physical model of marine phytoplankton chlorination at coastal power plants. *Environ. Sci. Technol.* 11: 908-913.
- Hamilton, D., D. Flemer, C. Keefe & J. Mihursky. 1970. Power Plants: effects of chlorination on estuarine primary production. *Science.* 169: 197-198.
- Hirayama, K. & R. Hirano. 1970 a. Influence of high temperature and residual chlorine on marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 7: 205-213.
- Holm-Hansen, O., C. Lorenzen, R. Holmes & J. Strickland. 1965. Fluorimetric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 30: 3-15.
- Jeffrey S., R. Mantoura & S. Wright. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. UNESCO. París . 661p.
- Langford, T. 1990. Ecological effects of thermal discharges. Elsevier Applied. Science London. Londres, 468 p.
- Li, K. & I. Morris. 1982. Temperature adaptation in *Phaeodactylum tricorutum* Bohlin: Photosynthetic rate compensation and capacity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58: 135-150.
- Morris, I. & H. Glover. 1974. Questions on the mechanism of temperature adaptation in marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 24: 147-154.
- Naylor, E. 1965. Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. *In: Russell y Yonge (eds.) Advances in Marine Biology* 3: 63-103. Academic Press, Londres.
- Platt, T., Gallegos, C. & W. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.* 38: 687-701.
- Sanders, J., J. Ryther & J. Batchelder 1981. Effects of Chlorine and thermal addition on the specie composition of marine phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 49: 81-102.
- Treguer, P. & P. Le Corre. 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Laboratoire d'Océanologie Chimique, Université de Bretagne Occidentale. Francia. 110 p.
- Vidal, M., F. Vidal & A. Hernández. 1990. Atlas Oceanográfico del Golfo de México. Volumen II. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Morelos, México. 707 p.
- Vollenweider, R. 1974. A manual of methods for measuring primary production in aquatic environments, p. 4-50. IBP, Handbook No. 12. Blackwell. Gran Bretaña.
- Walker, D. 1990. The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis. Robert Hill Institute. The University of Sheffield. Reino Unido, pp.1-203.
- Yentsch, C.S. & Phinney, D.A. 1985. Spectral fluorescence: an taxonomic tool for studying the structure of phytoplankton populations. *J. Plankton Res.* 7: 617-632.