
INFLUENCIA DE UN GRADIENTE CRUZADO DE LUZ Y TEMPERATURA EN LA MORFOLOGÍA DE *Scenedesmus acutus* MEYEN var. *globosus* HORTOBÁGYI Y SUS IMPLICACIONES TAXONÓMICAS

INFLUENCE OF A CROSSED GRADIENT OF LIGHT AND TEMPERATURE IN THE MORPHOLOGY OF *Scenedesmus acutus* MEYEN var. *globosus* HORTOBÁGYI AND ITS TAXONOMIC IMPLICATIONS

José A. Acevedo¹ y John J. Ramírez²

Resumen

Se estudió la influencia de un gradiente cruzado de luz y temperatura en la morfología de cenobios de *Scenedesmus acutus* Meyen var. *globosus* Hortobágyi, en comparación con cenobios que crecieron en condiciones naturales. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el diámetro ni en la longitud entre células marginales y células internas de un mismo cenobio; tampoco se hallaron diferencias con implicaciones taxonómicas en el diámetro para ninguna intensidad de luz y temperatura. Se encontró una reducción significativa con implicaciones taxonómicas en la longitud celular para los cenobios que crecieron a 30 y 40 °C independientemente de las intensidades de luz probadas, así como una reducción en la longitud celular con implicaciones taxonómicas para los cenobios que crecieron a 27.05 y 44.09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, independientemente de las temperaturas probadas.

Palabras clave: *Scenedesmus*, gradiente cruzado, cenobio, plasticidad.

Abstract

The influence of a crossed gradient of light and temperature in the morphology of coenobiums *Scenedesmus acutus* Meyen var. *globosus* Hortobágyi was studied in comparison with coenobia that grew in natural conditions. There was no statistical significant difference found in the diameter or longitude between marginal cells and internal cells for the same coenobium, nor differences in the diameter for any intensity of light and temperature with taxonomic implications. There was a significant reduction found in the cellular length for the coenobia that grew at 30 and 40 °C independently of the intensity of the tested light. Likewise, a reduction in cellular length was found for the coenobia that grew at 27.05 y 44.09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, independently of the tested temperature.

Key words: *Scenedesmus*, cross gradient, coenobium, plasticity.

INTRODUCCIÓN

La plasticidad fenotípica se refiere a la habilidad de un genotipo individual para producir varios fenotipos bajo condiciones ambientales fluctuantes. El origen de las propiedades emergentes como resultado de la interacción genética y la dependencia de estas propiedades de los ambientes celulares interno y externo, capacitan a los organismos para responder con diferentes opciones fenotípicas a las fluctuaciones del medio. Por

ello, el dogma “un morfo, un taxón” no debe seguir siendo considerado como el fundamento de los sistemas de clasificación algal (Morales y Trainor, 1999). La plasticidad es una cualidad universal de la vida (West-Eberhard, 1989) que debe ser incorporada dentro de las consideraciones taxonómicas de los organismos. Con este propósito se desarrolla la presente investigación, pues se sabe que muchas especies descritas para *Sc-*

Recibido: mayo de 2003; aprobado para publicación: julio de 2003.

¹ Profesor, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín. E-mail: aacevedo@matematicas.udea.edu.co.

² Profesor, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín. E-mail: jjram@matematicas.udea.edu.co.

nedesmus son complejos de especies fenotípicamente plásticas y que más del 60% de ellas deberían eventualmente ser puestas en sinonimia (Trainor, 1991). El más reciente catálogo del género *Scenedesmus* (Hegewald y Silva, 1988) incluye alrededor de 1.300 taxa, pero estimaciones conservativas basadas en la plasticidad genética de este género apuntan a la sinonimia de muchas de ellas.

Una manera sencilla de comprobar la plasticidad genética de un organismo es someterlo, bajo condiciones simuladas, a la acción de los factores más importantes de su ecología. En este caso, y dado que para las algas la disponibilidad de luz y la temperatura son variables fundamentales, se optó por someter al organismo a la interacción de estos atributos físicos. ¿Puede la influencia de este gradiente superar la plasticidad genotípica de *S. acutus* var. *globosus* hasta el punto de perder su identidad específica? ¿Qué implicaciones ecológicas traería para el organismo la interacción de los factores citados? Si el gradiente de luz y temperatura supera la plasticidad genética del organismo estudiado, se prevé que el organismo cambia su forma como una manera de adaptarse a las condiciones del gradiente y, como consecuencia, su identidad también cambia. La meta propuesta en esta investigación es entonces constatar el efecto del gradiente cruzado de luz y temperatura en la morfología del cenobio de *S. acutus* var. *globosus*.

Descripción de *Scenedesmus acutus* Meyen var. *globosus* Hortobágyi (figura 1). Células ovoides, fusiformes, rectas, alargadas, inclinadas, deprimidas lateralmente en forma de S, curvadas terminadas en punta; 13.5 a 22.5 μm de longitud, 3.5 a 7.0 μm de diámetro; frecuentemente solitaria. Cenobio comúnmente compuesto por dos, cuatro u ocho células, frecuentemente tres o cinco, y raramente siete. Ápice de cada célula terminado en dos partes redondeadas y raramente en tres. Cenobio con mucílago no tectado. Multiplicación por autocolonias.

Localización del tipo: lago Zcelid, Hungría.

Tipo: no indicado.

El inóculo de *S. acutus* var. *globosus* fue obtenido de una charca formada después de un periodo de lluvias en inmediaciones del Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, de la ciudad de Medellín.

METODOLOGÍA

Materiales y métodos. *S. acutus* var. *globosus* se cultivó bajo un gradiente cruzado de luz y temperatura en el Laboratorio de Servicios Generales del Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia. El diseño del equipo para establecer el gradiente de luz y temperatura se basó en el modelo general descrito originalmente por Halldal y French (1958), con algunas modificaciones. La plancha de calentamiento se construyó con una placa de aluminio de 50 x 50 cm y un espesor de 10 mm.

La temperatura en la plancha fue regulada mediante dos resistencias tubulares de mediana potencia con un control digital DTC-201 con microprocesador, sensores tipo termistor, memoria EEPROM que pudiera mantener y continuar el programa en caso de falla momentánea en la energía eléctrica y precisión de ± 1 °C. El gradiente de temperatura se mantuvo estable haciendo circular un flujo constante de aire en una dirección por medio de dos ventiladores Panaflo model FBP-08A12M. La superficie de la plancha metálica fue cubierta con gasa saturada con glicerina. El gradiente de temperatura se estableció entre 30 y 40 °C. Como fuente de luz se utilizó un transiluminador marca Leitz Wetzlar tipo 42-677-103 provisto con dos lámparas Philips TL de 20 W. El gradiente de intensidad lumínica estuvo comprendido entre 13.22 y 44.09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y fue medido con un cuantómetro Licor con sensor esférico.

El medio de cultivo se preparó con 96 partes de medio Bristol (Bold, 1949) y cuatro partes de medio extracto de suelo (Pringsheim, 1946) y fue esterilizado durante 20 minutos a 20 psi. El método de aislamiento del cultivo se realizó de acuerdo con lo descrito en Guillard (1973) y la purificación del mismo fue realizada según lo establecido por Droop (1967).

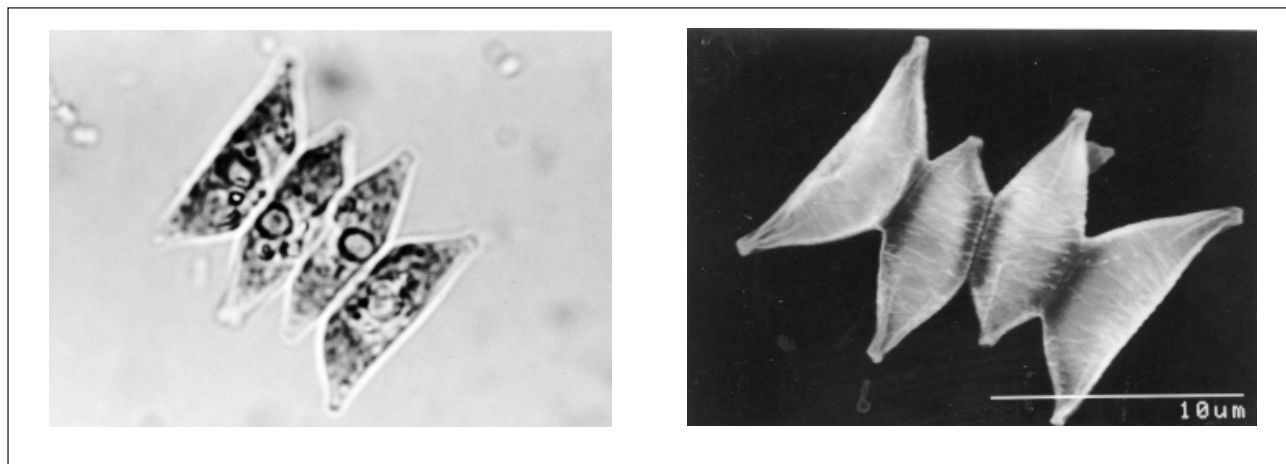


Figura 1. Izquierda: fotomicrografía óptica de *Scenedesmus acutus* var. *globosus*. Derecha: fotomicrografía electrónica de barrido de *Scenedesmus acutus* var. *globosus*

Se vertieron 200 µl de una suspensión de densidad uniforme del cultivo unialgal axénico en cajas de petri de vidrio de 90 mm de diámetro que contenían 25 ml del medio de cultivo. La densidad en el inóculo fue 3.4×10^5 cenobios/ml y se determinó por conteo en una cámara hemocitómetro Neubauer; la lectura al espectrofotómetro presentó una densidad óptica de 0.097 y 0.082 para 660 y 750 nm, respectivamente. Las cajas se sellaron con papel parafilm para evitar la evaporación del medio de cultivo y se dispusieron en la plancha como un grupo de 4 x 4. Adicional a esto se mantuvo un cultivo control bajo condiciones ambientales de la ciudad de Medellín, que tiene una temperatura promedio de 24 °C. Después de doce días, cada una de las muestras fue centrifugada a 894 g durante 10 minutos y se procedió a su fijación en lugol.

Los posibles cambios morfológicos del alga se evaluaron mediante observación con técnicas de microscopía óptica con luz transmitida en campo brillante. Se midió cada una de las células de treinta cenobios seleccionados al azar de cada muestra, proceso que fue realizado con un ocular de medición marca Bausch y Lomb, en un microscopio óptico Olympus CHK ajustado a la mínima distancia interpupilar.

Para establecer la significancia del efecto del gradiente cruzado se aplicó análisis de varianza. Las comparaciones contra la muestra control se reali-

zaron mediante el método estadístico de Dunnett. La variabilidad de los atributos longitud y diámetro bajo las variables luz y temperatura se determinó utilizando el coeficiente de variación relativa de Pearson (CV). Para resumir la morfología del cenobio, se citan los valores medios de cada condición.

RESULTADOS

Los valores medios encontrados para la longitud y el diámetro de las células de los cenobios de *S. acutus* var. *globosus* que crecieron bajo condiciones ambientales fue 14.4 y 4.2 µm, respectivamente. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el diámetro ($\alpha = 0.225$) y la longitud ($\alpha = 0.200$) de las células internas y externas de los cenobios de *S. acutus* var. *globosus*.

Cuando crecieron a 30 y 40 °C independientemente de la intensidad luminosa a la que estuvieron sometidos, los cenobios redujeron significativamente su longitud con implicaciones taxonómicas respecto al control ($\alpha = 0.0001$). También se halló una reducción con implicaciones taxonómicas del mismo tipo ($\alpha = 0.0001$) en la longitud de los cenobios al crecer bajo la influencia de intensidades luminosas de 27.05 y 44.09 µmol/m²/s para cualquiera de las temperaturas ensayadas (tabla 1).

Independientemente de la intensidad luminosa, a una temperatura de 40 °C el diámetro de los ce-

nobios se redujo significativamente con respecto al control ($\alpha = 0.0001$), pero sin implicaciones taxonómicas (tabla 1).

Al considerar la influencia combinada de los factores se encontró una reducción estadísticamente significativa ($\alpha = 0.0001$) en el diámetro de las células de los cenobios que crecieron a 38 °C e intensidades luminosas de 44.09 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (3.5 μm en comparación con 4.2 en el control), y a 34 °C y 27.05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (3.8 μm en comparación con el control); a pesar de ello, dicha reducción no mostró implicaciones taxonómicas de ningún tipo. De igual manera, aunque el diámetro celular se incrementó de manera estadísticamente significativa ($\alpha = 0.0001$), a 34 °C e intensidades luminosas de 17.38 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (4.7 μm con relación a 4.2 del control) y 13.22 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (4.6 μm), tampoco mostró implicaciones taxonómicas claras.

En la tabla 2 se observa que la radiación influyó más notablemente en los cambios en el diámetro que en la longitud. Al considerar el factor temperatura ocurrió lo contrario, es decir, la longitud presentó mayor dispersión que el diámetro. Sin embargo, es necesario aclarar que los resultados presentados en esta tabla no significan independencia entre los factores, pues el experimento no fue diseñado con este fin.

DISCUSIÓN

Al considerar los valores medios de la longitud y el diámetro celular resultantes de la influencia de cada tratamiento, se observa que muchos de esos casos no se ajustan a la descripción del organis-

mo debido principalmente a cambios en la longitud celular, pues el diámetro de las mismas se ajustó, en todos los casos, al rango de medidas citadas en la descripción original del taxón. Nótese que en todas las situaciones experimentales en las que la longitud celular presentó diferencias estadísticamente significativas los promedios estuvieron por debajo del límite inferior especificado en Hegewald y Silva (1988).

Para *S. quadricauda*, Komárek y Ruzicka (1969) y Lukavsky (1982) informaron que al aumentar la temperatura, el tamaño de los cenobios se incrementó. Estos autores describieron cenobios grandes a altas temperaturas (34 y 38 °C) y bajas intensidades luminosas (17.4 y 13.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$); bajo estas condiciones, las células presentaron mayores medidas de longitud, aunque todavía dentro del rango de medidas que definía la especie estudiada. Estos resultados no concuerdan con lo hallado en la presente investigación, pues, como ya se mencionó, al incrementarse la temperatura y la irradiación, disminuyeron la longitud y el diámetro.

¿Qué significa disminuir la longitud y conservar el diámetro celular? Según McNowan y Malaika (1950), significa disminuir la elipsoidad y aumentar la esfericidad. Para estos autores, la esfericidad representa la longitud de la partícula en la dirección del movimiento, mientras que la elipsoidad representa lo contrario, y muestra la resistencia al hundimiento. Reynolds (1994) considera que las distorsiones de la forma esférica resultan en reducciones de dos a cinco veces la tasa de hundimiento con respecto a la esfera equivalen-

Tabla 1. Resultados de los valores medios para los atributos longitud y diámetro de *Scenedesmus acutus* var. *globosus*, expresados en micrómetros

Irradiación ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Temperatura (°C)							
	30		34		38		40	
	Longitud	Diámetro	Longitud	Diámetro	Longitud	Diámetro	Longitud	Diámetro
13.22	13.0	4.2	14.1	4.6	13.5	4.0	11.7	3.5
17.38	13.2	4.4	14.0	4.7	13.5	4.3	11.0	4.0
27.05	12.6	4.3	11.3	3.8	12.3	3.9	12.5	4.0
44.09	12.4	4.2	13.2	4.4	11.6	3.5	12.3	3.8

Tabla 2. Coeficientes de variación para los atributos longitud y diámetro de *Scenedesmus acutus* var. *globosus*

Irradiación ($\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$)	CV (%)	
	Longitud	Diámetro
13.22	7.78	11.95
17.38	10.21	6.66
27.05	4.72	5.50
44.09	5.25	10.07
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Longitud	Diámetro
30	2.85	2.24
34	9.60	9.22
38	7.38	8.41
40	8.20	6.00

te. En nuestro caso, esto significa que el organismo estudiado, al tender a hacerse más esférico, se hundiría más rápido debido a que, al disminuir la longitud, una menor proporción del área se localiza en el plano horizontal, y la célula ofrecería menor resistencia al movimiento hacia adelante, permaneciendo mayor tiempo en un sitio y aumentando la posibilidad de hundimiento y de absorción prolongada de nutrientes.

El aumento de la esfericidad produce aumento de la razón superficie-volumen, que favorecería la incorporación de nutrientes y, en cierta medida, un incremento la concentración relativa de cloroplastos, lo que le permite captar más luz. Estas características son presentadas generalmente por los estrategas *C*, organismos *r* seleccionados (Reynolds, 1994). Estos estrategas presentan alta tasa reproductiva y bajo tiempo de generación, alta actividad metabólica bajo un rango amplio de temperaturas y alta sensibilidad a la dosis de luz, siendo por ello mayor su capacidad para cosecharla. Una última característica es que estos organismos se establecen poco en aguas estabilizadas y son muy sensibles a temperaturas altas, que aumentan su metabolismo y, por ende, su respiración y demanda por nutrientes.

CONCLUSIONES

Se constató que se presentaron cambios morfológicos con significado taxonómico en el ceno-

bio de *S. acutus* var. *globosus*, evidenciados por alteraciones en la longitud. Dado que desde el punto de vista morfológico las características fundamentales en la identificación de *Scenedesmus* son el diámetro y la longitud celulares, un cambio que supere los rangos citados para estas características supone un cambio en la identidad del taxón, en este caso, en la identidad de *S. acutus* var. *globosus*.

La evidencia obtenida con la metodología utilizada permite concluir que el criterio adaptativo primó sobre el morfológico, pues la plasticidad garantiza la vida y la capacidad de respuesta frente a condiciones ambientales difíciles. En este experimento, dicha respuesta fue mayor frente a las condiciones de baja intensidad luminosa utilizadas que fueron las responsables de las adaptaciones morfológicas presentadas por el organismo. Por ello, al disminuir la longitud, la célula tendió a hacerse más esférica.

Dado que las temperaturas elegidas en este experimento son altas, el organismo posiblemente intentó compensar la alta tasa metabólica alterando la relación superficie/volumen para captar proporcionalmente más metabolitos y poder así persistir bajo las condiciones experimentales.

La pregunta es: ¿se justifica cambiar una especie por pequeños cambios en las medidas diacríticas que la definen? A esta pregunta puede responderse considerando que las especies tropicales siempre están en los límites de dichas medidas, por lo que se corre el riesgo de proponer nuevas especies por no ajustarse a los rangos citados en las claves.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de William Escobar y Saulo Correa del Centro de Instrumentaciones de la Universidad de Antioquia; a María Cecilia Correa, Dora Hernández y Claudia Zapata; igualmente, al Instituto de Biología por facilitar las instalaciones para llevar a cabo el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Bold H.** 1949. The morphology of *Chlamydomonas chlamydogama* sp. nov. *Bull Torrey Bot Club* 76:101-108.
- Droop MR.** 1967. A procedure for routine purification of algal cultures with antibiotics. *Brit Phycol Bull* 3:295-297.
- Guillard R.** 1973. Methods for microflagellates and nanoplankton. In: Stein J (ed.). *Handbook of Phycological Methods-Culture Methods and Growth Measurements*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 69-85.
- Haldal P, French C.** 1958. Algal growth in crossed gradients of light intensity and temperature. *Physiol Plant* 33:249-252.
- Hegewald E, Silva P.** 1988. *Annotated catalogue of Scenedesmus and nomenclaturally related genera, including original description and figures*. J Cramer ed. Berlin, Stuttgart, p. 62.
- Komárek J, Ruzicka J.** 1969. Effect of temperature on the growth and variability of *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb. In: Fott B (ed.). *Studies in Phycology*. Academia, Praga, pp. 262-292.
- Lukavsky J.** 1982. Cultivation of chlorococcal algae in crossed gradients of temperature de *Scenedesmus acutus* var. *globosus* and light. *Arch Hydrobiol Suppl* 60:517-528.
- McNowan JS, Malaika J.** 1950. Effect of particle shape on settling velocity at low Reynolds numbers. *Trans Am Geoph Union* 31:74-82.
- Morales EA, Trainor FR.** 1999. Phenotypic plasticity in *Scenedesmus*: implications for algal taxonomy and ecology. *Gayana Botanica* 56:77-86.
- Pringsheim E.** 1946. *Pure cultures of algae. Their preparation and maintenance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Reynolds CS.** 1994. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Trainor FR.** 1991. The format for a *Scenedesmus* monograph. *Algol Stud* 61:47-53.
- West M, Eberhard J.** 1989. Phenotypic plasticity and the origin of diversity. *Ann Rev Ecol Syst* 20:249-272.