



Hot Science

Optimizando la protección solar con *Anabaena variabilis*

Micosporinas como una alternativa de filtro solar

Daniela Fernanda Suárez-Bernal
Paula Marroquín-Morales
Samantha Carrillo-Rosas
Claudia Caballero-Cerón*

Escuela de Ingeniería y Ciencias del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México.

*Autor para la correspondencia: c.caballero@tec.mx

Resumen

Los protectores solares son fundamentales para prevenir daños en la piel causados por exposición a rayos UV. Sin embargo, los protectores solares comerciales contienen ingredientes que pueden afectar la salud y el ambiente. Por esto, se propone considerar los protectores solares biológicos con compuestos obtenidos de organismos marinos, como los aminoácidos de tipo micosporina (MAAs). Estos ofrecen protección contra los rayos UV, entre otros beneficios. Para producirlos, se sugiere utilizar fotobiorreactores tubulares debido a su capacidad y estabilidad. Por lo que se sugiere implementar el uso de protectores solares biológicos como una alternativa innovadora en el cuidado de la piel.

Palabras clave: protector, MAAs, fotobiorreactor.

tivos al material genético, envejecimiento prematuro y predisposición al cáncer de piel.

Uno de los principales daños oxidativos causados por la exposición a rayos UV-A/UV-B, es el melanoma de piel que según el World Cancer Research Fund, en 2020 fue el 17° cáncer más común en el mundo con 324,635 nuevos casos. De acuerdo con la Secretaría de Salud del Gobierno de México, en el país cada año se detectan cerca de mil casos de cáncer de piel y una manera de prevenirlo es utilizar protector solar para la piel.

Los protectores solares son productos cosméticos que contienen filtros UV para proteger la piel y minimizar los daños. Por su lado, los filtros solares son sustancias que tienen un espectro de absorción de luz en el rango de luz ultravioleta (UV-B y UV-A), que va de 280 - 315 nm y de 315 - 400 nm respectivamente [1]. Dependiendo de su origen y características, se pueden dividir en inorgánicos, orgánicos y biológicos [2]. Los inorgánicos tienen origen mineral, no absorben los rayos solares y se activan al contacto con la piel [2]. Por otro lado, los orgánicos en su mayoría tienen carácter sintético y se activan por radiación UV, lo que induce su absorción [3]. Por último, los biológicos son sustancias protectoras contra radiación UV y

La piel es una barrera física que cubre por completo el cuerpo humano y presenta múltiples funciones: protector térmico, impide el ingreso de microorganismos, se encarga de mantener y regular la temperatura corporal, almacena agua y productos metabólicos. Sin embargo, cuando la piel es expuesta de forma directa a los rayos UV-B y de forma indirecta a los rayos UV-A, el ADN sufre daños por la formación de Especies Reactivas de Oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), que son radicales libres que provocan daños oxida-

estrés oxidativo al evitar formación de radicales libres [2].

Actualmente, los protectores solares comerciales utilizan filtros, dentro de los cuales están los orgánicos como benzofenona-3 (oxibenzona) y derivados de dibenzilmetano, como la avobenzona [3]. Estos contienen cetonas aromáticas que no son fácilmente reconocidas por las enzimas metabólicas en humanos, lo que induce reacciones alérgicas y tóxicas [3]. También usan filtros inorgánicos como dióxido de titanio y óxido de zinc, que depende de la forma farmacéutica su toxicidad en el cuerpo [2]. Igualmente es importante considerar su impacto ambiental, ya que algunos de sus ingredientes han sido detectados en el agua por su baja solubilidad y persisten a tratamientos para aguas residuales por sus altas propiedades lipofílicas [4].

En la Figura 1 se muestra una comparación entre protectores solares comerciales y biológicos, demostrando que ambos ofrecen características beneficiosas. También se menciona que los protectores solares biológicos son más difíciles de conseguir por su poca disponibilidad en el mercado. Sin embargo, algunas diferencias resaltadas son las principales causantes de los problemas previamente mencionados.

Es por estas problemáticas que se propone evaluar la viabilidad de protectores solares con compuestos no sintéticos que brinden protección contra radiación UV. Una opción son los aminoácidos de tipo micosporina (MAAs por sus siglas en inglés), los cuales se pueden obtener mediante organismos marinos, como microalgas o cianobacterias [5]. Como se muestra en la Figura 2, los MAAs son derivados imino-carbonil del cromóforo de ciclohexenona



Figura 1. Diagrama de Venn mostrando diferencias y similitudes entre protectores solares comerciales y biológicos.

de las micosporinas [6] y cuentan con la capacidad de absorber los rayos UV, además, poseen propiedades antioxidantes, anti-inflamatorias y anti-envejecimiento [5]. Estas funciones se han comprobado en cianobacterias después de condiciones de estrés, tales como radiación solar intensa, desecación y altas temperaturas [5]. Adicionalmente, esta inducción bajo estrés ha demostrado que los MAAs tienen otras funciones, ya que pueden disipar la radiación absorbida como calor sin producir ROS [5]. Finalmente, se ha comprobado que los MAAs tienen protección contra rayos UV-A y UV-B, demostrando que pueden ofrecer niveles de Factor de Protección Solar similares a los protectores solares comerciales [5].

En la Figura 3, se presenta la comparación de las interacciones de los rayos UV-A/UV-B contra filtros solares físicos, químicos y biológicos, afirmando así que los protectores biológicos se pueden considerar como una alternativa eficiente. Esto demostrado en el estudio realizado por De la Coba *et al.* [7], donde se comparó una formulación base sin MAAs, contra una formulación con MAAs y, basándose en el sistema de puntuación Draize (donde 0 repre-

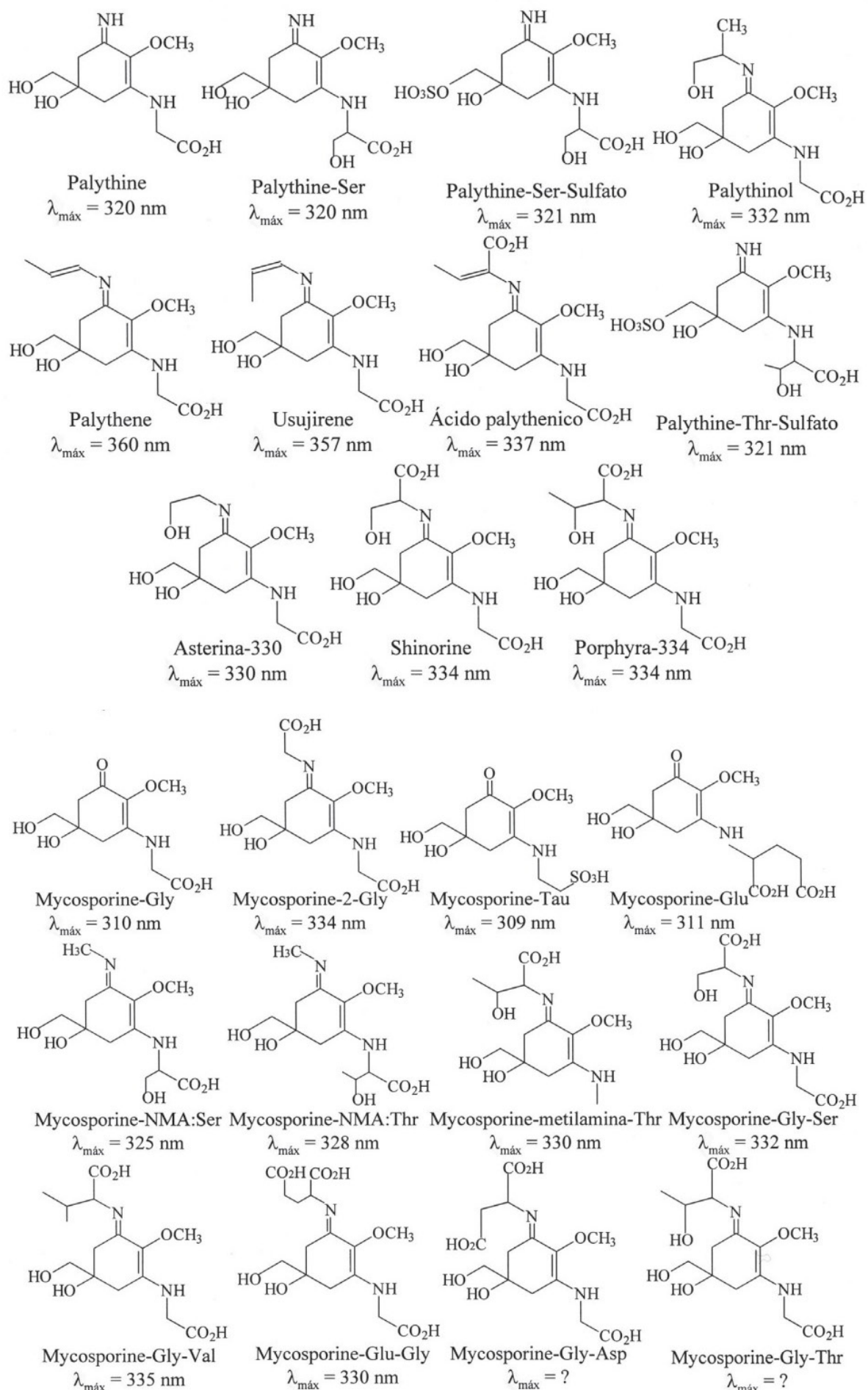


Figura 2. Estructuras químicas y máximos de absorción de los 23 MAAs identificados en organismos acuáticos [6].

senta piel no irritada y sin eritema, 3 representa edema severo y 4 representa, piel no tratada, irradiada y altamente enrojecida), después de 6 horas de exposición UV, la piel tratada con la formulación base obtuvo un puntaje de 4, mientras que la piel tratada con los MAAs mostró una puntuación media para eritema de 2.

Un problema común es la necesidad de reaplicación del protector solar de manera constante para mantener su efecto. La Organización Mundial de la Salud reportó en 2003 que la mayoría de los protectores solares comerciales necesitan una reaplicación cada 2 horas para mantener protección óptima. Por su lado, los MAAs presentan fotoestabilidad, ya que se demostró que el 75% de los MAAs iniciales permanecen estables hasta 4 horas después de exposición continua a los rayos sola-

res [8]. Esto muestra una degradación lenta, lo que sugiere menor necesidad de reaplicación a lo largo del día, manteniendo una protección óptima comparado con los protectores solares comerciales.

Comercialmente se encuentra Helioguard 365 de Mibelle Biochemistry y Helionori de Biosil Technologies. Estos productos contienen extractos de MAAs provenientes del alga roja *Porphyra umbilicalis* [9]. Por un lado, Helioguard 365 contiene MAAs encapsulados en liposomas, aumentando la firmeza y suavidad en la piel [9]. Por otro lado, Helionori es fotoestable y estable al calor, reduciendo quemaduras solares y preservando los lípidos en la membrana [9]. Sin embargo, al extraer *P. umbilicalis* de su hábitat natural, se altera el ecosistema, por lo que una alternativa para la producción

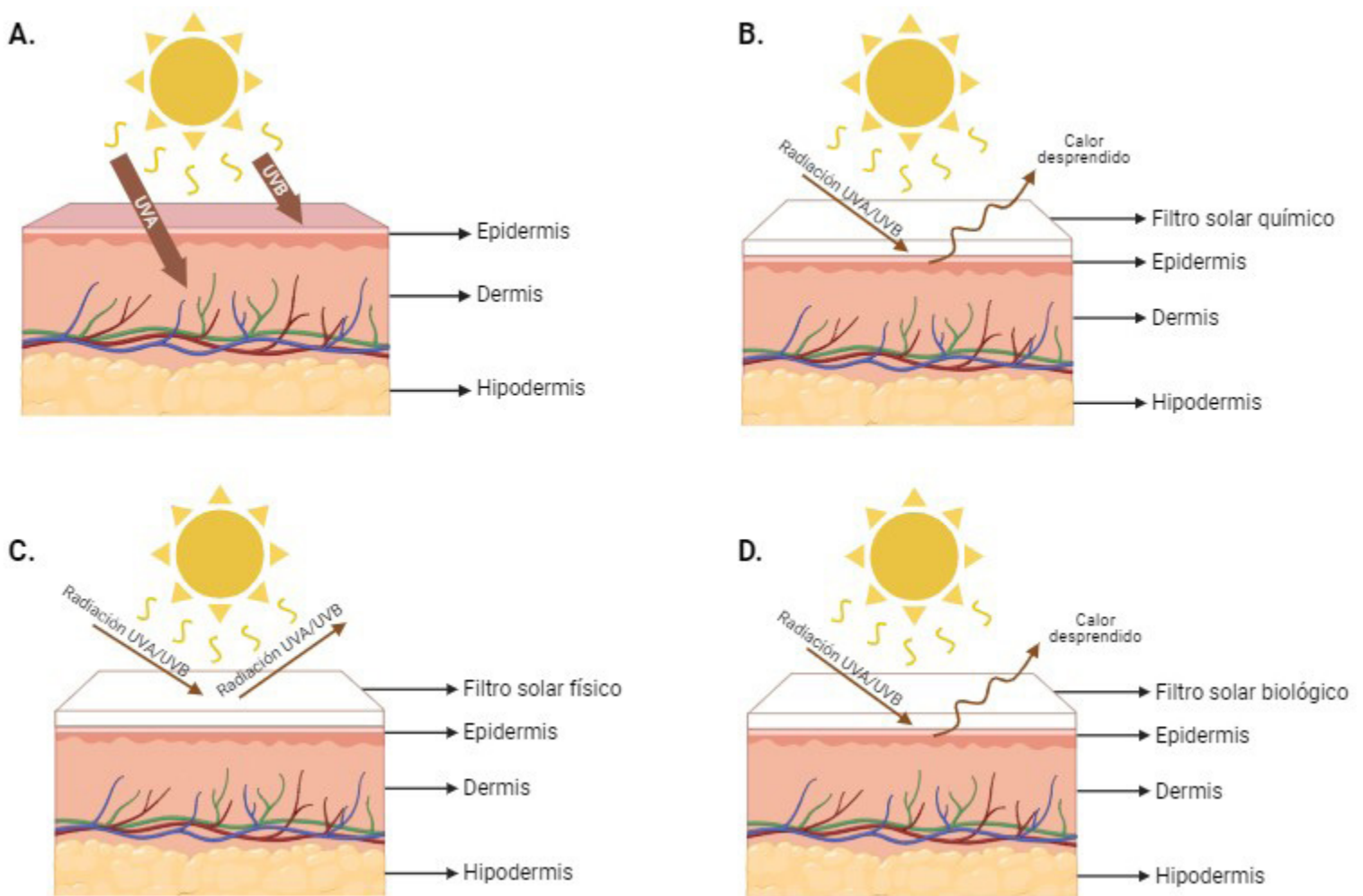


Figura 3. A. Interacción de los rayos UV-A y UV-B con la piel sin protección solar. B. Interacción de los rayos UV-A/UV-B con la piel con un filtro solar físico. C. Interacción de los rayos UV-A/UV-B frente a un filtro solar química. D. Interacción de los rayos UV-A/UV-B con un filtro solar biológico. Creado con BioRender.

de MAAs son las cianobacterias. No hay diferencias reportadas entre los MAAs de *P. umbilicalis* y cianobacterias y se han comenzado a estudiar los beneficios ambientales de utilizar las cianobacterias como alternativa viable para la obtención de MAAs [9]. Las cianobacterias son organismos marinos de interés en el área biotecnológica por su capacidad de producir metabolitos secundarios, como los MAAs.

Para producir los MAAs, es necesario establecer un bioproceso, el cual es un proceso en el que se utilizan células o microorganismos vivos para generar un producto. El equipo principal es el biorreactor, que brinda un medio ambiente controlado que da paso al crecimiento del microorganismo y a la formación del producto de interés. Estos equipos se pueden operar de manera continua para optimizar la producción y cosecha de biomasa, lo que implica una alimentación continua de medio nutritivo fresco, mientras que hay una descarga de masa equivalente, incluyendo medio consumido y biomasa. Dado que la tasa de crecimiento máxima de las cianobacterias se alcanza des-

pués de 6 días, este proceso es ideal para microorganismos con rendimiento bajo, como la cianobacteria *Anabaena variabilis* PCC 7939, ya que permite aumentar la productividad y mantener la tasa de crecimiento en un nivel óptimo para la obtención del producto de interés.

Específicamente para la obtención de MAAs por *A. variabilis* PCC 7939, se sugiere la implementación de fotobiorreactores tubulares tipo *airlift*, utilizando tubos de vidrio de borosilicato, como se muestra en la Figura 4. Los biorreactores tipo *airlift* permiten el paso vertical del flujo. Además, los tubos permiten el paso de la luz y cuentan con un rociador que convierte el gas en burbujas. Ofrecen estabilidad contra rayos UV y alojan más volúmenes fotoactivos de solución de cultivo en un área determinada que otros métodos. Otra de sus ventajas es que ofrece menor evaporación que los sistemas abiertos, lo que brinda mayor rendimiento, aparte de que ofrecen mejor control sobre condiciones de pH, temperatura, luz y concentración de CO_2 [10]. Los fotobiorreactores tubulares circulan el cultivo a través de

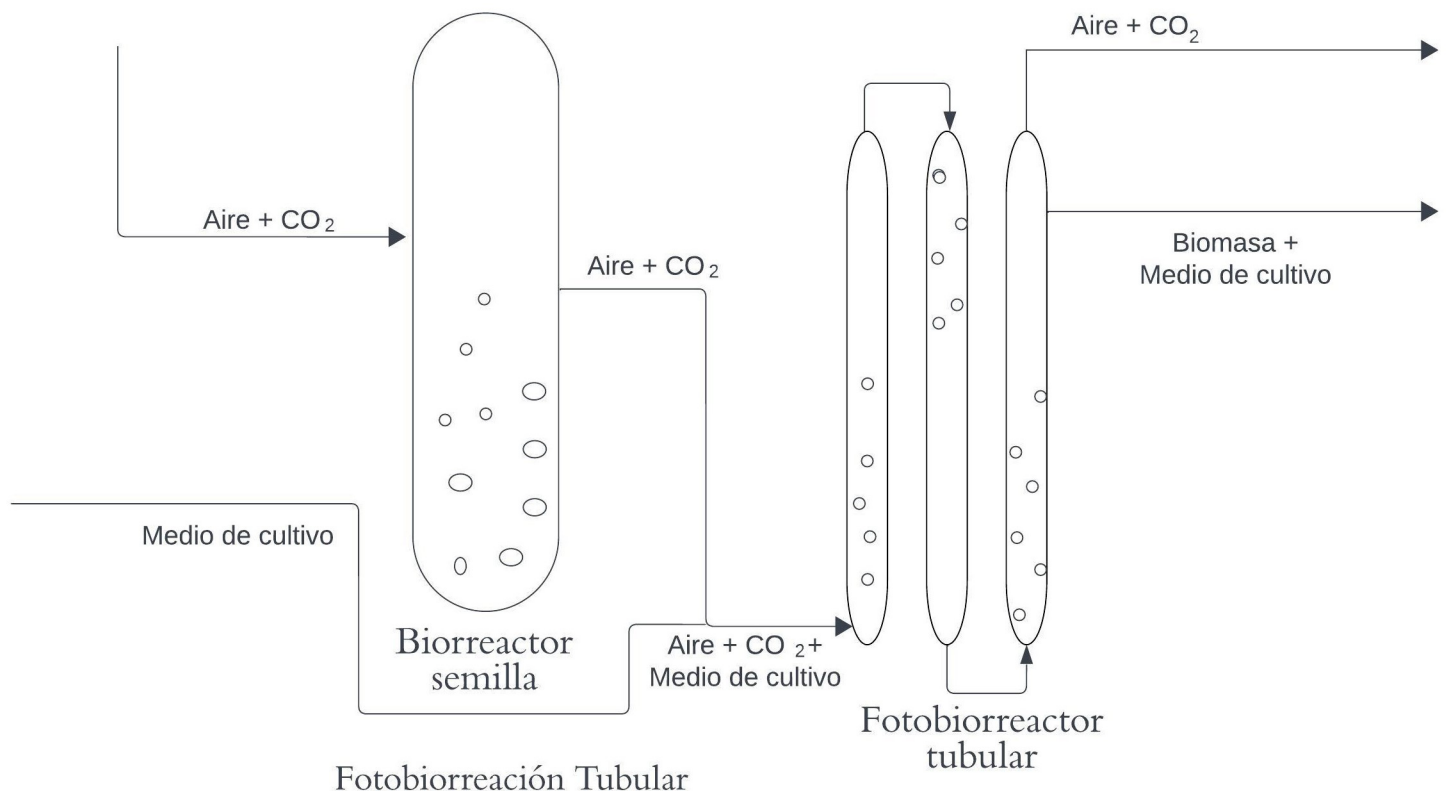



Figura 2. Diagrama representativo del fotobiorreactor tubular. Imagen diseñada en Lucidchart.

dispositivos de transporte de aire, evitando el daño celular que se asocia al bombeo mecánico. Esto debido a que los reactores *airlift* son adecuados para el cultivo de células sensibles gracias a sus bajos esfuerzos de corte.

Por su ubicación geográfica, México recibe una radiación solar alta, lo que provoca una demanda alta de protectores solares. Tomando como base la demanda de empresas PyME (Pequeñas y Medianas Empresas) dentro del mismo sector, para desarrollar un protector solar biológico, es necesario tener la capacidad de producir 600 - 650 protectores al mes. Se propone utilizar *A. variabilis* ya que no es necesario una modificación genética para la producción de MAAs. Para una producción a ese nivel, el fotobiorreactor deberá tener un volumen de 12,666.66 L, por lo que se necesitan 800 tubos con capacidad de 15.85 L c/u. Utilizando *A. variabilis* se espera tener un rendimiento de biomasa de 8 g/L de medio tras 6 días de cultivo y un rendimiento de MAAs de 3.27 mg/g de biomasa seca.

En conclusión, la piel es un órgano multifuncional que cumple roles cruciales en la protección del cuerpo. Su exposición a los rayos UV-B y UV-A resulta en daños al ADN, para prevenirlos, se han desarrollado protectores solares con filtros orgánicos e inorgánicos para absorber y bloquear la radiación dañina. Sin embargo, algunos de sus componentes pueden tener efectos perjudiciales en la salud y medioambiente. Una alternativa prometedora es el uso de protectores solares biológicos con MAAs como filtro solar. Estos, absorben rayos UV, poseen propiedades favorables para la piel y presentan mayor fotostabilidad en comparación con los filtros solares tradicionales, lo que implica una menor necesidad de reaplicación durante el día, revolucionando la industria de protectores solares. 

Referencias

[1] Schmid, D., Schürch, C., & Züllig, F. (2006). Mycosporine-like amino acids from red algae protect against

premature skin-aging. *Euro Cosmet*, 9, 1-4.

[2] Santander Ballestín, S., & Luesma Bartolomé, M. (2023). Toxicity of Different Chemical Components in Sun Cream Filters and Their Impact on Human Health: A Review. *Applied Sciences*, 13(2), 712. <https://doi.org/10.3390/app13020712>

[3] Jesús, A., Sousa, E., Cruz, M., Cidade, H., Lobo, J., & Almeida, I. (2022). UV Filters: Challenges and Prospects. *Pharmaceuticals*, 15(3), 263. <https://doi.org/10.3390/ph15030263>

[4] Balmer, M. E., Buser, H. R., Müller, M. D., & Poiger, T. (2005). Occurrence of some organic UV filters in wastewater, in surface waters, and in fish from Swiss lakes. *Environmental science & technology*, 39(4), 953-962.

[5] Singh, A., Čížková, M., Bišová, K., & Vítová, M. (2021). Exploring Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs) as Safe and Natural Protective Agents against UV-Induced Skin Damage. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 10(5), 683. <https://doi.org/10.3390/antiox10050683>

[6] Korbee, N., Figueroa, F. L., & Aguilera, J. (2006). Acumulación de aminoácidos tipo micospolina (MAAs): Biosíntesis, fotocontrol y funciones ecofisiológicas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79(1). <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000100010>

[7] De la Coba, F., Aguilera, J., de Gálvez, M. V., Álvarez, M., Gallego, E., Figueroa, F. L., & Herrera, E. (2009). Prevention of the ultraviolet effects on clinical and histopathological changes, as well as the heat shock protein-70 expression in mouse skin by topical application of algal UV-absorbing compounds. *Journal of Dermatological Science*, 55(3), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2009.06.004>

[8] Whitehead, K., & Hedges, J. I. (2005). Photodegradation and photosensitization of mycosporine-like amino acids. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 80(2), 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.03.008>

[9] Soule, T., & Garcia-Pichel, F. (2013). Ultraviolet photoprotective compounds from cyanobacteria in biomedical applications. In *Cyanobacteria: An Economic Perspective* (eds N.K. Sharma, A.K. Rai and L.J. Stal). pp. 119-143. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118402238.ch8>

[10] Ramírez Mérida, L. G., Jacob-Lopes, E., & Queiroz Zepka, L. (2014). FOTOBIORREACTOR: HERRAMIENTA PARA CULTIVO DE CIANOBACTERIAS. *Ciencia Y Tecnología*, 6(2), 9-19. <https://doi.org/10.18779/cyt.v6i2.132>