

Variación en el crecimiento y composición pigmentaria de *Synechococcus* sp. IO9201 en respuesta a la calidad espectral de la luz

L. BETANCOURT**, A. CID*, E. TORRES* & J. ABALDE*

*Laboratorio de Microbiología. Departamento de Biología Celular y Molecular

Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña

Campus da Zapateira s/n. 15071 A Coruña

**Instituto de Oceanología. La Habana. Cuba

(Recibido, mayo de 1997. Aceptado, diciembre de 1997)

Resumen

BETANCOURT, L., CID, A., TORRES, E. & ABALDE, J. (1998). Variación en el crecimiento y composición pigmentaria de *Synechococcus* sp. IO9201 en respuesta a la calidad espectral de la luz. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **8**: 5-13

Se ensayó el efecto de la calidad espectral de la luz sobre el crecimiento y la composición de pigmentos de *Synechococcus* sp. IO9201, especie aislada en las aguas marinas de la costa norte de La Habana. Las máximas densidades celulares se obtuvieron en los cultivos con luz blanca (967×10^6 células mL^{-1}); en estos cultivos se obtuvo asimismo la mayor tasa de crecimiento media, con valores de 0.37 duplicaciones día^{-1} . Los cultivos con luz roja y luz verde presentaron valores significativamente menores de densidad celular, sin diferencias entre ambos (246.3×10^6 y 248×10^6 células mL^{-1} , respectivamente). Las máximas productividades de clorofila *a*, carotenoides totales y ficocianina al final del crecimiento se obtuvieron en los cultivos con luz blanca, con valores de $17.44 \mu\text{g mL}^{-1}$ de clorofila *a*, $6.34 \mu\text{g mL}^{-1}$ de carotenoides y $37.09 \mu\text{g mL}^{-1}$ de ficocianina, con diferencias significativas respecto a los restantes cultivos; sin embargo, los máximos contenidos celulares de clorofila *a* se obtuvieron en los cultivos con luz roja y los máximos de carotenoides en los cultivos con luz azul. Las células cultivadas con luz roja presentaron un contenido de ficocianina significativamente mayor que las cultivadas con luz verde o azul, obteniéndose una productividad de $11.05 \mu\text{g mL}^{-1}$ el décimo día de cultivo, frente a valores de 1.83 y $3.10 \mu\text{g mL}^{-1}$ obtenidos en los cultivos con luz verde y azul, respectivamente.

Palabras clave: *Synechococcus*, calidad de luz, ficocianina, clorofila *a*, carotenoides.

Abstract

BETANCOURT, L., CID, A., TORRES, E. & ABALDE, J. (1998). Growth and pigment composition of *Synechococcus* sp. IO9201 cultured with different light qualities. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **8**: 5-13

The cyanobacterium *Synechococcus* sp IO9201, isolated from Caribbean waters (La Habana), was cultured with different light qualities to assay their effect on growth and pigment composition. Maximum cell densities and growth rates were obtained with daylight (967×10^6 cell mL^{-1} , and 0.37 doublings day^{-1}). Cellular densities were significantly lower in cultures with red light and blue light, without differences between them (246.3×10^6 and 248×10^6 cell mL^{-1} , respectively). Maximum productivities of chlorophyll *a*, carotenoids and phycocyanin were obtained in cultures with daylight, with values of $17.44 \mu\text{g mL}^{-1}$ of chlorophyll *a*, $6.34 \mu\text{g mL}^{-1}$ of carotenoids and $37.09 \mu\text{g mL}^{-1}$ of phycocyanin, significantly higher than those obtained in the remainder cultures. However, the maximum cellular content of chlorophyll *a* was obtained in red light cultures, and the maximum cellular content of carotenoids in blue light cultures. Cells cultured with red light showed a phycocyanin content

significantly higher than cells cultured with green or blue light, yielding $11.05 \mu\text{g mL}^{-1}$ of phycocyanin against values of 1.83 and $3.10 \mu\text{g mL}^{-1}$ obtained in green light and blue light cultures, respectively.

Key words: *Synechococcus*, ligh quality, phycocianin, chlorophyll *a*, carotenoids.

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias, aunque no poseen bacterioclorofila, sino clorofila *a*, y realizan fotosíntesis oxigénica se sitúan dentro del grupo de las bacterias (Reino Procaryotae) (STALEY *et al.*, 1989). No obstante, desde el punto de vista biotecnológico, se han considerado tradicionalmente dentro del grupo de las microalgas. De hecho, algunas de estas cianobacterias, como las del género *Spirulina*, están entre las principales protagonistas de la biotecnología microalgal (RODRÍGUEZ, H. & GUERRERO, 1992). Algunas especies de *Synechococcus* se han revelado muy prometedoras en este sentido (MATSUNAGA *et al.*, 1991; TAKANO *et al.*, 1992).

Las cianobacterias poseen un grupo de pigmentos encontrados sólo en cianobacterias, algas rojas y criptofíceas, las ficobiliproteínas, que han atraído la atención debido a su capacidad de formar conjugados altamente fluorescentes (GLAZER, 1994).

La composición de los pigmentos en la célula está controlada, además de por otros factores, por la intensidad y por la calidad de la luz (TANDEAU DE MARSAC, 1983). Se produce una regulación de la síntesis de ficobiliproteínas por la calidad espectral de la luz, lo que se denomina adaptación cromática complementaria (TANDEAU DE MARSAC & HOUMARD, 1988). Se distinguen tres grupos de adaptación cromática en las cianobacterias: el grupo I no presenta adaptación cromática, por lo que la síntesis de ficocianina y ficoeritrina es independiente de la longitud de onda; el grupo II presenta una adaptación «unidireccional», pues sólo la síntesis de ficoeritrina es regulada por la longitud de onda de la luz; el grupo III presenta una adaptación cromática «bidireccional» o con adaptación cromática complementaria completa (TANDEAU

DE MARSAC, 1983; TANDEAU DE MARSAC & HOUMARD, 1988). Este fenómeno de adaptación cromática está presente en la mayoría de las especies, pero no en todas (BRYANT *et al.*, 1981; TANDEAU DE MARSAC, 1983; TANDEAU DE MARSAC, 1991) y sólo las cianobacterias capaces de sintetizar ficoeritrina pueden realizar dicha adaptación (TANDEAU DE MARSAC & HOUMARD, 1988).

La especie utilizada fue aislada de aguas marinas cubanas recogidas en la costa norte de La Habana y clasificada dentro del género *Synechococcus* con la identificación IO9201. Pertenece al grupo de cianobacterias que carecen de ficoeritrina (BETANCOURT, 1997), con elevadas concentraciones de ficocianina y mucho menores de aloficocianina, además de clorofila *a* y carotenoides en menores proporciones.

En el presente trabajo, se ensayó el efecto de la calidad espectral de la luz sobre el crecimiento y la composición de pigmentos de *Synechococcus* sp. IO9201. Para ello, se realizaron cultivos en condiciones controladas y con luz de diferentes longitudes de ondas, roja, azul y verde.

MATERIAL Y MÉTODOS

La cianobacteria marina *Synechococcus* sp. IO9201 fue obtenida del Instituto de Oceanología de La Habana (Cuba). Los cultivos se realizaron en agua de mar natural (salinidad de 35 g L^{-1}) filtrada por $0,45 \mu\text{m}$, esterilizada en autoclave a 120°C , 20 minutos y enriquecida con NaNO_3 , 8 mM; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.4 mM; citrato férrico, $40.0 \mu\text{M}$; ZnCl_2 , $2.0 \mu\text{M}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $2.0 \mu\text{M}$; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $2.0 \mu\text{M}$; CoCl_3 , $0.2 \mu\text{M}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $0.2 \mu\text{M}$; tiamina, $70.0 \mu\text{g L}^{-1}$; biotina, $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$; vitamina B_{12} , $6.0 \mu\text{g L}^{-1}$; EDTA, $92.8 \mu\text{M}$; Tris-HCl, 2 mM; pH 7.4 (FÁBREGAS *et al.*, 1984).

Los cultivos se realizaron en una cámara de cultivo a $18 \pm 1^\circ\text{C}$, en botellas de 1 L con 800 mL de agua de mar, y fueron agitados continuamente mediante burbujeo de aire con una tasa de 10 L min^{-1} . Los inóculos se tomaron a partir de un cultivo «stock» axénico en fase exponencial. La densidad celular inicial en los cultivos fue 50×10^6 células mL^{-1} .

La iluminación fue proporcionada por tubos fluorescentes Mazda Fluor C7-TF40, con ritmo nictemeral 12:12 h. Para obtener las diferentes longitudes de ondas (roja, azul y verde) se utilizaron tubos fluorescentes especiales (SILVANIA F18W/RED, BLUE y GREEN) (Fig. 1). Para cada calidad espectral, incluida la luz blanca, la iluminación se mantuvo constante a $58.5 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los cultivos se adaptaron a cada una de las calidades espectrales a ensayar durante siete días antes del inicio de cada experimento, realizándose tres réplicas para cada calidad espectral. Todas las calidades espectrales se aplicaron con ritmo nictemeral 12:12 h.

El desarrollo de los cultivos se siguió hasta que éstos alcanzaron la fase de crecimiento estacionaria, midiendo diariamente la densidad celular y el contenido en pigmentos (clorofila *a*, carotenoides totales y ficocianina).

La densidad celular se determinó por recuento en cámara de Neubauer y se calculó la tasa de crecimiento (μ) según la fórmula:

$$\mu = \ln(N_t) - \ln(N_0) / \ln 2 (t - t_0)$$

donde t_0 y t son el tiempo inicial y final expresado en días y N_t y N_0 el número de células mL^{-1} en esos tiempos.

El crecimiento se ajustó a una función logística en todos los casos, con r^2 siempre mayor de 0.96. La capacidad de carga (K) se obtuvo de los parámetros de la función logística (SCHANZ & ZAHLER, 1981). La capacidad de carga (K) representa el tamaño límite que la población podría alcanzar bajo las condiciones ambientales establecidas.

El peso seco se determinó filtrando volúmenes conocidos de las suspensiones celulares por

filtros de fibra de vidrio Watman GF/C previamente secados a 110°C durante 6 horas y tarados. Las células se lavaron con formiato amónico 0.9%(P/V) para eliminar las sales. Las muestras se secaron a 110°C durante 24 horas y se dejaron enfriar a temperatura ambiente en un desecador antes de la pesada (VONSHAK, 1986).

Los pigmentos, clorofila *a* y carotenoides totales, se extrajeron en acetona 90%, durante 24 horas a 4°C y en oscuridad. Los extractos fueron clarificados en un filtro de fluoroporo Millipore. Las ecuaciones utilizadas en los cálculos de las concentraciones de pigmentos fueron las utilizadas por STRICKLAND & PARSONS (1972) en el caso de la clorofila *a* y SUKENIK *et al.* (1989) en el caso de los carotenoides totales. Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$\begin{aligned} \text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{g mL}^{-1}) &= 11.6 A_{665} - 1.31 A_{645} - 0.14 A_{630} \\ \text{Carotenoides totales } (\mu\text{g mL}^{-1}) &= 4.4 A_{470} \end{aligned}$$

donde A_{665} , A_{645} , A_{630} y A_{470} representan las absorbancias medidas a 665, 645, 630 y 470 nm.

Las ficobiliproteínas se extrajeron en fase acuosa y con un tratamiento de ruptura mecánica por congelación y descongelación reiterada a 4°C . Para ello, las células recogidas por centrifugación se resuspendieron en una fase alcalina compuesta por $0.5 \text{ g L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ y $0.5 \text{ g L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ a pH 10.5 y se congelaron y descongelaron a 4°C tres veces. Se centrifugaron a 2500 g durante 20 minutos y se determinaron las ficobiliproteínas en el sobrenadante espectrofotométricamente, utilizando las ecuaciones de SIEGELMAN Y KYCIA (1978):

$$\text{Ficocianina } (\mu\text{g mL}^{-1}) = (A_{615} - 0.474 A_{652}) / 5.34$$

donde A_{615} y A_{652} representan las absorbancias medidas a 615 y 652 nm.

Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando un ANOVA y un test de rango múltiple de Duncan con un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

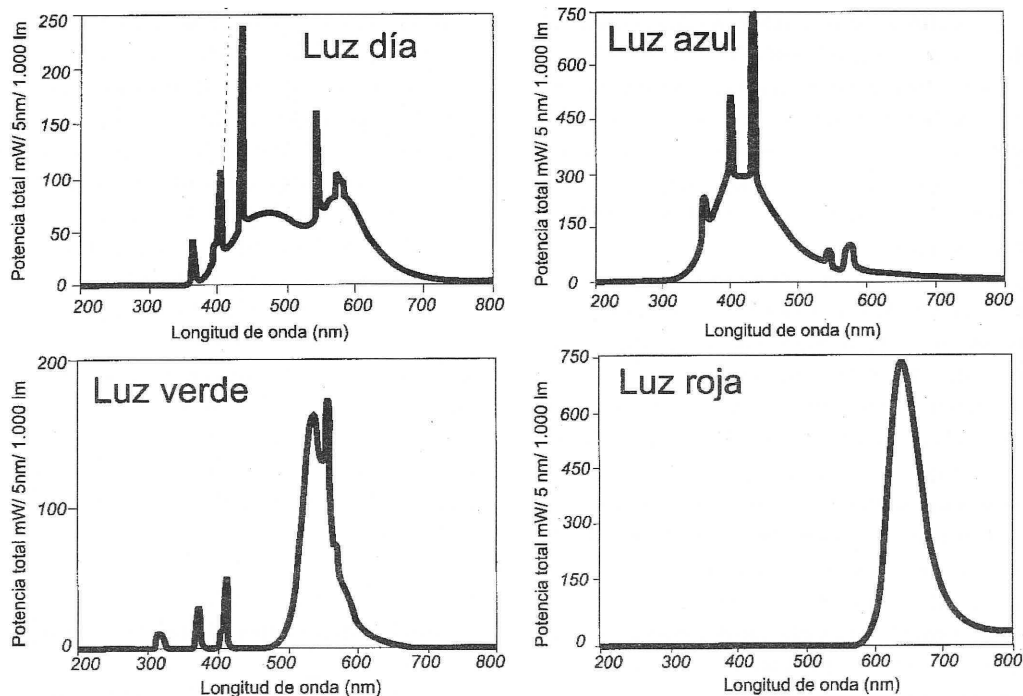


Fig. 1. Espectro de irradiancia de las lámparas de las distintas calidades de luz utilizadas en los cultivos de *Synechococcus* sp. IO9201.

RESULTADOS

Las curvas de crecimiento de *Synechococcus* sp. IO9201, expresadas en función de la densidad celular frente al tiempo, con las diferentes calidades de luz muestran diferencias en el crecimiento en función de la longitud de onda de la luz utilizada (Fig. 2). El mejor crecimiento se obtuvo en los cultivos con luz blanca; las células expuestas a luz roja y luz verde presentaron un crecimiento similar y superior al obtenido con la luz azul.

Las máximas densidades celulares en la fase estacionaria de crecimiento se obtuvieron en los cultivos con luz blanca (967×10^6 células mL^{-1}). En los cultivos con luz roja y luz verde se obtuvieron valores similares (246.3×10^6 y 248×10^6 células mL^{-1} , respectivamente). La menor densidad celular se obtuvo en los cultivos con luz azul (129×10^6 células mL^{-1}).

Las tasas de crecimiento en la fase exponencial (μ) y la capacidad de carga (K) se representan en la Tabla I. La mayor capacidad de carga se obtuvo para los cultivos con luz blanca; los cultivos con luz roja y verde presentaron valores similares (375.2 y 372.6, respectivamente), y el menor valor (22.3) se obtuvo en los cultivos con luz azul. El valor de K para los cultivos con luz blanca es tres veces mayor que para los de luz roja y verde y cinco veces mayor que para los de luz azul.

La menor tasa de crecimiento (μ) se obtuvo para los cultivos expuestos a la luz azul (0.14 duplicaciones día^{-1}), mientras que los cultivos con luz roja y verde presentaron valores similares (0.18 y 0.21 duplicaciones día^{-1} , respectivamente). La mayor tasa de crecimiento se obtuvo asimismo en los cultivos con luz blanca, con valores de 0.37 duplicaciones día^{-1} .

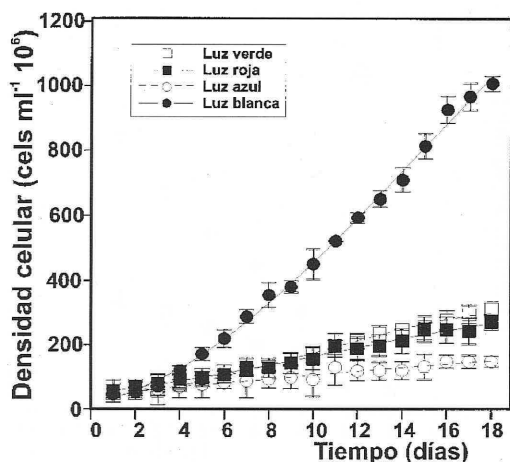


Fig. 2. Crecimiento de *Synechococcus* sp. IO9201 cultivado con distintas calidades espectrales de luz.

TABLA I. Capacidad de carga, K (células mL⁻¹), y tasa de crecimiento, μ (duplicaciones día⁻¹), en los cultivos de *Synechococcus* sp. IO9201 con diferentes longitudes de onda

Tipo de luz	K	μ
roja	375.2	0.18
azul	222.3	0.14
verde	372.6	0.21
blanca	1260.0	0.37

El análisis estadístico de los datos de la densidad celular mediante un ANOVA y el test de Duncan ($p < 0.05$), teniendo en cuenta el último día de la fase logarítmica de crecimiento, indicó que los cultivos con luz verde y roja no presentan diferencias significativas entre sí. Sin embargo, éstos dos difieren significativamente de los cultivos con luz blanca, que presentan valores superiores. Los cultivos con luz azul difieren significativamente de las anteriores calidades de luz, presentando los menores valores de densidad celular.

Los valores del peso seco celular al final de la fase logarítmica fueron muy similares en las células cultivadas con luz verde, roja y azul

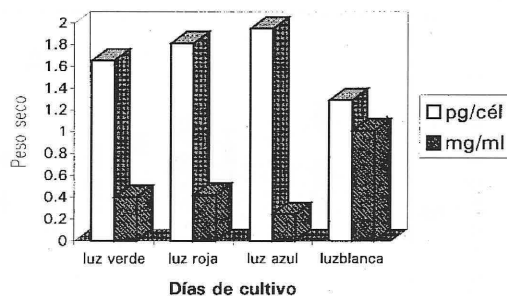


Fig. 3. Biomasa en peso seco de *Synechococcus* sp. IO9201 cultivado con distintas calidades de luz en el último día de la fase logarítmica.

(1.65, 1.81 y 1.95 mg mL⁻¹, respectivamente), mientras que este valor fue menor en las células cultivadas con luz blanca (1.29 mg mL⁻¹) (Fig. 3).

La producción de biomasa por volumen de cultivo, expresada en mg mL⁻¹, al final de la fase logarítmica (Fig. 3) fue mayor en los cultivos con luz blanca (1.01 mg mL⁻¹). Los cultivos con luz verde y roja presentaron valores semejantes (0.40 y 0.42 mg mL⁻¹, respectivamente), mientras que los cultivos expuestos a la luz azul alcanzaron un valor menor (0.25 mg mL⁻¹).

La concentración celular tanto de clorofila *a* como de carotenoides totales, expresada en pg célula⁻¹ (Figs. 4A y 5A, respectivamente) varió poco en las distintas fases del cultivo para todas las condiciones ensayadas. Los mayores valores de clorofila *a* por célula se obtuvieron en los cultivos con luz roja, con valores entre 0.025 y 0.03 pg célula⁻¹, durante todo el tiempo de cultivo. En los cultivos expuestos a la luz azul se obtuvieron valores ligeramente menores de clorofila *a* durante todo el tiempo de cultivo (entre 0.018 y 0.020 pg célula⁻¹). Con las restantes calidades espectrales se obtuvieron valores similares de clorofila *a*. Por el contrario, en el caso de los carotenoides los cultivos expuestos a la luz azul fueron los que presentaron las mayores concentraciones celulares, con un valor máximo de 0.013 pg célula⁻¹ al final de la fase logarítmica de crecimiento. Las concentraciones de clorofila *a* fueron mayores a lo largo del ciclo de crecimiento que los carotenoides totales.

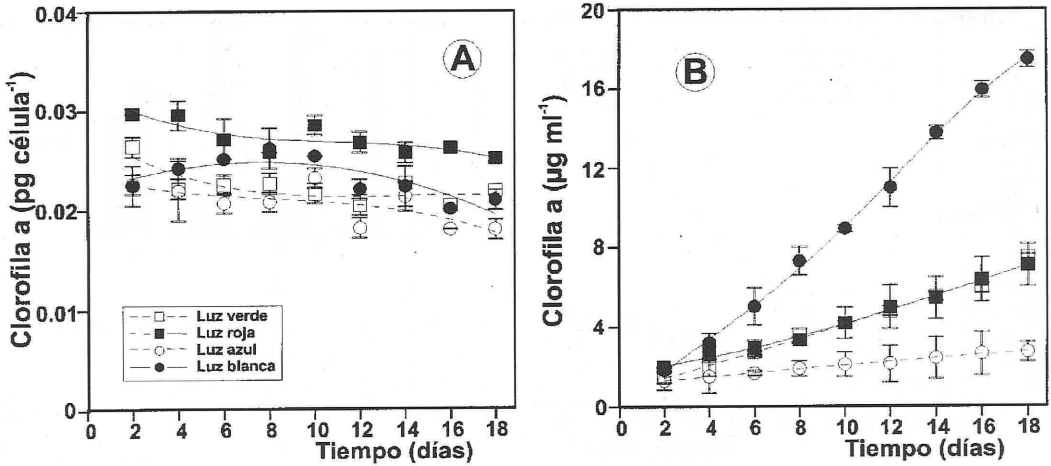


Fig. 4. Concentración de clorofila a en cultivos de *Synechococcus* sp. IO9201 con diferentes calidades de luz, expresado en: A) pg célula⁻¹ B) µg mL⁻¹.

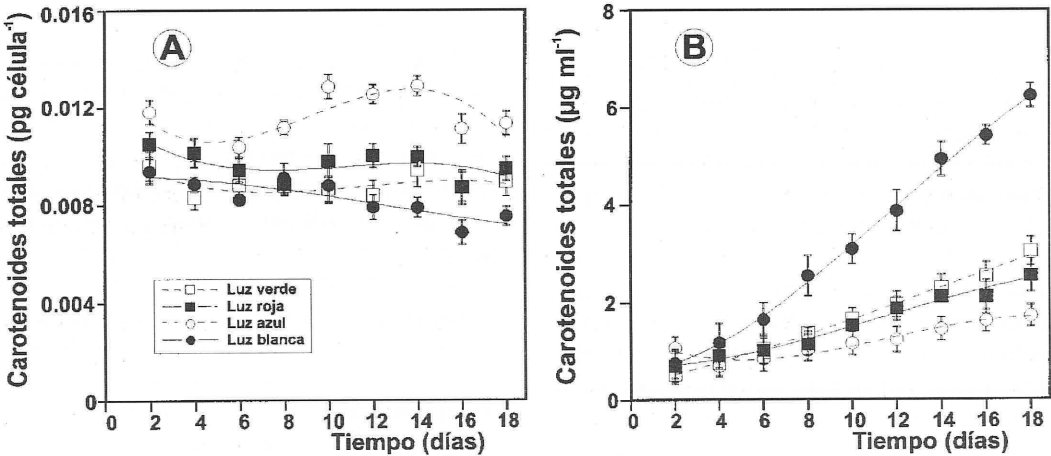


Fig. 5. Concentración de carotenoides totales en cultivos de *Synechococcus* sp. IO9201 con diferentes calidades de luz, expresado en: A) pg célula⁻¹ B) µg mL⁻¹.

La producción de clorofila a y de carotenoides totales por unidad de volumen aumentó a medida que avanzaba la edad de los cultivos en todas las longitudes de onda ensayadas y los valores máximos se obtuvieron al final de la fase estacionaria (Figs. 4B y 5B, respectivamente). En los cultivos con luz blanca se obtuvieron las concentraciones más elevadas de clorofila a y carotenoides totales al final del crecimiento, con valores de 17.44

y 6.34 µg mL⁻¹, respectivamente. En los cultivos con luz verde y roja se obtuvieron valores de 7.46 µg mL⁻¹ y 7.08 µg mL⁻¹, para la clorofila a, y de 3.03 y 2.54 µg mL⁻¹ para los carotenoides totales, respectivamente. Las menores producciones de estos pigmentos se obtuvieron en los cultivos con luz azul.

El contenido celular de ficocianina, expresado en pg célula⁻¹, varió en función de la luz

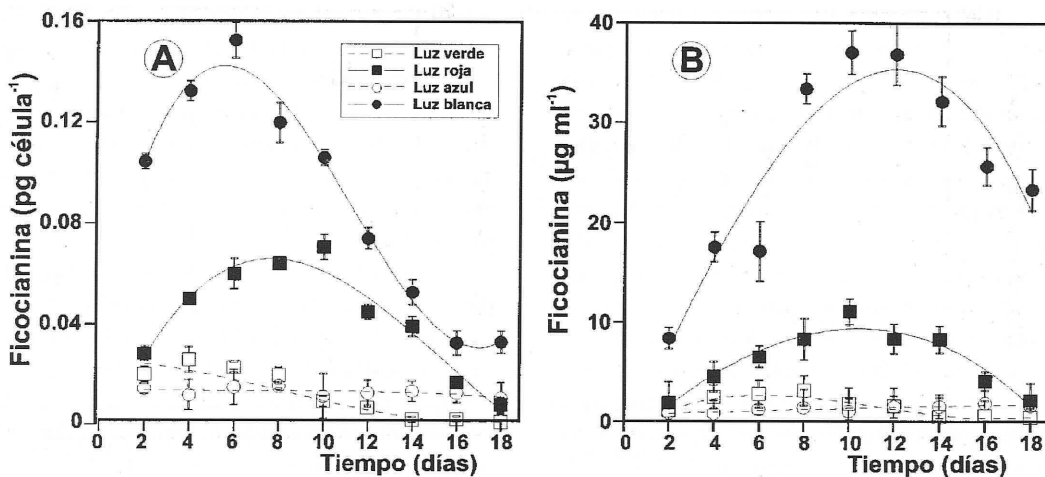


Fig. 6. Concentración de ficocianina en cultivos de *Synechococcus* sp. IO9201 con diferentes calidades de luz, expresado en: A) pg célula^{-1} , B) $\mu\text{g mL}^{-1}$.

utilizada y del momento del cultivo (Fig. 6A). En las células expuestas a luz blanca y roja el contenido celular de ficocianina aumentó al inicio de la fase logarítmica, obteniéndose un máximo en los días 6 y 8, respectivamente, y descendiendo a continuación. Los máximos valores de ficocianina en las células de *Synechococcus* sp. IO9201 expuestas a luz blanca y luz roja fueron 0.15 y 0.07 pg célula^{-1} , respectivamente. En los cultivos con luz azul y verde, los contenidos celulares de ficocianina fueron mínimos; en las células expuestas a luz verde el contenido de ficocianina disminuyó con el tiempo de cultivo, mientras que en los cultivos con luz azul se mantuvo constante.

La producción de ficocianina, expresada en $\mu\text{g mL}^{-1}$ con respecto al tiempo de cultivo se representa en la Fig. 5B. Las células expuestas a la luz blanca presentaron valores mayores con respecto al resto de las calidades de luz, alcanzando la concentración máxima en el día 12 de cultivo ($37.09 \mu\text{g mL}^{-1}$), a partir del cual descendió. Los cultivos con luz verde y azul presentaron las menores concentraciones a lo largo del crecimiento, obteniéndose máximos de 1.83 y $3.10 \mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente. Por el contrario, con luz roja se obtuvieron valores superiores a

estos dos últimos y se alcanzó la mayor concentración de ficocianina en el día 10 de cultivo ($11.05 \mu\text{g mL}^{-1}$).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el contenido de ficocianina por volumen de cultivo reveló las siguientes diferencias significativas:

Ficocianina ($\mu\text{g mL}^{-1}$): blanca > roja > verde = azul

DISCUSIÓN

La especie *Synechococcus* sp. IO9201 presenta una dotación de pigmentos que se caracteriza por carecer de ficoeritrina, presentar elevadas concentraciones de ficocianina y mucho menores de aloficocianina, además de clorofila *a* y carotenoides en menores proporciones.

La ausencia de ficoeritrina hace que la banda espectral correspondiente al azul no quede cubierta (450 - 550 nm). Ello explica su escaso crecimiento con luz azul, al estar ausente el pigmento antena clave para la absorción en esta longitud de onda. Sin embargo, la presencia de clorofila *a*, que tiene su capacidad de absorción en la banda del azul, asume el papel total de la

fotosíntesis en ausencia de otros pigmentos accesorios. Esta podría ser la causa de que el cultivo de *Synechococcus* sp. IO9201 mantenga su crecimiento con luz azul (Fig. 2), aunque este crecimiento sea muy bajo porque el papel de los pigmentos accesorios es fundamental para que el proceso de la fotosíntesis sea eficiente; con la ausencia de ficoeritrina y la incapacidad de la ficocianina de absorber en el azul, el proceso de transferencia de energía es mucho menos eficiente que con otras longitudes de onda.

Dentro del ficobilisoma, la ficoeritrina y la ficocianina son los pigmentos fundamentales captadores de luz. Es tal su importancia que muchas cianobacterias realizan lo que se ha denominado adaptación cromática complementaria, donde ajustan su contenido de pigmentos accesorios a condiciones espectrales específicas. La síntesis de ficoeritrina es estimulada con luz verde-azul y la de ficocianina en luz roja, y este control cromático permite a la célula captar la energía luminosa disponible con máxima eficiencia (TANDEAU DE MARSAC & HOUMARD, 1988). Las cepas ricas en ficocianina dominan en aguas eutróficas o distróficas donde predomina la luz roja, mientras que las ricas en ficoeritrinas abundan en aguas azules o verdes oligotróficas, marinas o de agua dulce (HAUSCHILD *et al.*, 1991).

Sólo las cianobacterias que sintetizan ficoeritrina pueden llevar a cabo la adaptación cromática complementaria (TANDEAU DE MARSAC & HOUMARD, 1988) y por ésta razón *Synechococcus* sp. IO9201 no es capaz de adaptarse a la luz azul y presenta con esta longitud de onda los peores resultados en cuanto a crecimiento.

La concentración de pigmentos por célula en los cultivos con luz azul fue también menor que la obtenida con otras calidades de luz (Figs. 4, 5 y 6), excepto los carotenoides, posiblemente debido a su mayor absorción en ésta región del espectro o a su menor eficiencia fotosintética respecto a la clorofila *a* (KIRK, 1994).

Los cultivos con luz verde y luz roja presentaron, sin embargo, crecimiento muy similar y mayor que el de la luz azul. Con luz roja y verde las células crecen utilizando aquellas partes del

espectro donde la absorción de la clorofila *a* y la ficocianina se solapan. En el caso de la luz verde, esto ocurre aproximadamente en el intervalo entre 500 - 550 nm, lejos de los máximos de absorción de los pigmentos que contiene la célula, por ello no sólo el crecimiento es bajo sino también la concentración celular de los pigmentos fotosintéticos.

Los resultados de crecimiento con luz roja fueron muy similares a los de la luz verde, aún cuando en esta banda del espectro la ficocianina tiene su óptimo de absorción y, de hecho, se ha señalado que, aunque cada cepa responde de manera única a las calidades espectrales, las que presentan ficocianina crecen mejor con luz roja que las que contienen ficoeritrina (HAUSCHILD *et al.*, 1991).

Como la clorofila *a* tiene su pico de absorción menor en la región del rojo, es posible que en esta longitud de onda la eficiencia fotosintética sea relativamente menor y, por tanto, el crecimiento. Sin embargo, la concentración de ficocianina se incrementó notablemente con luz roja (Fig. 6). *Anacystis nidulans* y *Synechococcus* 6301 creciendo en luz roja incrementan también su relación ficocianina/clorofila *a* (KIRK, 1994).

Existe cierta diversidad de resultados cuando se cultivan cepas de *Synechococcus* con distintas calidades espectrales. En tres cepas de esta especie productoras de ficocianina se encontró que en una de ellas la tasa de crecimiento no varía significativamente con luz blanca, verde y roja; en otra, hay diferencias significativas entre todas ellas, mientras que en la tercera el crecimiento en luz blanca y roja es el mismo y difiere del de la luz verde (HAUSCHILD *et al.*, 1991).

Synechococcus sp. IO9201 creció mejor con luz blanca (Fig. 2) ya que esta ofrece una mayor amplitud de longitudes de onda para la absorción de todos sus pigmentos. Con esta luz se obtienen también las mayores concentraciones de ficocianina, mucho mayores que las obtenidos con otras calidades de luz.

Las especies de *Synechococcus* son objeto de una atención cada vez mayor y no hay duda de que muchas de ellas encierran potencialmente un extraordinario valor. En este sentido, este

trabajo aporta los primeros estudios sobre esta especie marina de *Synechococcus* (*Synechococcus* sp. IO9201) aislada en aguas cubanas, que presenta unas características prometedoras sobre su futura utilización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro de un proyecto financiado por la Xunta de Galicia (XUGA 10301B96). L. Betancourt ha disfrutado de una Beca del Plan MUTIS del Instituto de Cooperación Internacional (Ministerio de Asuntos Exteriores, Madrid).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETANCOURT, L. (1997). *Producción, purificación y caracterización de ficocianina de Synechococcus sp. IO9201 aislada en aguas de Cuba*. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña, 189. A Coruña.
- BRYANT, D.A., COHEN-BAZIRE, G. & GLAZER, A.N. (1981). Characterization of the biliproteins of *Gloeobacter violaceus*. Chromophore content of a cyanobacterial phycoerythrin carrying phycoerythrin chromophore. *Arch. Microbiol.*, **129**: 190-198.
- FÁBREGAS, J., ABALDE, J., HERRERO, C., CABEZAS, B. & VEIGA, M. (1984). Growth of the marine microalga *Tetraselmis suecica* in batch cultures with different salinities and nutrient concentrations. *Aquaculture*, **42**: 207-215.
- GLAZER, A.N. (1994). Phycobiliproteins - a family of valuable, widely used fluorophores. *J. Appl. Phycol.*, **6**: 105-112.
- HAUSCHILD, C.A., McMURTER, H.J.G. & PICK, F.R. (1991). Effect of spectral quality on growth and pigmentation of picocyanobacteria. *J. Phycol.*, **27**: 698-702.
- KIRK, J.T. (1994). *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- MATSUNAGA, T., TAKEYAMA, H., SUDO, H., OYAMA, N., ARIURA, S., TAKANO, H., HIRANO, M., BURGESS, J.G., SODE, K. & NAKAMURA, N. (1991). Glutamate production from CO₂ by marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. using a novel biosolar reactor employing light-diffusing optical fibers. *Applied Biochem. Biotechnol.*, **28/29**: 157-167.
- RODRÍGUEZ, H. & GUERRERO, M.G. (1992). Products and uses of cyanobacteria (blue-green algae). In: Villa, T.G. & Abalde, J. (Eds.), *Profiles on Biotechnology*: 247-260. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- SCHANZ, F. & ZAHLER, U. (1981). Prediction of algal growth in batch cultures. *Schweiz. Z. Hydrol.*, **43**: 103-113.
- SIEGELMAN, H.W. & KYCIA, J.H. (1978). Algal biliproteins. In: Hellebust, J.A. & Craigie, J.S. (Eds.), *Handbook of Phycological Methods. Physiological and Biochemical Methods*: 71-79. Cambridge University Press, Cambridge.
- STALEY, J.T., BRYANT, M.P., PFENNIG, N. & HOLT, J.G. (1989). *Berger's manual of Systematic Bacteriology*. Williams. Wilkins, Baltimore.
- STRICKLAND, J.D. & PARSONS, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bulletin 167. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- SUKENIK, A., CARMELI, Y. & BERNER, T. (1989). Regulation of fatty acid composition by irradiance level in the eustigmatophyte *Nannochloropsis* sp. *J. Phycol.*, **25**: 686-692.
- TAKANO, H., TAKEYAMA, H., NAKAMURA, N., SODE, K., BURGESS, J.G., MANABE, E., HIRANO, M. & MATSUNAGA, T. (1992). CO₂ removal by high-density culture of a marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. using an improved photobioreactor employing light-diffusing optical fibers. *Applied Biochem. Biotechnol.*, **34/35**: 449-458.
- TANDEAU DE MARSAC, N. (1983). Phycobilisomes and complementary chromatic adaptation in Cyanobacteria. *Bull. Inst. Pasteur*, **81**: 201-254.
- TANDEAU DE MARSAC, N. (1991). Chromatic adaptation by cyanobacteria. In: Bogorad, L. & Basil, I.K. (Eds.), *Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants. The photosynthetic apparatus: Molecular Biology and operation*, **7B**: 419-446. Academic Press, New York.
- TANDEAU DE MARSAC, N. & HOUMARD, J. (1988). Complementary Chromatic Adaptation: Physiological Conditions and Action Spectra. In: Packer, L. & Glazer, A.N. (Eds.), *Methods enzymol.*, **167**: 318-328. Academic Press Inc., California.
- VONSHAK, A. (1986). Laboratory techniques for the cultivation of microalgae. In: Richmond, A. (Ed.), *Handbook of Microalgal Mass Culture*: 117-145. CRC Press Inc, Boca Raton, Florida.