

## **Producción de microalgas nativas en Canarias: casos de estudio en el Área de Desarrollo Tecnológico-Industrial en Biotecnología Azul y Acuicultura de Pozo Izquierdo**

Begoña Bustamante González, Monserrat Alemán-Vega, Tonia Principe, Flavio Guidi, Marianna Venuleo, Eduardo Portillo Hahnefeld

*Departamento de Biotecnología, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC). Pozo Izquierdo, Gran Canaria, España.*

### **Producción de microalgas: potencialidades y principales cuellos de botella**

Las microalgas constituyen una fuente potencial de biomasa y sus extractos para la formulación de una gran variedad de productos con aplicaciones en numerosos sectores industriales. Estos microorganismos fotosintéticos representan una fuente de alimentación de alto valor nutritivo y aportan beneficios muy interesantes para el bienestar y la salud humana, gracias a sus propiedades antioxidantes reforzadoras del sistema inmune, antivíricas, antibacterianas, antifúngicas y antidiabéticas, entre otras.

La biotecnología de microalgas es un sector en crecimiento a nivel mundial. Actualmente, las microalgas son cultivadas principalmente para su aplicación en diferentes ámbitos de la alimentación humana y animal, en acuicultura y en suplementos nutracéuticos y farmacéuticos; también en biofertilizantes y en cosmética, y otros usos como colorantes, antioxidantes...<sup>1,2</sup>. El cultivo de las microalgas se ve favorecido en determinadas áreas geográficas, como es el caso del área atlántica subtropical donde se ubican las Islas Canarias. La gran biodiversidad de cepas de microalgas nativas con alto potencial biotecnológico, así como las condiciones climatológicas caracterizadas por una alta irradiación solar<sup>3</sup>, reducida estacionalidad y limitadas precipitaciones, combinada con una privilegiada ubicación entre las rutas comerciales intercontinentales y un régimen fiscal favorable, convierten al archipiélago canario en un lugar ideal para la producción de microalgas en cultivos en abierto.

Sin embargo, a día de hoy, y a pesar de su enorme potencialidad, el sector de la biotecnología de microalgas en Canarias está constituido únicamente por unas pocas empresas. Esto se debe, en parte, a un marco regulatorio complejo y cambiante en relación a la compatibilidad de terrenos para la actividad acuícola vegetal. A esto se suma una complicada tramitación de las licencias necesarias para el desarrollo de la actividad y, en el pasado reciente, la limitación de un reducido número de especies de microalgas autorizadas para el cultivo. Sin embargo, las normativas respecto a compatibilidad de terrenos, la tramitación de las licencias, así como la ampliación del listado de especies de microalgas autorizadas para el cultivo, se están actualizando de manera favorable para el desarrollo de este sector innovador, abriendo un abanico de posibilidades a las numerosas empresas que deciden invertir en este sector en Canarias.

Además de los factores externos como el marco regulatorio que dificulta la instalación de nuevas empresas en áreas geográficas definidas, existen factores intrínsecos estrictamente relacionados con los aspectos técnicos y operativos de la producción a escala industrial. Entre ellos, los costes económicos y medioambientales asociados al consumo de los recursos hídricos, energéticos y de materias primas (nutrientes) y a la gestión de los efluentes generados. A todo esto, se suman otros factores críticos: por un lado, el proceso de optimización *ad hoc* del cosechado de la biomasa que puede contribuir con hasta el 30% de los costes de producción de

biomasa en sistemas de cultivos abiertos y, por otro lado, la presencia de residuos químicos en procesos extractivos que pueden afectar tanto al uso final de la biomasa como provocar efectos nocivos al medioambiente<sup>4, 5, 6</sup>. Por todo lo anterior, resulta prioritario desarrollar modelos de producción de microalgas económicos, sostenibles y directamente transferibles al sector empresarial.

Los mayores retos para reducir el coste de la producción de microalgas pasan por optimizar el gasto en tecnología y materias primas empleadas, el consumo de energía y la mano de obra requerida para la operación de las instalaciones, así como en incrementar el tamaño de las instalaciones<sup>1</sup>. Las cantidades de materia prima utilizada afectan directamente al resto de los factores ya que implica mayor gasto de transporte y energía, así como mayor volumen de mano de obra.

### **Producción de microalgas bajo un marco de sostenibilidad y economía circular**

El Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), con más de 30 años de experiencia en la investigación aplicada a la biotecnología de las microalgas, y en el marco del Área de Desarrollo Tecnológico-Industrial en Biotecnología Azul y Acuicultura de Pozo Izquierdo<sup>a</sup>, enfoca sus estudios a desarrollar y optimizar procesos para solventar los retos enumerados anteriormente, aplicando estrategias de economía circular y sostenibilidad económica y medioambiental.

En este contexto, las investigaciones avalan la aplicación en el cultivo de microalgas de subproductos procedentes de otras industrias, tales como la salmuera resultante del proceso de desalación o las aguas residuales industriales y urbanas; el empleo del dióxido de carbono y procesos productivos alimentados con energías renovables eólica y solar. Asimismo, la investigación se dirige hacia la viabilidad de la recirculación de los efluentes en los propios cultivos y a la valorización de la biomasa residual de microalgas para convertirla en insumo de otros procesos o productos, como por ejemplo en biofertilizantes para cultivos agrícolas<sup>b</sup>.

Este modelo de producción permite una reducción significativa en el uso de los recursos, favoreciendo la reutilización de subproductos y la valorización de los desechos en un ciclo casi cerrado. El ITC hace una apuesta firme para que sus estudios y desarrollos en biotecnología de microalgas vayan acorde con este enfoque, basado en la sostenibilidad y la economía circular, y que una vez transferidos a las empresas, sean la base de los cimientos del sector de la biotecnología azul en las Islas Canarias.

En los últimos cuatro años, el Departamento de Biotecnología del ITC, en el marco del proyecto Interreg Mac REBECA-CCT<sup>c</sup>, ha llevado a cabo la optimización de la producción a escala piloto-semiindustrial y en un entorno real de tres cepas de microalgas nativas correspondientes a las especies con más interés en el mercado: la cianobacteria *Arthrospira platensis* y las clorofitas *Dunaliella salina* y *Tetraselmis striata*.

### **Cultivo de *Arthrospira platensis* BEA 1257B en agua de mar: una fuente prometedora para la alimentación y la extracción de pigmentos naturales en un marco de alta eficiencia hídrica.**

*Arthrospira platensis*, conocida comúnmente como *Spirulina*, es una cianobacteria dulceacuícola multicelular con color azul-verdoso brillante<sup>7</sup>. El nombre se le atribuye a sus filamentos o tricomas que se presentan enrollados, tomando su característica forma de espiral en toda su longitud (Figura 1).

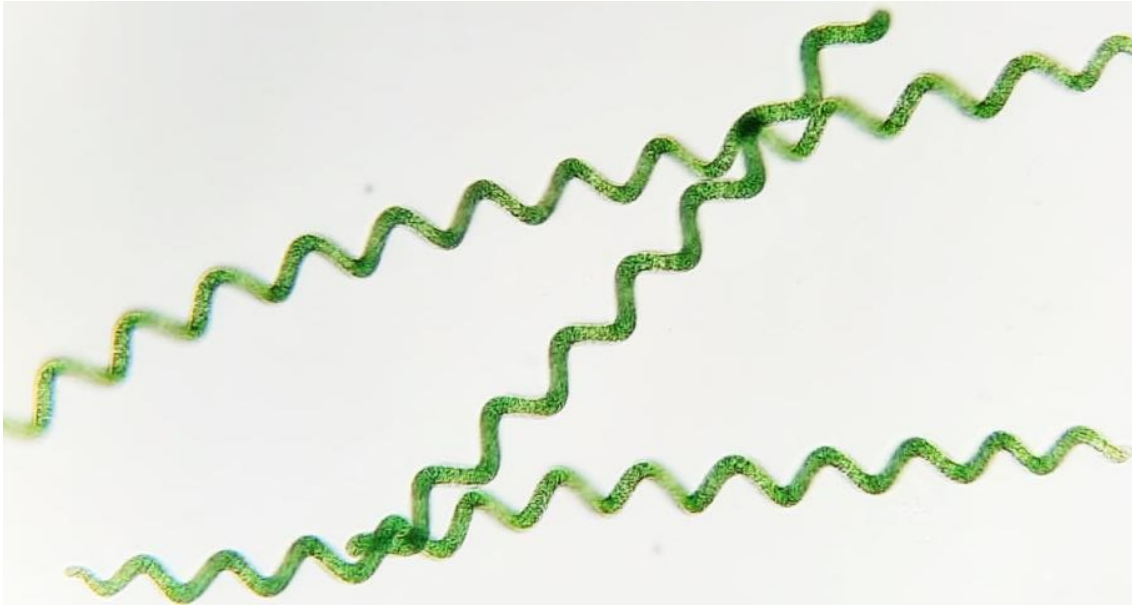


Figura 1. Imagen de *Arthrospira platensis* BEA 1257B al microscopio óptico (magnificación 400x).

*A. platensis*, junto con *Chlorella vulgaris*, son las únicas especies de microalgas permitidas para consumo humano sin procesar<sup>8,9</sup> por su larga historia de utilización y por numerosos estudios *in vivo* e *in vitro*<sup>10,11</sup>. Desde hace cientos de años, antiguas civilizaciones de Latinoamérica y África han empleado *Spirulina* como fuente de alimentación en su dieta. Los historiadores narran que esta microalga se cosechaba naturalmente a partir del 1300 A.D. en la superficie de las aguas del lago Texcoco (México) para la preparación del “tecuítlatl” un plato típico de la gastronomía azteca. También, en las orillas del vasto lago Chad, las poblaciones africanas recolectaban la *Spirulina* en las aguas alcalinas y cálidas del lago para consumirla como alimento básico con el nombre de “dihé” (Figura 2).



Figura 2. : Imagen izquierda, representación de pobladores Aztecas cosechando el tecuítlatl (*Spirulina*) en el lago Texcoco, México (tomado de Paniagua-Michel 2015). La imagen derecha muestra el secado del dihé (*Spirulina*) sobre la arena (tomado de FAO.org/Marzio Marzot).

Hoy en día la *Spirulina* es considerada un superalimento por su elevado contenido nutricional, siendo declarada como “posiblemente el mejor alimento del futuro” en la conferencia sobre alimentación mundial de las Naciones Unidas de 1974; asimismo, la Organización Mundial de la

Salud de las Naciones Unidas (OMS) afirmó que la *Spirulina* representa un alimento interesante, rico en hierro, proteínas y nutrientes esenciales y administrable a niños sin riesgo alguno<sup>12</sup>. El alto contenido en proteína (entorno a un 60% en peso seco) y otros nutrientes esenciales, conjuntamente con las condiciones selectivas de cultivo y la facilidad de cosecha, hacen que actualmente la *Spirulina* domine el mercado mundial de la producción de microalgas, principalmente con aplicación de la biomasa en la industria alimentaria y para consumo animal<sup>13</sup>. Además, la *Spirulina* es el mayor productor del pigmento azul C-ficocianina (Figura 3), el cual posee varias bioactividades, entre las que destacan su capacidad antioxidante, de reducción de radicales libres y propiedades antitumorales, antiinflamatorias y neuroprotectoras. Estas bioactividades hacen que la *Spirulina* tenga aplicaciones en la industria farmacéutica, nutracéutica y cosmética, y en alimentación como colorante natural<sup>14, 15, 16</sup>.



Figura 3. Imagen del pigmento azul C-ficocianina de *Arthrospira platensis* (*Spirulina*), elaborado en las instalaciones del ITC.

Teniendo en cuenta el gran potencial que la *Spirulina* representa en el campo biotecnológico, el Instituto Tecnológico de Canarias ha llevado a cabo numerosos estudios a escala piloto-semiindustrial con una de las cepas de *Spirulina* nativa de Canarias (*A. platensis* BEA 1257B, aislada en el embalse de Los Molinos en Fuerteventura), con el objetivo de incrementar la viabilidad económica y medioambiental de los procesos, preservando (o mejorando) la productividad de los cultivos y el contenido de los metabolitos naturales -de interés comercial- en la biomasa. Los ensayos se han llevado a cabo en el Área de Desarrollo Tecnológico-Industrial en Biotecnología Azul y Acuicultura de Pozo Izquierdo empleando fotobiorreactores del tipo *raceway* con superficie de 80 m<sup>2</sup> bajo invernadero (Figura 4). A lo largo de los ensayos se han testeado con éxito varios aspectos del proceso de producción, entre los cuales destacan:

- La reutilización del medio de cultivo líquido resultante de la cosecha: se alcanza una reducción de tres veces de la demanda de agua dulce y de hasta quince veces del coste de los nutrientes empleados en la preparación del cultivo (en un solo mes en semicontinuo)<sup>17</sup>.
- La reducción de más de cuatro veces del nitrato añadido como nutriente a los cultivos: además del ahorro en sal, permite generar efluentes con muy bajo contenido en nitrógeno, cumpliendo con las normativas vigentes en materia de vertidos y permitiendo un proceso de cultivo sostenible para el medioambiente<sup>18, 19</sup>.
- La mejora del proceso de cosechado y lavado de la biomasa final: se logra reducir en más del 30% el contenido de ceniza en la biomasa<sup>18, 19</sup>.

Asimismo, la cepa se ha adaptado progresivamente a un medio de cultivo basado en agua de mar al 100% según un protocolo desarrollado por los investigadores del ITC. Entre los resultados obtenidos, a lo largo de dos años de cultivo en semicontinuo con recirculación del medio,

destaca una productividad media en términos de biomasa seca de  $15,0 \pm 6,0 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en la condición de agua de mar<sup>20</sup>, que no es significativamente diferente con respecto a la previamente obtenida en agua dulce ( $21,9 \pm 4,4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )<sup>21</sup>. Además, el contenido de proteína y C-ficocianina en la biomasa producida en agua de mar ( $57,1 \pm 4,2\%$  y  $6,0 \pm 0,3\%$ , respectivamente) no difería significativamente de los valores obtenidos en agua dulce ( $62,5 \pm 2,9\%$  por proteína y  $7,2 \pm 1,1\%$  por C-ficocianina, respectivamente), y el contenido de metales pesados, así como el perfil microbiológico de la biomasa, cumplían con los estándares europeos e internacionales para el consumo humano<sup>20,21</sup>.

En su conjunto, estos resultados destacan a la cepa nativa *A. platensis* BEA 1257B como una fuente prometedora de biomasa para uso alimentario y extracción de pigmentos naturales y demuestran la viabilidad técnica del cultivo anual de *A. platensis* en agua de mar, allanando el camino para la producción de fuentes alternativas de proteína en las Islas Canarias y en otros lugares costeros caracterizados por escasez de agua dulce.



Figura 4. Cultivo de *A. platensis* BEA 1257B en agua de mar 100%, en raceway de  $80 \text{ m}^2$  bajo invernadero en las instalaciones del ITC.

#### **Cultivo en circuito cerrado de *Tetraselmis striata* BEA 1978B: una biofábrica de altas prestaciones con bajas necesidades de agua, energía y nutrientes**

Además de la *Spirulina*, otra de las microalgas que capturan la atención mundial por sus potencialidades biotecnológicas son las pertenecientes al género marino *Tetraselmis*. Estas microalgas tienen numerosas propiedades nutricionales y diferentes bioactividades que incluyen actividades antioxidantes, quelantes de metales, neuroprotectoras, de reparación celular y citotóxicas<sup>22</sup>. La biomasa procedente del cultivo de las especies del género *Tetraselmis* es ampliamente empleada para la formulación de piensos para acuicultura debido a su composición bioquímica equilibrada, caracterizada generalmente por un 15% de lípidos, 40% de carbohidratos y 25% de proteínas por unidad de peso seco<sup>23</sup>. Además de su interesante perfil nutricional, la producción de esta biomasa tiene gran potencial para el sector nutracéutico y cosmético. Las microalgas que pertenecen a este género son conocidas por su gran variedad de

carotenoides como el  $\beta$ -caroteno, la luteína y la violaxantina<sup>24</sup>. La reciente aprobación por parte de la Unión Europea a la comercialización de biomasa liofilizada de *T. chuii* para uso alimentario ha reforzado el interés mundial en la producción de *Tetraselmis* spp.

Cabe destacar que el interés biotecnológico para producir estas especies está estrictamente relacionado con su rápido crecimiento y alta productividad, además de la capacidad de sus células de aclimatarse ágilmente a los cambios ambientales, con posibilidad de modular el contenido celular de manera controlada al variar las condiciones de cultivo, como por ejemplo la fuente y la concentración de nitrógeno o la disponibilidad en el medio de cultivo de metales y vitaminas<sup>23, 25</sup>. Esta plasticidad puede ser aprovechada en el campo industrial para dirigir la producción de *Tetraselmis* hacia una específica composición bioquímica y/o determinados compuestos de interés, según la finalidad de uso de la biomasa. Por último, pero no menos importante, la resistencia de las especies de *Tetraselmis* a las contaminaciones biológicas hacen posible cultivar estas microalgas a escala industrial en *raceways* en abierto con producciones estables a largo plazo.

Esta característica es muy relevante para las empresas del sector a la hora de seleccionar las microalgas para una producción a gran escala, gracias al diseño simple, facilidad de construcción y operación, baja inversión de capital y limitados costes operativos que conlleva su cultivo en *raceways* en abierto<sup>26</sup>. Asimismo, para una producción que sea realmente sostenible desde un punto de vista económico y medioambiental, resulta necesario usar fuentes hídricas y de nutrientes que sean económicas y no limitadas, de forma que permitan reducir el coste del cultivo sin perjudicar la calidad final de la biomasa (o extracto) de microalgas y operar en cumplimiento con las normativas del sector.

En esta línea de desarrollo, la actividad de investigación llevada a cabo por el ITC en el Área de Desarrollo Tecnológico-Industrial en Biotecnología Azul y Acuicultura de Pozo Izquierdo ha demostrado el gran potencial del cultivo anual a escala industrial de la cepa nativa *Tetraselmis striata* BEA 1978B, obteniendo una productividad media de 38,8 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en *raceways* en abierto de hasta 300 m<sup>2</sup> de superficie. La cepa objeto de estudio ha sido capaz de resistir a las contaminaciones biológicas en cultivos en abierto y crecer con fuentes de nitrógeno y fósforo económicas y ampliamente disponibles, como la urea y el superfosfato<sup>27,28</sup>. Además, los resultados analíticos han revelado que la biomasa producida representa una valiosa fuente de proteína y ácidos grasos tal como  $\alpha$ -linolénico (ALA) y eicosapentaenoico (EPA), de gran valor para la formulación de pienso para acuicultura. También el equipo de investigación del ITC ha podido demostrar la viabilidad para cultivar esta cepa reutilizando el medio de cultivo resultante del cosechado por centrifugación durante más de dos meses y 10 ciclos de semicontinuo en *raceways* de 80 m<sup>2</sup> de superficie (Figura 5), sin que se vea afectada la productividad del cultivo, composición proximal y calidad microbiológica de la biomasa. Llamativamente se ha observado un menor contenido de carbohidratos en favor de un significativo mayor contenido de proteína (41,10  $\pm$  0,92 y 47,58  $\pm$  0,76; respectivamente) en la biomasa de *T. striata* BEA 1978B obtenida con recirculación del medio de cultivo, lo que hace a esta última más atractiva para la formulación de piensos que la obtenida con medio fresco (43,21  $\pm$  0,51 y 46,13  $\pm$  0,43; respectivamente)<sup>20, 28, 29</sup>. Finalmente, se ha demostrado que para esta cepa nativa es posible modular sustancialmente y rápidamente la composición bioquímica de la biomasa simplemente llevando el cultivo a escasez de nutrientes. El resultado es una disminución del contenido en proteínas y un aumento significativo en lípidos y carbohidratos, en comparación a los cultivos con plenitud de nutrientes (Tabla 1)<sup>20</sup>.

Desde un punto de vista de sostenibilidad de la producción, recircular el medio de cultivo supone una estrategia viable para reducir enormemente el volumen de efluente generado a lo largo del proceso de cultivo, así como una reducción en el gasto energético asociado al bombeo de nueva agua de mar. Por otro lado, la reducción del suministro de nutrientes en el medio de cultivo

permite reducir consecuentemente la carga de los mismos en el efluente, permitiendo la gestión de los vertidos para el cumplimiento de las normativas locales y europeas.



Figura 5: Cultivo de *Tetraselmis striata* en raceway de 80 m<sup>2</sup> en abierto en las instalaciones del ITC.

***Dunaliella salina* BEA 1961B: valorización de la salmuera resultante de la desalación de agua de mar para la producción de compuestos antioxidantes de alto valor.**

Entre todas las microalgas conocidas, *Dunaliella salina* es seguramente la microalga extremofila que más llama la atención por su capacidad de sobrevivir a elevadísimas concentraciones de sales, superiores a 300 psu de sal<sup>30</sup>, un valor de casi diez veces superior a la salinidad media del agua de mar. Debido a su fisiología halófila, esta microalga se encuentra naturalmente en la mayoría de las salinas del mundo, incluyendo las de las Islas Canarias. Su presencia aporta a las salinas un precioso tono rosado resultante de los carotenos acumulados en la microalga, el cual tiene una función de fotoprotección (Figura 6).





Figura 6: Salinas de Janubio en el suroeste de Lanzarote (arriba), salinas de Fuencaliente en el sur de La Palma (centro) y salinas de Tenefé en el sureste de Gran Canaria (centro), Islas Canarias.

La especie *D. salina* se cultiva en diferentes lugares del mundo, precisamente para la producción de carotenoides y en particular de  $\beta$ -caroteno, el cual puede representar hasta el 14% en peso seco del contenido celular<sup>30</sup>. Aunque el  $\beta$ -caroteno puede ser sintetizado químicamente<sup>31</sup>, la demanda de un  $\beta$ -caroteno de origen natural se ha vuelto muy extensa a lo largo del tiempo y sigue en continuo crecimiento<sup>32</sup>. El  $\beta$ -caroteno se ha empleado desde sus orígenes como colorante en la industria alimentaria; más adelante, se ha adoptado en la industria cosmética, nutracéutica y farmacéutica, por sus propiedades antioxidantes y por su eficacia en la prevención de varias enfermedades<sup>33, 34</sup>. Hoy en día se comercializan varias formulaciones con diferentes porcentajes de  $\beta$ -caroteno según el mercado de destino. La preparación más empleada como pienso en acuicultura es la biomasa atomizada, la cual contiene entre un 2-3% de  $\beta$ -caroteno en peso seco<sup>35</sup>, mientras que la que se comercializa más comúnmente como complemento alimentario es una solución que contiene entre un 2-4% de  $\beta$ -caroteno en aceite vegetal, la cual puede ser encapsulada. Por otro lado, para su uso como colorante alimentario, se emplean suspensiones de un 30% de  $\beta$ -caroteno cristalino en aceite vegetal<sup>35</sup>. La biomasa de *D. salina* representa en sí misma un producto de gran interés comercial, tanto en forma fresca como congelada o deshidratada (p.ej. por atomización o liofilización), motivo por el cual tiene un gran potencial de producción.



Sin duda, la producción de  $\beta$ -caroteno a partir de *D. salina* es una de las opciones más prometedoras para las personas emprendedoras que quieran apostar por el sector de la producción de biomasa de microalgas y productos derivados, debido al carácter halotolerante de la especie que permite su cultivo en reactores abiertos (*raceways* u otro tipo de *open ponds*) con un limitado riesgo de contaminación biológica por parte de *grazers* y competidores fotoautotróficos.

La salmuera resultante del proceso de desalación del agua de mar por ósmosis inversa representa un rechazo hipersalino muy abundante en las Islas Canarias, con más de 660.000 m<sup>3</sup> generados diariamente<sup>36</sup>. La valorización de este subproducto es objeto de gran interés, no solamente para el archipiélago canario, sino para todas las áreas costeras caracterizadas por climas áridos o semiáridos, como por ejemplo el sur de España, California y el Golfo Pérsico. Por todo ello, el ITC ha dirigido sus estudios al aprovechamiento de este subproducto, testeando el cultivo de la cepa nativa *D. salina* BEA 1961B en salmuera industrial procedente de la Estación Desaladora de Agua de Mar (EDAM) de la Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.

El equipo de investigación del ITC ha logrado cultivar esta cepa en concentraciones crecientes de salinidad de 70 (salmuera), 80 y 100 psu (estas dos últimas obtenidas por evaporación natural de la salmuera), obteniendo una productividad de carotenoides significativamente mayor que la obtenida en cultivos tradicionales con agua de mar (37 psu), sin verse afectada la productividad de biomasa o carotenoides (Tabla 1)<sup>20,37</sup>.

Tabla 1: Productividad de biomasa y carotenoides por *D. salina* en diferentes condiciones de salinidad.

Salinidad (psu)	Productividad de biomasa (g·m <sup>-2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	Productividad de carotenoides (mg·m <sup>-2</sup> ·día <sup>-1</sup> )
37	2.67 ± 0.53 <sup>a</sup>	147 ± 31 <sup>a</sup>
70	1.75 ± 0.92 <sup>a</sup>	244 ± 27 <sup>b</sup>
80	1.83 ± 0.10 <sup>a</sup>	335 ± 7 <sup>c</sup>
100	2.02 ± 0.59 <sup>a</sup>	361 ± 11 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; ANOVA)

Los resultados obtenidos sugieren que el uso de salmuera procedente de la desalación de agua de mar por ósmosis inversa es un medio de bajo coste muy prometedor para cultivar *D. salina* en zonas áridas y semiáridas donde las plantas desaladoras son comunes debido a la limitada disponibilidad de agua dulce (Figura 7). Es más, el uso de la salmuera de las desaladoras en el proceso de cultivo de microalgas revaloriza este efluente y puede incluso resultar útil en la remoción de ciertos componentes residuales en el mismo, mejorando su calidad antes de ser vertido. A lo anterior se suma su contribución al ahorro energético y a la reducción de la huella de carbono, eliminando la necesidad de bombear agua de mar nueva para el cultivo, reduciendo así los costes económicos y medioambientales de la actividad de producción de microalgas.

Además, el cultivo de *D. salina* BEA 1961B en salmuera para la producción de metabolitos de alto valor se ha llevado a cabo en condiciones de limitación de nitrato, resultando en un efluente con una carga reducida en nutrientes, lo cual permite el cumplimiento de las normativas locales y europeas para la gestión de vertidos.



Figura 7. Imagen de cultivo de *D. salina* BEA 1961B en raceway de 250L en las instalaciones del ITC (izq.) y extractos de carotenos en metanol elaborados en las instalaciones del ITC (dch.).

## Conclusiones y perspectivas futuras

En su conjunto, los resultados presentados confirman que las Islas Canarias son un lugar estratégico a nivel europeo y mundial para el cultivo de microalgas en *raceways* en abierto, gracias a las condiciones climatológicas ideales que permiten mantener una productividad estable a lo largo del año. Las microalgas nativas *A. platensis* 1257B, *D. salina* BEA 1961B y *T. striata* BEA 1978B se han revelado como cepas de alto rendimiento en las condiciones testeadas, colocándose claramente como cepas de referencia para la producción a gran escala en Canarias.

El uso de fuentes de agua ampliamente disponibles como el agua de mar y la salmuera de desalación, y su recirculación a lo largo del proceso de cultivo, se presentan como estrategias viables para el cultivo industrial de microalgas, permitiendo maximizar la eficiencia hídrica y energética del proceso y reduciendo significativamente los costes económicos y el impacto sobre el medio ambiente. Estas investigaciones, esenciales para el desarrollo de la biotecnología azul en Canarias, tendrán su continuidad bajo el marco del proyecto Thinkinazul<sup>d</sup> donde también se incluirán otras cepas nativas de elevado interés y potencial biotecnológico como *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella tertiolecta*, *Chlorella sorokiniana* y *Navicula salinicula*, entre otras.

El ITC apuesta firmemente por el desarrollo y la transferencia tecnológica a las empresas de estos modelos de producción de microalgas, basados en criterios de eficiencia y optimización de los recursos, a través de la reutilización de subproductos y la valorización de los residuos en un ciclo casi cerrado, de forma que la sostenibilidad y la economía circular formen parte intrínsecamente del sector de la Biotecnología Azul en Canarias.

## Financiaciones

<sup>a</sup> **Proyecto BLUEACT** "Consolidación del área experimental de biotecnología azul y acuicultura de Pozo izquierdo" otorgado al ITC por la Consejería de Economía, Conocimiento y Empleo del Gobierno de Canarias a través de la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (ACIISI), financiado en su totalidad por el P.O. FEDER Canarias 2014-2020 y, concretamente, por su Eje prioritario 20 REACT-UE "EP 20: Favorecer la reparación de la crisis en el contexto de la pandemia de COVID- 19 y sus consecuencias sociales y preparar una recuperación verde, digital y resiliente de la economía"; Objetivo Específico "OE.20.1.4 - OE REACT UE 4. Apoyo a las inversiones que contribuyan a la transición hacia una economía verde". La actuación forma parte de la ITI (Inversión Territorial Integrada) Azul, prioridad OEA0203 "Gestión sostenible de los recursos marinos".



**BLUEACT**  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, CONOCIMIENTO Y EMPLEO  
AGENCIA CANARIA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN



Canarias  
**avanza**  
con Europa



**Gobierno**  
de Canarias



Unión Europea

**Fondo Europeo de**  
Desarrollo Regional

<sup>b</sup> **Proyecto ISLANDAP ADVANCED** “R+D+i towards Aquaponic Development in the UP Islands and the Circular Economy. Interregional Forward Challenges”, Interreg MAC 2014-2020, MAC2/1.1a/299.



<sup>c</sup> **Proyecto REBECA-CCT** “Red de Excelencia en Biotecnología Azul: Consolidación, Certificación y Transferencia”, Interreg MAC 2014-2020, MAC2/1.1b/269.



<sup>d</sup> **Proyecto Thinkinazul** “Estrategia Conjunta de Investigación e Innovación en Ciencias Marinas para abordar de forma sostenible los nuevos desafíos en la Monitorización y Observación Marino-Marítimas, el Cambio Climático, la Acuicultura y otros Sectores de la Economía Azul”. Planes Complementarios con las Comunidades Autónomas – Componente 17 del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) del Gobierno de España, financiado con fondos “Next Generation EU” a través del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (MRR).



## Referencias

1. Fernández, F. A., Sevilla, J. M. F., & Grima, E. M. (2019). Costs analysis of microalgae production. In *Biofuels from algae* (pp. 551-566). Elsevier.
2. Torres, G. F., Bermejo-Padilla, E., Pittman, J., & Theodoropoulos, C. (2021). Microalgae strain catalogue: A strain selection guide for microalgae users: cultivation and chemical characteristics for high added-value products.
3. Mazorra Aguiar, L., Lauret, P., Díaz Reyes, F., Ortigón, A., & Pérez-Suárez, R. (2016). Daily global solar radiation estimation for Gran Canaria Island using artificial neural networks. *Renewable energy and power quality journal*.
4. Milledge, J.J.; Heaven, S. A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* 2013, 12, 165–178, doi:10.1007/s11157-012-9301-z.
5. Zhang, T. Y., Hu, H. Y., Wu, Y. H., Zhuang, L. L., Xu, X. Q., Wang, X. X., & Dao, G. H. (2016). Promising solutions to solve the bottlenecks in the large-scale cultivation of microalgae for biomass/bioenergy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1602-1614.
6. Molino, A., Mehariya, S., Di Sanzo, G., Larocca, V., Martino, M., Leone, G. P., Marino, T., Chianese, S., Balducci, R., & Musmarra, D. (2020). Recent developments in supercritical fluid extraction of bioactive compounds from microalgae: Role of key parameters, technological achievements and challenges. *Journal of CO2 Utilization*, 36, 196-209.
7. Vonshak, A. & Tomaselli, L. (2000) *Arthrospira (Spirulina): Systematics and Ecophysiology. The Ecology of Cyanobacteria. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holanda.* pp. 505-522.
8. Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, relativo a los nuevos alimentos, por el que se modifica el Reglamento (UE) n° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan el Reglamento (CE) n° 258/97 del

Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1852/2001 de la Comisión (Texto pertinente a efectos del EEE).

9. Reglamento de Ejecución (UE) 2017/2470 de la Comisión, de 20 de diciembre de 2017, por el que se establece la lista de la Unión de nuevos alimentos, de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los nuevos alimentos (Texto pertinente a efectos del EEE.)
10. Bigagli, E.; Cinci, L.; Niccolai, A.; Tredici, M.R.; Biondi, N.; Rodolfi, L.; Lodovici, M.; D'Ambrosio, M.; Mori, G.; Luceri, C. (2017) Safety Evaluations and Lipid-Lowering Activity of an *Arthrospira Platensis* Enriched Diet: A 1-Month Study in Rats. *Food Res. Int.* 102, 380–386.
11. Niccolai, A.; Bigagli, E.; Biondi, N.; Rodolfi, L.; Cinci, L.; Luceri, C.; Tredici, M.R. (2017) In Vitro Toxicity of Microalgal and Cyanobacterial Strains of Interest as Food Source. *J. Appl. Phycol.*, 29, 199–209.
12. Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Ación-Fernández, F. G. (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356.
13. Andrade, L. M., Andrade, C. J., Dias, M., Nascimento, C., & Mendes, M. A. (2018). Chlorella and Spirulina microalgae as sources of functional foods. *Nutraceuticals and Food Supplements*, 6(1), 45-58
14. Assaye, H., Belay, A., Desse, G., & Gray, D. (2018). Seasonal variation in the nutrient profile of *Arthrospira fusiformis* biomass harvested from an Ethiopian soda lake, Lake Chitu. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 1597-1606.
15. Furmaniak, M. A., Misztak, A. E., Franczuk, M. D., Wilmotte, A., Waleron, M., & Waleron, K. F. (2017). Edible cyanobacterial genus *Arthrospira*: Actual state of the art in cultivation methods, genetics, and application in medicine. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2541.
16. Ashaolu, T. J., Samborska, K., Lee, C., Tomas, M., Capanoglu, E., Tarhan, Ö., Taze, B., & Jafari, S. M. (2021). Phycocyanin, a super functional ingredient from algae; properties, purification characterization, and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 2320-2331.
17. Guidi, F., Gojkovic, Z., Venuleo, M., Assunção, P. A. C. J., & Portillo, E. (2021). Long-term cultivation of a native *Arthrospira platensis* (Spirulina) strain in Pozo Izquierdo (Gran Canaria, Spain): Technical evidence for a viable production of food-grade biomass. *Processes*, 9(8), 1333.
18. Alemán-Vega M., Guidi F., Venuleo M., Portillo E. "Adaptation to seawater of *Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris* native strains and optimization of cultivation and downstream process: a case study in Gran Canaria". Poster. December 7-10th, 2021. Algaeurope 2021 (online). Abstract book p 286.
19. Alemán M., Guidi F., Venuleo M., Portillo E. "Production optimization of canarian native microalgae strains for food, feed and future extraction of metabolites of commercial interest". Poster. July 6-8th, 2022. VIII International Symposium on Marine Sciences (ISMS; Las Palmas de Gran Canaria, Spain).
20. Alemán M., Guidi F., Venuleo M. & Portillo E. Long-term pilot-scale cultivation of *Arthrospira platensis* in seawater: Strategies for the production of alternative protein sources and high-value compounds while maximizing hydric efficiency. Oral presentation. December 7-10th, 2021. ALGAEUROPE 2022 (Roma, Italia).
21. Guidi, F., Alemán, M., Bustamante, B., Ríos, R., Venuleo, M. and Portillo, E. Optimization of locally available natural resources for a sustainable blue bioeconomy: case studies in Pozo Izquierdo (Canary Islands, Spain). Oral presentation. June 12-14th, 2023. International Conference on Algal Biomass, Biofuels and Bioproducts (AlgalBBB 2023) (Waikoloa Beach, Hawaii, USA).
22. Pereira, H., Silva, J., Santos, T., Gangadhar, K. N., Raposo, A., Nunes, C., Coimbra, M. A., Gouveia, L., Barreira, L. & Varela, J. (2019). Nutritional potential and toxicological evaluation of *Tetraselmis sp.* CTP4 microalgal biomass produced in industrial photobioreactors. *Molecules*, 24(17), 3192.

23. Kim, G., Mujtaba, G., Lee, K., Kim, G., Mujtaba, G., & Lee, K. (2016). Effects of nitrogen sources on cell growth and biochemical composition of marine chlorophyte *Tetraselmis* sp. for lipid production. *Algae*, 31(3), 257-266.
24. Schüler, L. M., Santos, T., Pereira, H., Duarte, P., Katkam, N. G., Florindo, C., Schulze, P.S., Barreira, L., & Varela, J. C. (2020). Improved production of lutein and  $\beta$ -carotene by thermal and light intensity upshifts in the marine microalga *Tetraselmis* sp. CTP4. *Algal Research*, 45, 101732.
25. Dammak, M., Hadrich, B., Miladi, R., Barkallah, M., Hentati, F., Hachicha, R., Laroche, C., Michaud, P., Fendri I., & Abdelkafi, S. (2017). Effects of nutritional conditions on growth and biochemical composition of *Tetraselmis* sp. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 41.
26. Borowitzka, M. A. (2005). Culturing microalgae in outdoor ponds. In *Algal culturing techniques* (pp. 205-218). Academic Press.
27. Gojkovic, Z., Guidi, F., Bustamante, B., Venuleo, M., Assunção, P. A. C. J. D., & Portillo, E. (2021). Scaling-Up and Semi-Continuous Cultivation of Locally Isolated Marine Microalgae *Tetraselmis striata* in the Subtropical Island of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Processes*, 9(8), 1326.
28. Bustamante B., Alemán M., Guidi F., Venuleo M., Portillo E. "Optimization of industrial cultivation of the native strain *Tetraselmis striata* and wastewater revaluation: a case study in Gran Canaria". Poster. December 7-10th, 2021. ALGAEUROPE 2021 (Online).
29. Bustamante, B., Alemán, M., Guidi, F., Venuleo, M., Portillo, E. "Optimization of water, energy and nutrient consumption in the industrial cultivation of the native canarian strain *tetraselmis striata*: a case study in Pozo Izquierdo". Poster. July 6-8th, 2022. VIII International Symposium on Marine Sciences (ISMS; Las Palmas de Gran Canaria, Spain).
30. Borowitzka, M. A., Borowitzka, L. J., & Kessly, D. (1990). Effects of salinity increase on carotenoid accumulation in the green alga *Dunaliella salina*. *Journal of applied Phycology*, 2, 111-119.
31. Isler, O. (1979). History and industrial application of carotenoids and vitamin A (1). In *Carotenoids 'C5* (pp. 447-462). Pergamon.
32. Barreiro, C., & Barredo, J. L. (2018). Carotenoids production: a healthy and profitable industry. *Microbial Carotenoids: Methods and Protocols*, 45-55.
33. Ibrahim, K., Jafarey, N. A., & Zuberi, S. J. (1977). Plasma vitamin " A" and carotene levels in squamous cell carcinoma of oral cavity and oro-pharynx. *Clinical oncology*, 3(2), 203-207.
34. Schwartz, J., & Shklar, G. (1987). Regression of experimental hamster cancer by beta carotene and algae extracts. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(6), 510-515.
35. Borowitzka, L. J., & Borowitzka, M. A. (1990). Commercial production of-carotene by *Dunaliella salina* in open ponds. *Bulletin of marine science*, 47(1), 244.
36. Rosales-Asensio, E., García-Moya, F. J., González-Martínez, A., Borge-Diez, D., & de Simón-Martín, M. (2020). Stress mitigation of conventional water resources in water-scarce areas through the use of renewable energy powered desalination plants: An application to the Canary Islands. *Energy Reports*, 6, 124-135.
37. Bustamante, B., Alemán, M., Guidi, F., Venuleo, M., Portillo, E. "Revaluation of SWRO brine for the production of carotenoids from a native strain of *Dunaliella salina*: a case study in Gran Canaria". Poster. December 13-15th, 2022. ALGAEUROPE 2022 (Roma, Italia).