S21 CDT Ciencia, Docencia y Tecnología

Suplemento CDyT
VOL. 16 | N° 21 | 2026 ISSN 2250-4559

PID 8155

Extractos de la microalga *Tetradesmus obliquus* como bioinsumo hortícola

Cecilia Cabrera[1], Natalia A. Sacks[1,2], Melina A.Urbani[1,2]; Gina F. Vezzosi-Zoto [1,2], Evelin Carlier[1], Luciana M. Rodriguez[1], Luz M. Zapata[1,2]

Autores/as: [1] Facultad de Ciencias de la Alimentación de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), [2] Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos (ICTAER), doble dependencia UNER-CONICET.
Contacto: cecilia.cabrera@uner.edu.ar

DOI: https://doi.org/10.33255/1621/2752

Resumen

El objetivo de este proyecto fue obtener extractos de la microalga *Tetradesmus obliquus*, evaluar su actividad fungicida y bactericida, así como el efecto bioestimulante en plantines de lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Se cultivó la microalga y se obtuvieron 7 extractos para evaluar *in vitro* su actividad biopesticida frente a fitopatógenos de importancia agrícola, como *Clavibacter michiganensis*, *Ralstonia solanacearum*, *Alternaria* sp. y *Fusarium oxysporum*. Los resultados demostraron que el extracto más diluido, elaborado a partir de biomasa microalgal liofilizada resuspendida en agua, presentó actividad antibacteriana frente a C. *michiganensis* y *R. solanacearum*, así como actividad antifúngica sobre *Alternaria* sp. Se evaluó el efecto bioestimulante de los extractos sobre el crecimiento de plantas de lechuga y tomate. Los extractos elaborados a partir del cultivo microalgal y de biomasa liofilizada resuspendida en agua favorecieron la rápida emergencia de cotiledones (Lechuga = 3 días y Tomate = 7 días), incrementaron la producción de plantines con mayor contenido de materia seca (Lechuga = 76,8% y Tomate = 21,2%), promoviendo así un equilibrio entre la parte aérea y radicular, mejorando la calidad de los plantines. En conclusión, los extractos obtenidos de *T. obliquus* muestran un gran potencial como bioinsumos multifuncionales, con actividad bioplaguicida y bioestimulante en lechuga y tomate.

Palabras clave: *microalgas – bioestimulantes vegetales – actividad antimicrobiana – Lactuca sativa – Solanum lycopersicum.*

Objetivos propuestos y cumplidos

Objetivo general:

Obtener extractos de la microalga *Tetradesmus obliquus* y estudiar su potencialidad para ser utilizados como biopesticidas y bioestimulantes del crecimiento en hortalizas.

Objetivos específicos:

- Generar extractos microalgales a partir del cultivo y la biomasa de la microalga *Tetradesmus obliquus.*
- Estudiar el efecto bactericida de los extractos microalgales in vitro, para el control de cepas bacterianas presentes en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*).
- Investigar el efecto fungicida de los extractos microalgales in vitro para el control de hongos fitopatógenos presentes en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*).
- Evaluar el efecto de los extractos sobre el crecimiento de las plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*).

Marco teórico y metodológico (síntesis)

Marco teórico

El aumento de la población mundial y los efectos del cambio climático están obligando a la comunidad científica a buscar tecnologías innovadoras que puedan mejorar la producción agrícola para aumentar los rendimientos, favorecer la seguridad alimentaria y reducir los impactos ambientales (Gatamaneni Loganathan et al., 2020). Si bien el uso de agroquímicos sintéticos ha proporcionado una solución provisoria para aumentar los rendimientos de la producción, a su vez ha provocado la infertilidad del suelo, la eutrofización, la contaminación ambiental y la pérdida de biodiversidad (García-Gonzalez y Sommerfeld, 2016; Barone et al., 2018; Gatamaneni Loganathan et al., 2020; Toribio et al., 2021).

En este marco, la agricultura sostenible enfrenta el dilema de reducir estos impactos negativos mientras logra rendimientos de cultivos cada vez más altos (Schmid et al., 2022). El uso de productos naturales contra plagas en prácticas agrícolas en lugar de productos químicos sintéticos muestra ventajas significativas (Asimakis et al., 2022). Estos compuestos son ambientalmente seguros debido a su alta biodegradabilidad y baja residualidad; son más seguros debido a su especificidad y, por ende, es menos probable que produzcan resistencia, debido a los diversos mecanismos de acción (Zhao et al., 2017).

Actualmente, la biotecnología aplicada a las microalgas está emergiendo como un pilar de la bioeconomía global (Fernández et al., 2021). Las microalgas ofrecen un gran potencial como fuente de compuestos bioactivos gracias a su cultivo sencillo, a ciclos de crecimiento rápidos y a que se trata de un recurso renovable y son respetuosas con el ambiente (Shaima et al., 2022). Entre sus aplicaciones biotecnológicas más prometedoras se encuentran los productos dirigidos al sector agrícola, tales como bioestimulantes y biopesticidas, que promueven una agricultura más sostenible (Fernández et al., 2021) y pueden dar respuesta a la creciente demanda de productos orgánicos.

Según du Jardin (2015), los bioestimulantes pueden definirse como sustancias, mezclas de moléculas o microorganismos que, al aplicarse en las plantas, mejoran la efi-

ciencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y/o los rasgos de calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes. En una línea similar, Yakhin et al. (2017) describen los bioestimulantes como productos formulados de origen biológico que aumentan la productividad vegetal debido a propiedades emergentes de su composición, y no exclusivamente por la presencia de nutrientes esenciales, reguladores del crecimiento o compuestos protectores conocidos.

Los biopesticidas se utilizan como medidas preventivas para enfermedades de las plantas y están elaborados a partir de sustancias naturales que controlan las plagas mediante mecanismos no tóxicos y de forma ecológica (Fernández et al., 2021). Específicamente, el término biopesticida abarca compuestos naturales, como bicarbonato de sodio y acetato de sodio, o sustancias bioquímicas producidas de forma natural por diversos organismos o por plantas modificadas genéticamente, así como microorganismos (bacterias, virus, hongos, algas), que se utilizan para el control de plagas en las prácticas agrícolas (Costa et al., 2019; Asimakis et al., 2022).

En Argentina, la producción hortícola alcanza entre 8 y 10 millones de toneladas anuales (Ferratto et al., 2010; Argerich et al., 2011; Castagnino et al., 2020), destacándose el tomate y la lechuga como el segundo y tercer cultivo más consumido, respectivamente. Ambas hortalizas son producidas en la región del Litoral, entre otras (Ferratto et al., 2010; Argerich et al., 2011; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2023).

Esto ha impulsado la búsqueda de compuestos obtenidos de fuentes naturales y sostenibles, como las microalgas. Entre ellas, *Tetradesmus obliquus* (Turpin) se caracteriza por su capacidad de adaptación y la producción de metabolitos con propiedades antifúngicas, antibacterianas y bioestimulantes, posicionándola como una alternativa para mejorar el rendimiento y la protección de cultivos hortícolas.

Marco metodológico

Microorganismos y condiciones de cultivo

La microalga utilizada en este estudio será *Tetradesmus obliquus*, aislada en el Laboratorio de Análisis de Metales en Alimentos y Otros Sustratos (LAMAS) de la Facultad de Ciencias de la Alimentación (FCAL), de agua recolectada en el Embalse Salto Grande (República Argentina), ubicada en 30° 59’ 19,07” de latitud sur y 57° 54’ 19,24” de latitud oeste (Jiménez-Veuthey et al., 2018).

La microalga se cultivó en el medio de cultivo estándar Allen & Arnon (A&A) enriquecido con 0,21 g/L de nitrato de sodio ($NaNO_3$) y 0,25 g/L de nitrato de potasio (KNO_3), como fuentes de nitrógeno. Además, como fuente de carbono se suplementó el medio A&A con dióxido de carbono (CO_2) a demanda para mantener controlado el pH del medio en 8,00±0,1. Se trabajó en biorreactores de 25 L colocados en cámara de cultivo a 25±1 °C, 55-60 % HR, fotoperiodo luz/oscuridad 16/8 h, modificando la irradiancia en las horas de luz según se señala a continuación: 8,75 µmol/(m^2 s) – 2 h; 17,50 µmol/(m^2 s) – 3 h; 26,25 µmol/(m^2 s) – 6 h; 17,50 µmol/(m^2 s) – 3 h; 8,75 µmol/(m^2 s) – 2 h.

Para la realizar los estudios in vitro referidos al efecto bactericida de extractos de la microalga *T. obliquus* se trabajó con microorganismos fitopatógenos:

- 2 cepas bacterianas fitopatógenas: *Clavibacter michiganensis (*antes *C. michiganensis subsp. michiganensis)* y *Ralstonia solanacearum*

Para mantener la cepa bacteriana de *C. michiganensis* se cultivó en placas de agar nutritivo estándar (ANS) y agar Mueller Hinton (MHA) a 30±1 °C por 48h, posteriormente se mantuvo a 4±1 °C hasta su utilización; mientras que *R. solanacearum* se cultivó en placas de medio base Kelman´s (MBK) a 30±1 °C por 48 h, posteriormente se mantuvo a 4±1 °C hasta su utilización.

- 2 cepas de hongos fitopatógenos: *Alternaria* sp. y *Fusarium oxysporum*

Las cepas de *Alternaria* sp. y *F. oxysporum* se cultivaron en placas de agar papa glucosado (APG) a 25±1 °C por 7 días; posteriormente, fueron mantenidas a 5±1 °C hasta su utilización.

Hortalizas

Se trabajó con 2 especies de hortalizas, lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Las semillas de lechuga corresponden a la variedad Brisa (Bonanza), mientras que las de tomate pertenecen a la variedad Platense (CAPS).

Elaboración de extractos microalgales

Se obtuvieron los 7 extractos microalgales:

- ECM0, consistió en el cultivo microalgal puro,
- ECM10, para obtener este extracto ECM0 fue diluido con agua destilada en una concentración de 10%,
- ECM5, ECM0 fue diluido con agua destilada en una concentración de 5%,
- ECM1, ECM0 fue diluido con agua destilada en una concentración de 1%,
- EBLA5: Extracto de biomasa microalgal liofilizada, preparado por resuspensión de 5% de biomasa liofilizada en agua destilada,
- EBLA1 Extracto de biomasa microalgal liofilizada, preparado por resuspensión de 1% de biomasa liofilizada en agua destilada.
- EBLEA1: Extracto de biomasa microalgal liofilizada, preparado por resuspensión de 1% de biomasa liofilizada en etanol.

Adicionalmente, como testigos se utilizaron: agua destilada (TA) y una solución de etanol al 1 % (TE1).

Actividad antimicrobiana de los extractos microalgales

Una vez obtenidos los extractos microalgales, se probó su actividad biológica contra las cepas bacterianas *C. michiganensis* y *R. solanacearum in vitro* mediante un ensayo de difusión con discos, siguiendo los protocolos descritos por Marrez et al. (2019), Toribio et al. (2021) y Shaima et al. (2022).

Actividad antifúngica de los extractos microalgales

La actividad antifúngica de los extractos microalgales se evaluó frente a *Alternaria* sp. y *F. oxysporum in vitro* mediante el método de difusión con discos descrito por Marrez et al. (2019) y Shallan et al. (2020).

Evaluación de los extractos microalgales en el crecimiento de las hortalizas

A partir de los extractos de la microalga *T. obliquus*, se analizó su efecto sobre la etapa de plantín de las hortalizas lechuga y tomate.

Para la siembra de ambas especies se utilizó un sustrato comercial (KEKKILÄ profesional®) mezclado con perlita en una proporción 1:3. Para la siembra de lechuga se utilizaron bandejas de 200 celdas (11 cm^3) y para el tomate de 72 celdas (55 cm^3). Posterior a la siembra, ambas especies fueron regadas con 2 mL de extracto o solución testigo y periódicamente se regaron con agua de riego hasta la finalización del ensayo.

Para cada tratamiento se utilizaron 80 semillas de lechuga y 60 semillas de tomate.

Periódicamente se registraron los estadios fenológicos de la germinación (estado 0) y el desarrollo de hojas (estado 1) de cada especie considerando las etapas de Meier (2018). Este procedimiento se realizó para cada hortaliza hasta alcanzar la etapa de crecimiento de 3 hojas verdaderas en la planta.

Una vez alcanzada dicha etapa, los plantines de cada tratamiento se dispusieron para evaluar caracteres morfométricos como longitud total de la planta, longitud de raíz y parte aérea (mm) con calibre digital profesional (Black Jack), así como el peso fresco y peso seco (Rachidi et al., 2020; Supraja et al., 2020), para calcular la materia seca.

Asimismo, se analizó el sustrato para cada tratamiento de cada especie de hortaliza, determinando: N, C, metales como Ca, K, Mg, Na, PT, Fe, Cu, Zn, Mn, además de pH, CE, materia seca, materia orgánica (MO) y bases intercambiables.

Técnicas analíticas

Nitrógeno total (NT). Se determinaron por método de combustión (Método Dumas) en analizador (CHN 628 LECO). Los resultados se expresaron en mg/kg.

Carbono Orgánico Total en suelo (C): por el método Walkley-Black por oxidación de la muestra con dicromato de potasio en medio ácido (ácido sulfúrico), para luego titular con sulfato ferroso amónico según Norma IRAM-SAGyP 29571-2:2011. Los resultados fueron expresados en % o g/100g.

Nitrógeno orgánico en suelo (N): por el método Kjeldahl modificado. Se midió según Norma IRAM-SAGyP 29572-2016. Los resultados fueron expresados en % o g/100g.

Minerales (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y fósforo total, PT). Inicialmente se llevó a cabo la digestión de las muestras con mufla a 500 °C seguida de la digestión ácida con ácido nítrico al 70 %. Posteriormente se llevó a volumen con agua ultrapura y por espectroscopía de emisión atómica de plasma por microondas (MP-AES 4210 Agilent) se cuantificaron los minerales señalados (Normas APHA- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 3111). Los resultados fueron expresados en mg/Kg.

Materia orgánica (MO). A partir de los resultados obtenidos de carbono (C) expresados en % o g/100g, se calculó el porcentaje de materia orgánica (MO) de la siguiente manera:

$$MO(\%) = C(\%) \times 1{,}724$$

pH. Se determinó por el método potenciométrico con peachímetro Adwa AD1030. Según IRAM-SAGPyA 29574 en una suspensión suelo: agua (1:2,5 agua).

Conductividad Eléctrica (CE). Se midió en una suspensión suelo: agua (1:5), con conductimétrico CRISON GLP 32.

Materia seca. Según la metodología AOAC. Para ello, una muestra se colocó en estufa a 105 °C hasta obtener peso constante. Posteriormente se calculó el porcentaje de materia seca de la siguiente manera:

$$Materiaseca(\%) = \frac{Pesodelamuestraseca(g)}{Pesodelamuestrahúmeda(g)} \times 100$$

Bases Intercambiables. Se realizó una extracción con solución 1 M de acetato de amonio regulada a pH 7. Posteriormente se llevó a volumen con agua ultrapura y por Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma por Microondas (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012), se determinó la concentración de los cationes Ca, Mg, Na y K expresada en cmol(+) /kg.

Tratamiento de datos

Los ensayos realizados a través de las técnicas analíticas precedentes se realizaron por triplicado y se calculó para cada analito el valor promedio ± desviación estándar. La comparación de valores promedio de los diferentes parámetros se efectuó con el software Statgraphics Centurión XVI v.16.1.1 (Statgraphics Technologies, Inc., USA), utilizando análisis de varianza (ANOVA) y test de rango múltiple mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($p < 0,05$).

Se realizó Análisis de Componentes Principales (ACP) para comparar similitudes y diferencias entre tratamientos, utilizando el software InfoStat versión libre (Di Rienzo et al., 2020).

Síntesis de resultados y conclusiones

Resultados

La microalga *T. obliquus* creció y se adaptó favorablemente a las condiciones de cultivo. Periódicamente, se registró la evolución de los cultivos en los fotobiorreactores cuantificando la densidad celular. Una vez alcanzado el estado estacionario del cultivo a los 30 días, se dio por finalizado el proceso de cultivo microalgal y se elaboraron los extractos mencionados en la metodología . En la Figura 1 se muestra la secuencia de los ensayos experimentales realizados y los resultados obtenidos.

Actividad antimicrobiana de los extractos microalgales

Al evaluar la actividad antibacteriana de los extractos de la microalga *T. obliquus*, se observó que el extracto EBLA1 mostró actividad antimicrobiana frente a las dos cepas bacterianas ensayadas, *C. michiganensis y R. solanacearum,* con zonas de inhibición de 7,21 ± 0,28 mm y 15,19 ± 0,32 mm, respectivamente. Existe amplia evidencia en la literatura sobre el efecto antimicrobiano de extractos de la microalga *Tetradesmus* sp. (antes denominada *Scenedesmus* sp.). Sin embargo, se encontró escasa información sobre el efecto antimicrobiano de microalgas sobre las cepas de *C. michiganensis* y *R. solanacearum*, las cuales son de interés para el sector frutihortícola dado que su presencia ocasiona marchitamiento en las plantas afectadas y pérdidas en cultivos de lechuga y tomate desde etapas tempranas de crecimiento (Nandi et al., 2018; Wang et al., 2023). En este sentido, Toribio et al. (2021) encontraron un efecto inhibidor de los extractos de *Tetradesmus* sp. elaborados con biomasa liofilizada suspendida en agua contra *C. michiganensis*, reforzando los resultados de este trabajo. Alsenani et al. (2020), utilizaron un solvente menos amigable con el medioambiente, puesto que obtuvieron un extracto metanólico con 70 % de *Tetradesmus* sp., sus resultados indican que lograron inhibir el crecimiento de 6 bacterias Gram positivas patógenas para humanos y plantas como son *Listeria monocytogenes*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis* y *C. michiganensis*, con zonas de inhibición que variaron entre 16,67 y 18,33 mm.

Actividad antifúngica de los extractos microalgales

A partir de la evaluación de la actividad antifúngica de los extractos de la microalga *T. obliquus*, se pudo visualizar que EBLA1 presentó efecto antifúngico frente a *Alternaria* sp., con zonas de inhibición de 7,14 ± 0,42 mm; no se visualizó efecto para *F. oxysporum*. Estudios previos destacaron que los extractos de microalgas, como *Tetradesmus* sp., suelen ser más efectivos contra bacterias que contra hongos, lo cual podría depender de factores como la cepa fúngica, la especie de microalga y el método de preparación del extracto (Dinev et al., 2021). Además, se observó un uso frecuente de solventes orgánicos, que presentan impactos ambientales negativos. Investigaciones de Abbassy et al. (2014) y Marrez et al. (2019) sugirieron que la actividad antifúngica de extractos de *Tetradesmus* sp. y otras microalgas está estrechamente relacionada con el tipo de solvente empleado. Asimismo, Dinev et al. (2021), al investigar la actividad antifúngica de extractos metanólicos de *S. dimorphus* frente a 9 especies de hongos, encontraron resultados positivos para *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum*; en cambio, los resultados fueron negativos para las cepas de *F. oxysporum* y *A. alternata*.

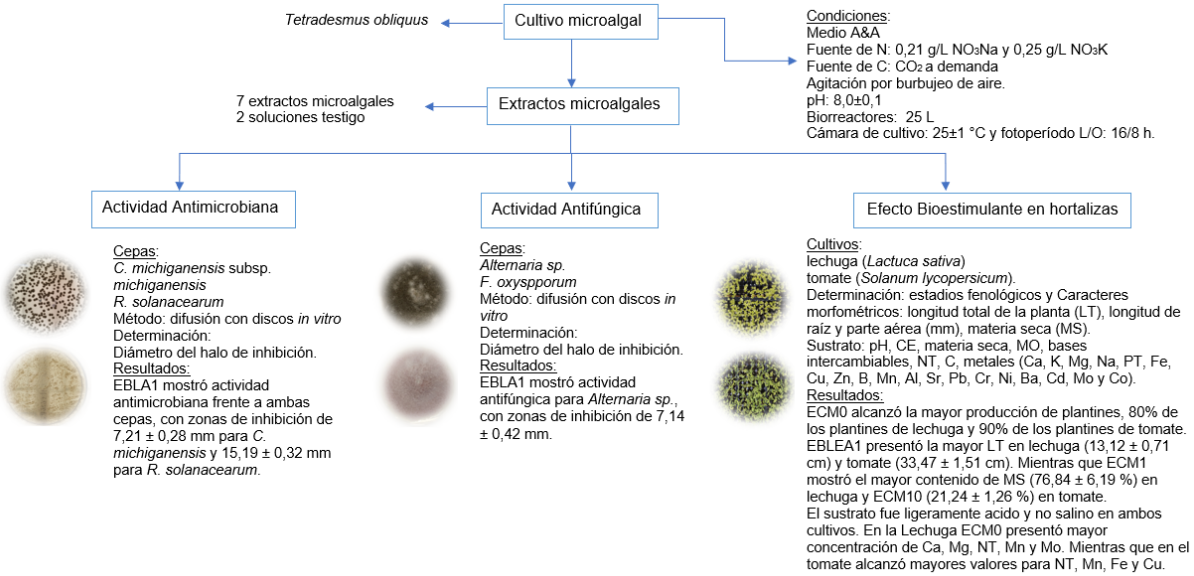


Figura 1. Obtención y aplicación de extractos de microalga de *Tetradesmus obliquus.*

Evaluación de los extractos microalgales en el crecimiento de las hortalizas

Al realizar el seguimiento de las etapas fenológicas en los plantines de lechuga, para cada extracto microalgal y solución testigo, se observó que el extracto ECM0 permitió la emergencia de los cotiledones en más de la mitad de las semillas sembradas en menor tiempo. Además, ECM0 presentó mayor cantidad de emergencias, por lo cual la mayor producción de plantines se alcanzó con el tratamiento ECM0 (80 %). En el caso de los plantines de tomate, se pudo ver que los extractos ECM0 y EBLA1 permitieron la emergencia de los cotiledones en la mayor cantidad de semillas sembradas en menor tiempo. Además, estos extractos presentaron la mayor proporción de emergencia, por lo cual la mayor producción de plantines se alcanzó con los tratamientos ECM0 y EBLA1 (90%). Díaz et al. (2024) obtuvieron un porcentaje de germinación de 80,9 %

en plantines de *L. sativa*, tratados con 2 y 3 g/L de biomasa liofilizada de *T. obliquus* resuspendida en agua ultrapura. Este valor es comparable al porcentaje de plantines de lechuga obtenidos con ECM0 (80 %), a los 28 días de la siembra.

Al analizar la longitud total de los plantines de lechuga y tomate, determinada por la longitud de la raíz y la parte aérea de la planta, para cada tratamiento. Se observó que la mayor longitud total se alcanzó en los plantines tratados con el extracto EBLEA1, alcanzando 13,12 ± 0,71 cm en los plantines de lechuga, donde la relación de las longitudes aérea y radicular fue de 0,60. Mientras que en los plantines de tomate, la mayor longitud total se alcanzó con el extracto EBLEA1 (33,47 ± 1,51 cm), donde la relación de las longitudes aérea y radicular fue de 0,72. El tratamiento de los plantines de lechuga y tomate con este extracto microalgal permitió la mayor longitud radicular.

Díaz et al. (2024) obtuvieron una altura promedio de los plantines de lechuga entre 5,5 y 8 cm, mientras que la longitud de raíz fue de 12 a 38 cm a los 20 días de tratar las semillas con biomasa liofilizada de *T. obliquus* resuspendida en agua ultrapura. Estos valores superan a las longitudes obtenidas en la presente investigación, si bien las concentraciones de biomasa microalgal utilizada por los autores son mayores. En el presente trabajo, los resultados muestran un mayor desarrollo de la parte radicular que en la parte aérea de los plantines (aproximadamente 2:1) y demuestran el efecto positivo de la microalga sobre la longitud de los plantines de lechuga de tres hojas. Además, Toribio et al. (2021) aplicaron extractos sonicados de *Tetradesmus* sp. tanto en semillas como en plántulas de tomate, obteniendo plantines de 20 cm, donde el 50 % correspondió a la parte aérea y el 50 % a la parte radicular. Estos valores son comparables con la menor longitud total alcanzada en este trabajo correspondiente al testigo TA (24,25 cm). En el caso de la relación entre la raíz y el tallo, Toribio et al. (2021) obtuvieron un valor de 0,6; este resultado es inferior al alcanzado en el presente estudio con el extracto EBLEA1 (0,72), lo que resalta su potencial como bioestimulante para la producción de plantines vigorosos.

Con respecto al porcentaje de materia seca en los plantines de lechuga, para cada extracto microalgal y solución testigo, se registró que la materia seca fue superior para el tratamiento ECM1 (76,84 ± 6,19 %). En tanto, el mayor porcentaje de materia seca en los plantines de tomate se observó en el tratamiento ECM10 (21,24 ± 1,26 %). La Bella et al. (2024) obtuvieron 14,68 % y 9,12 % de materia seca a los 45 días de tratar las plantas de lechuga con 50 y 500 mg/kg de *T. quadricauda*, respectivamente, valores significativamente menores que lo registrado por el mejor extracto (ECM1) obtenido en la presente investigación. Toribio et al. (2021) registraron aproximadamente 14,28 % de materia seca tras la aplicación radicular de extractos de *Tetradesmus* sp. en plántulas de tomate, valores comparables a algunos de los extractos de este trabajo, como TE1 (13,60 %), aunque con ECM10 alcanzaron valores significativamente superiores (21,24 %). Estos resultados refuerzan el potencial de los extractos de la microalga *T. obliquus* como bioestimulantes, capaces de mejorar significativamente parámetros clave para la calidad de los plantines de lechuga y tomate, tales como la rápida emergencia de los cotiledones, la obtención de plantines de mayor longitud y con altos contenidos de materia seca. Estos atributos son esenciales para garantizar la calidad y el éxito agronómico de los plantines.

Para comparar gráficamente los parámetros fisicoquímicos del sustrato luego del crecimiento de los plantines de lechuga tratados con extractos microalgales y soluciones testigo, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP correspondiente a los parámetros fisicoquímicos del sustrato permitió explicar el 55 % de la varianza, con la primera y segunda dimensión. En la Figura 2 se identificaron 4 grupos claramente definidos. Por un lado, el tratamiento —ubicado en valores positivos del CP1 y negativos del CP2— EBLA1 se destacó por tener un mayor valor de pH y materia seca (MS). Mientras que los tratamientos TA, EBLA5, EBLEA1 y ECM0 -encontrados en valores positivos del CP1 y CP2- se caracterizaron por un alto contenido de Fe y Cu en los 2 primeros casos y en los últimos tratamientos por mayor conductividad eléctrica (CE), Ca, Mg, K, Mn y P. Por otro lado, un tercer grupo -situado entre valores negativos del CP1 y positivos del CP2- como ECM10 y ECM1 se destacaron por tener un mayor contenido de N, C, MO y Zn. En tanto, los tratamientos TE1 y ECM5 —encontrados en valores negativos del CP1 y CP2— se caracterizaron por los menores valores de los parámetros.

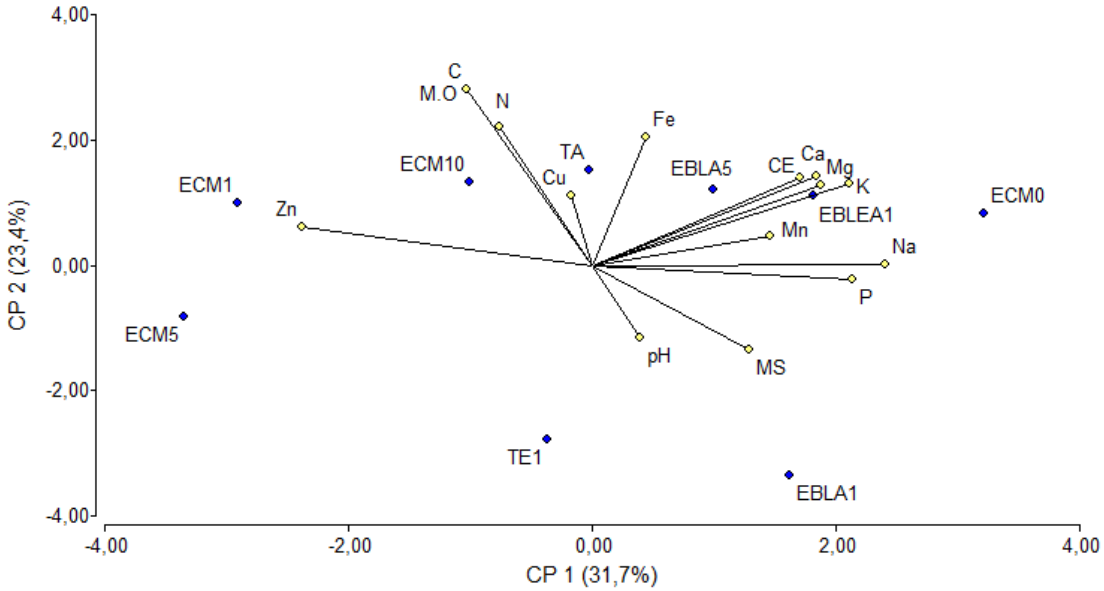


Figura 2. Representación de los parámetros fisicoquímicos del sustrato luego del crecimiento de los plantines de lechuga (*L. sativa*) para cada extracto microalgal y solución testigo en el plano de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2).

La lechuga es un cultivo de ciclo corto, por lo que demanda una rápida absorción de nutrientes que debe ser satisfecha por el sustrato (Saavedra et al., 2017). Según Ferratto et al. (2010), este cultivo presenta una alta sensibilidad a la acidez del suelo, con un pH óptimo entre 6,0 y 7,0, lo que concuerda con los valores obtenidos en el presente trabajo (6,1 - 6,6). Dichos autores sostienen que valores fuera de este rango afectan drásticamente la disponibilidad de micronutrientes críticos como Ca y Mo. Ferratto et al. (2010) recomiendan una CE menor a 1200 µS/cm, siendo positivo que en todos los sustratos tratados con los extractos microalgales la CE fue baja (menor a 400 µS/cm). Esto indica la ausencia de estrés salino, lo que implica una ventaja en la etapa de plántula, que es muy sensible a la salinidad del sustrato. Los valores de MO registrados en el

sustrato tratado con los diferentes extractos microalgales y soluciones testigo superan ampliamente el 3 % recomendado (Ferratto et al., 2010). Esto sugiere que este sustrato tratado está compuesto principalmente por materiales orgánicos, lo que es beneficioso por su alta capacidad de retención de humedad y la liberación lenta de nutrientes (Saavedra et al., 2017). Además, las microalgas podrían tener un rol importante en los procesos de mineralización (Alvarenga et al., 2023).

Ferratto et al. (2010) indicaron que el contenido de N en el sustrato al momento de la siembra debe ser de 40 a 80 mg/kg para sostener su rápido crecimiento vegetativo. El N registrado en todos los sustratos tratados con extractos microalgales es alto, confirmando una abundante reserva de nitrógeno orgánico, lo cual es fundamental para el desarrollo foliar, que en el cultivo de lechuga es el órgano de cosecha. Ferratto et al. (2010) señalaron que un nivel de P disponible entre 30 y 50 mg/kg es óptimo para el desarrollo radicular de la lechuga; en cambio, valores de K intercambiable entre 150 y 200 mg/kg son esenciales para la turgencia celular y la calidad postcosecha del cultivo de lechuga. En los sustratos analizados en esta investigación, los valores de P superan los 2000 mg/kg, más de 40 veces lo indicado por los autores, mientras que el K disponible registrado varió entre 150 – 300 mg/kg. En cuanto a los requerimientos de las bases intercambiables Ca y Mg en el sustrato para plantas de lechuga, Ferratto et al. (2010) sugirieron concentraciones en el rango de 800 – 1200 mg/kg y 120 – 200 mg/kg, respectivamente. En los sustratos analizados en este trabajo, los valores de Ca fluctuaron entre 4000 mg/kg y 5000 mg/kg, mientras que los niveles de Mg se encontraron entre 550 mg/kg y 900 mg/kg. El Ca mejora la tolerancia al estrés abiótico, confiere rigidez y turgencia a las hojas, en tanto el Mg garantiza una fotosíntesis eficiente, activa numerosas enzimas y es clave para la síntesis de carbohidratos.

Para comparar gráficamente los parámetros fisicoquímicos del sustrato luego del crecimiento de los plantines de tomate tratados con extractos microalgales y soluciones testigo, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP correspondiente a los parámetros fisicoquímicos del sustrato permitió explicar el 62 % de la varianza, con la primera y segunda dimensión. En la Figura 3 se identificaron 4 grupos claramente definidos. Por un lado, el tratamiento —ubicado en valores positivos del CP1 y negativos del CP2— TE1 se destacó por tener un mayor valor de Fe, P y Zn. Mientras que los tratamientos TA y ECM0 —encontrados en valores positivos del CP1 y CP2— se caracterizaron por un alto contenido de Cu, Mn, K, N y conductividad eléctrica (CE). Por otro lado, un tercer grupo —situado entre valores negativos del CP1 y positivos del CP2— como ECM10, EBLA5 y EBLEA1 se destacó por tener un mayor contenido de MO, materia seca (MS), Mg, Ca y pH. En tanto, los tratamientos ECM1, ECM5 y EBLA1 —encontrados en valores negativos del CP1 y CP2— se caracterizaron por altos contenidos de Ca, Mg y los menores valores de los demás parámetros.

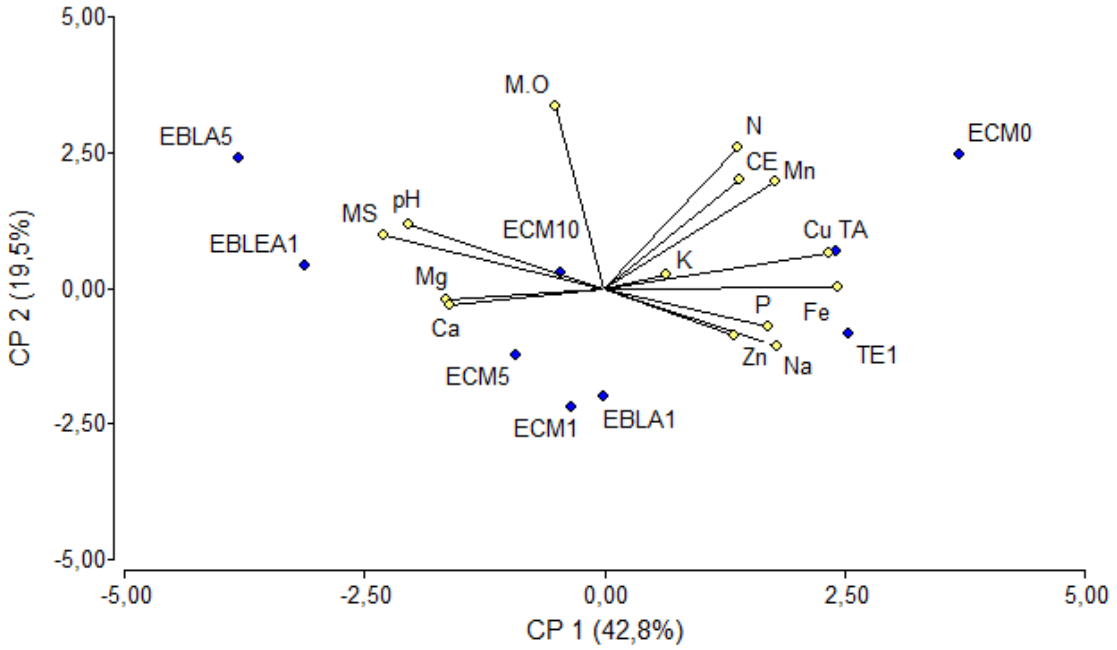


Figura 3. Representación de los parámetros fisicoquímicos del sustrato luego del crecimiento de los plantines de tomate (*S. lycopersicum*) para cada extracto microalgal y solución testigo en el plano de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2).

Por su parte, el tomate es un cultivo de mayor duración y con requerimientos nutricionales más intensivos, especialmente durante las etapas de floración y fructificación. Argerich et al. (2011) destacaron que el manejo nutricional debe ser ajustado según la etapa fenológica. Estos autores establecieron un rango de pH ligeramente ácido para el tomate, situando el óptimo entre 6,0 y 6,8, lo que concuerda con los valores obtenidos en la presente investigación (6,3 - 6,6). Un pH dentro de estos rangos maximiza la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales. En cuanto a la CE, los autores sugirieron valores menores a 2500 µS/cm, aunque en el presente trabajo la CE se mantuvo baja en todos los tratamientos con valores menores a 300 µS/cm, indicando la ausencia de estrés salino. Además, los diferentes sustratos tratados con extractos microalgales mostraron valores de CE más altos que en TA, sugiriendo un aporte de solutos iónicos por parte de los extractos. Los valores de MO registrados en los sustratos tratados con los diferentes extractos microalgales superaron ampliamente el 2,5 % recomendado por Argerich et al. (2011). Estos valores confirman la composición de un sustrato con predominio de materia orgánica, lo que mejoraría su estructura, la retención de agua y nutrientes, así como la actividad microbiana.

Argerich et al. (2011) consideraron un 0,25 % de NT en el sustrato como valor alto para el cultivo de tomate. El N registrado en los sustratos ensayados fue 3 veces superior, indicando que la dinámica del N en estos sustratos está determinada por la mineralización microbiana. Los valores altos de N confirmaron una vasta reserva de N orgánico que se liberará gradualmente asegurando concentraciones óptimas de N durante la etapa vegetativa. Argerich et al. (2011) señalaron que un nivel de P disponible entre 31 y 50 mg/kg es óptimo para el desarrollo radicular y la floración en cultivos de tomates; en cambio, los valores deseables de K intercambiable se ubican entre 190 y

250 mg/kg, debido a los requerimientos del cultivo para la formación, calidad y contenido de sólidos solubles de los frutos. En los sustratos analizados en este estudio los valores de PT superan 46 veces lo indicado por los autores, mientras que el K disponible registrado varió entre 120 - 300. En cuanto a los requerimientos de las bases intercambiables Ca y Mg en el sustrato para plantas de tomate, los autores sugirieron concentraciones superiores a 1000 – 1500 mg/kg y 180 – 300 mg/kg, respectivamente. En los sustratos analizados en este trabajo, los valores de Ca y Mg triplicaron lo indicado. El Ca y el Mg son nutrientes críticos para la calidad del fruto (prevención de la pudrición apical) y la eficiencia fotosintética, respectivamente.

Por lo tanto, al comparar los parámetros fisicoquímicos y la composición mineral del sustrato tras el crecimiento de plantines de lechuga y tomate tratados con extractos microalgales y soluciones testigo, es factible encontrar variaciones que pueden deberse a diversos factores relacionados con las propiedades de los extractos y las interacciones planta-sustrato. Los extractos microalgales contienen diferentes concentraciones de macronutrientes y micronutrientes, debido a factores relacionados con la metodología de obtención, como son la concentración de biomasa microalgal y el solvente utilizado. Estos nutrientes influyen directamente en la disponibilidad en el sustrato tras su aplicación, ya que son absorbidos en distintas cantidades según las necesidades específicas del cultivo. Taiz et al. (2015) sostienen que las especies de lechuga y tomate tienen patrones de absorción de nutrientes diferentes, lo que puede alterar la composición residual del sustrato. Además, los compuestos orgánicos presentes en los extractos pueden degradarse con el tiempo o ser lixiviados del sustrato debido a su estructura o al riego, lo que afecta la distribución y concentración de los nutrientes remanentes en el sustrato (Karbarz et al., 2022).

Conclusiones

Los estudios planteados en el presente trabajo de investigación permitieron diseñar un medio de cultivo y obtener condiciones experimentales que favorecieron la obtención de biomasa microalgal de *T. obliquus*.

A partir del cultivo de la microalga en medio Allen & Arnon con incorporación de NO_3- y CO_2, se pudieron obtener 6 extractos para su utilización como bioestimulantes en cultivos de hortalizas.

De los estudios in vitro se concluye que el extracto microalgal más diluido elaborado con biomasa microalgal liofilizada resuspendida en agua presentó efecto antibacteriano frente a *C. michiganensis* y *R. solanacearum*, así como efecto antifúngico frente a *Alternaria sp*.

Los extractos de la microalga *T. obliquus* permitieron la obtención de plantines de lechuga (*L. sativa*) y tomate (*S. lycopersicum*), favoreciendo una rápida emergencia de los cotiledones, logrando una mayor producción de plantines, con altos contenidos de materia seca, así como una influencia notable en la longitud total de los plantines, promoviendo un balance adecuado entre el desarrollo de la parte aérea y radicular, para garantizar la calidad de los plantines. Los tratamientos ECM0, ECM1 y EBLEA1 destacaron en lechuga, mientras que EBLA1, ECM0, EBLA5 y EBLEA1 fueron los más efectivos en tomate.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos del sustrato utilizado para la obtención de plantines indicó que, para el cultivo de lechuga y tomate, todos los tratamientos evaluados, incluidos los testigos, se encontraron en condiciones edáficas óptimas o superiores a los requerimientos de estas hortalizas. Esto es fundamental para interpretar los resultados de germinación y crecimiento obtenidos, ya que partieron de condiciones favorables. Aunque los nutrientes estuvieron presentes en el sustrato, los extractos pudieron haber mejorado su absorción y asimilación por parte de la planta.

Por lo expresado, los extractos de microalga *T. obliquus* pueden ser considerados como bioinsumos (bioestimulantes y bioplaguicidas) en las etapas tempranas del crecimiento de hortalizas, como lechuga y tomate.

Indicadores de producción

Presentaciones a congresos nacionales

Cabrera, C.; Sacks, N.A.; Vezzosi-Zoto, G.F.; Carlier, E.; Urbani, M.A.; Rodriguez, L.M.; Diaz, B.M.; Zapata, L.M. ***Productividad de biomasa de la microalga Scenedesmus obliquus en distintas condiciones de cultivo.*** 1° Congreso Nacional de Alimentos, Salud y Ambiente (CoNASA), septiembre de 2023.

Presentaciones a congresos internacionales

Cabrera C., Sacks N.A., Vezzosi-Zoto G.F., Urbani M.A., Rodriguez L.M., Carlier E., Zapata L.M., Diaz B.M. ***"Aplicación de bioestimulantes microalgales en la producción de plantines de lechuga",*** en el II Congreso Iberoamericano de Alimentos 4.0: A*plicaciones en Agroindustria y Gastronomía.* Agosto de 2026. Concordia, Entre Ríos, Argentina.

Cecilia Cabrera. Disertante de la conferencia ***"Aplicación de extractos microalgales como bioestimulante en plantines de lechuga",*** en el I Congreso Iberoamericano de Alimentos 4.0: A*plicaciones en Gastronomía y Agroindustria.* Agosto de 2024. Concordia, Entre Ríos, Argentina.

Presentaciones a Jornadas internacionales

Schiebert F.A., Fernandez Q.E., Trabichet A., Cabrera C. (Profesora guía). ***Extractos microalgales como bioinsumo en hortalizas.*** XXXII Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo de Montevideo (AUGM). Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Noviembre de 2025.

Bibliografía

Abbassy, MA, Marei, GIK., Rabia, SM (2014). Antimicrobial activity of some plant and algal extracts. Int J Plant Soil Sci, 3, 1366-1373.

Alsenani, F., Tupally, K. R., Chua, E. T., Eltanahy, E., Alsufyani, H., Parekh, H. S., Schenk, P. M. (2020). Evaluation of microalgae and cyanobacteria as potential sources of antimicrobial compounds. Saudi Pharmaceutical Journal, 28(12), 1834-1841

Alvarenga, P., Martins, M., Ribeiro, H., Mota, M., Guerra, I., Cardoso, H., Silva, J. L. (2023). Evaluation of the fertilizer potential of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* grown in agricultural drainage water from maize fields. Science of the Total Environment, 861, 160670.

Argerich, C., Troilo, L., Fazzone, M. R., Izquierdo, J., Strassera, M. E., Balcaza, L., Dal Santo, S., Miranda, O., Rivero, M.L., González Castro, G., Irribarren, M. J. (2011). Buenas prácticas agrícolas en la cadena de tomate. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, INTA, FAO. Buenos Aires

Asimakis, E.; Shehata, A.A.; Eisenreich, W.; Acheuk, F.; Lasram, S.; Basiouni, S.; Emekci, M.; Ntougias, S.; Taner, G.; May-Simera, H.; Yilmaz, M.; Tsiamis, G. (2022). Algae and Their Metabolites as Potential Bio-Pesticides. Microorganisms 2022, 10, 307.

Barone, V.; Baglieri, A.; Stevanato, P.; Broccanello, C.; Bertoldo, G.; Bertaggia, M.; Cagnin, M.; Pizzeghello, D.; Moliterni, VMC.; Mandolino, G.; Fornasier, F.; Squartini, A.; Nardi, S.; Concheri, G. (2018). Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (Beta vulgaris L.). J. Appl. Phycol. 30:1061–1071.

Castagnino, A. M., Díaz, K., Fernández Lozano, J., Guisolis, A., Liverotti, O., Rosini, M. B., Sasale, S. (2020). Panorama of the Argentine horticultural sector: 1. Characterization and priorities of national horticulture. Horticultura Argentina, 39(99).

Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Cruz, C. G., Silveira, J., Morais, M. G. (2019). Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 54 (5), 366-375.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. W. (2020). InfoStat (version 2020). Centro de Transferencia InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Díaz, L. E., Gonzalez, J. D., Morales-Gonzalez, M. P., Garzón-Castro, C. L. (2024). Harnessing the power of microalgae consortia for sustainable crop production: case study on lettuce (Lactuca sativa L.). Journal of Applied Phycology, 1-14

Dinev, T.; Tzanova, M.; Velichkova, K.; Dermendzhieva, D.; Beev, G. (2021). Antifungal and Antioxidant Potential of Methanolic Extracts from Acorus calamus L., *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Lemna minuta* Kunth, and *Scenedesmus dimorphus* (Turpin) Kützing. Appl. Sci. 2021, 11, 4745.

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Sci Hortic 196:3–14.

Fernández, F. G. A., Reis, A., Wijffels, R. H., Barbosa, M., Verdelho, V., Llamas, B. (2021). The role of microalgae in the bioeconomy. New Biotechnology, 61, 99-107

Ferratto, J. A., Mondino, M. C., Grasso, R. O., Ortiz Mackinson, M. P., Longo, A., Carrancio, L. A., Firpo, I.T., Rotondo, R., Zembo, J.C., Castro, G., García, M., Rodriguez Fazzone, M., Iribarren, M. J. (2010). Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar: Cadena de las principales hortalizas de hojas en Argentina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 535.

Garcia-Gonzalez, J.; Sommerfeld, M. (2016). Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga Acutodesmus dimorphus. J Appl Phycol 28:1051–1061

Gatamaneni Loganathan, B., Orsat, V., Lefsrud, M. (2020). Utilizing the microalgal biomass of *Chlorella variabilis* and *Scenedesmus obliquus* produced from the treatment of synthetic dairy wastewater as a biofertilizer. Journal of Plant Nutrition, 44(10), 1486-1497

Jimenez Veuthey, M.; Vidal, NM.; Cabrera, C.; Paramo, J.; Bertoni, M.; Bordet, HF.; Andrade Belgeri, MS.; Flores, ML. Zapata LM. (2018). A simple, efficient and economical method for isolation of *Scenedesmus obliquus* (chlorophyceae) from freshwater sample (Embalse Salto Grande, Argentina). Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences, 20: 6-12.

Karbarz, M., Piziak, M., Żuczek, J., & Duda, M. (2022). Influence of microalgae *Plankto-chlorella nurekis* clones on seed germination. Agronomy, 13(1), 9

La Bella, E., Baglieri, A., Fragalà, F., Saccone, R., Salvagno, E., Terrazzino, S., Puglisi, I. (2024). Influence of Microalgae Biomasses Retrieved from Phycoremediation of Wastewaters on Yield of Lettuce, Soil Health, and Nitrogen Environmental Fate. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1-18.

Marrez, D. A., Naguib, M. M., Sultan, Y. Y., Higazy, A. M. (2019). Antimicrobial and anticancer activities of *Scenedesmus obliquus* metabolites. Heliyon, 5(3), e01404.

Meier, U. (2018). Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Quedlinburg: Julius Kühn-Institut (JKI). Blackwell, Berlin.

Nandi, M., Macdonald, J., Liu, P., Weselowski, B., Yuan, Z. C. (2018). *Clavibacter michiganensis ssp. michiganensis*: bacterial canker of tomato, molecular interactions and disease management. Molecular plant pathology, 19(8), 2036-2050.

Rachidi, F.; Benhima, R.; Sbabou, L.; El Arroussi, H. (2020). Microalgae polysaccharides bio-stimulating effect on tomato plants: Growth and metabolic distribution. Biotechnology Reports 25 (2020) e00426.

Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, S., Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Boletín INIA N° 374. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile.

Schmid, B., Coelho, L., Schulze, P. S., Pereira, H., Santos, T., Maia, I. B., Reis, M., Varela, J. (2022). Antifungal properties of aqueous microalgal extracts. Bioresource Technology Reports, 18, 101096.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2023). Producción de tomate en Argentina: Evolución del cultivo hasta la temporada 2021/22. Ministerio de Economía, Argentina.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2023b). Producción de lechuga en Argentina: Evolución del cultivo hasta la temporada 2022. Ministerio de Economía, Argentina.

Shaima, A. F., Yasin, N. H. M., Ibrahim, N., Takriff, M. S., Gunasekaran, D., Ismaeel, M. Y. (2022). Unveiling antimicrobial activity of microalgae *Chlorella sorokiniana* (UKM2), *Chlorella* sp. (UKM8) and *Scenedesmus* sp. (UKM9). Saudi Journal of Biological Sciences, 29(2), 1043-1052.

Shallan, M. A., Ali, M. A., Meshrf, W. A., Marrez, D. A. (2020). In vitro antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. scolymus L.) bracts and receptacles ethanolic extract. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 29, 101774.

Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. (2012). 22nd Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation.

Supraja, K. V., Behera, B., Balasubramanian, P. (2020). Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. Industrial Crops and Products, 151, 112453.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2015). Plant physiology and Development. Sinauer Associates. Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts. pp, 761

Toribio, A. J., Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., López-González, J. A., Martínez-Gallardo, M. R., López, M. J. (2021). Application of sonicated extracts of cyanobacteria and microalgae for the mitigation of bacterial canker in tomato seedlings. Journal of Applied Phycology, 33(6), 3817-3829.

Wang, Z., Luo, W., Cheng, S., Zhang, H., Zong, J., & Zhang, Z. (2023). *Ralstonia solanacearum*–a soil borne hidden enemy of plants: research development in management strategies, their action mechanism and challenges. Frontiers in Plant Science, 14, 1141902.

Yakhin OI, Lubyanov AA, Yakhin IA, Brown PH (2017) Biostimulants in plant science: a global perspective. Front Plant Sci 7:2049.

Zhao, L.; Feng, C.; Wu, K.; Chen, W.; Chen, Y.; Hao, X.; Wu, Y. (2017). Advances and Prospects in Biogenic Substances against Plant Virus: A Review. Pestic. Biochem. Physiol 135: 15–26.

PID 8155

Denominación del Proyecto:
Evaluación de extractos de microalga Scenedesmus obliquus como bioinsumo agrícola en cultivos de hortalizas

Unidad de ejecución
Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia
Facultad de Ciencias de la Alimentación

Cátedra, Área o disciplina científica
Laboratorio de Análisis de Metales en Alimentos y otros Sustratos (LAMAS)

Contacto: cecilia.cabrera@uner.edu.ar

Integrantes del proyecto

Director/a
Cabrera Cecilia

Integrantes internos/docentes UNER
Quinteros, Carlos Fabio; Rodríguez, Luciana Marcela; Sacks, Natalia Agustina.
Estudiantes de grado: Aumenta, Sofía Carla; Schiebert; Fiama Ayelen
Becarias/os vinculadas al PID: TRABICHET, Abril

Fecha de inicio y finalización efectivas
01/09/2023 y 31/08/2025
Aprobación del Informe Final mediante resolución C.S. N° 109/26 (02-07-2026)

<<< Volver al inicio