

Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura

Culture and applications of *Chlorella vulgaris*: main trends and potential on agriculture

Liliana Gómez-Luna^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>

Lilisbeth Tormos-Cedeño² <https://orcid.org/0000-0002-4969-159X>

Yadenis Ortega-Díaz¹ <https://orcid.org/0000-0001-9674-9785>

¹Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Universidad de Oriente. Laboratorio de Ecotoxicología y Servicios Ambientales, Santiago de Cuba, Cuba

²Carrera de Biología. Departamento de Biología y Geografía. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para correspondencia: correo electrónico: lilianag@uo.edu.cu

RESUMEN

Entre las microalgas el género *Chlorella* es uno de los más estudiados y dentro de este, la especie *Chlorella vulgaris*. A partir de su biomasa se pueden extraer disímiles productos de interés biotecnológico utilizados principalmente en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica, energética y en la agricultura. En este trabajo se evalúan las posibles aplicaciones de *C. vulgaris* en la agricultura a partir de una revisión sistemática. Se identifican 5304 artículos sobre el tema, publicados en 14 revistas relevantes, distribuidos en 16 temas y 43 subtemas, de ellos 15 temas constituyen tendencia en los últimos 3 años, entre los que se encuentran dos referidos a bioproductos de interés para la agricultura. Se

demuestra la importancia de *Chlorella vulgaris* para la ciencia por su amplio espectro de aplicaciones, siendo relevante sus aplicaciones como biofertilizante y acondicionador de suelo, si bien las investigaciones se han limitado a pocos cultivos y su aplicación aún no representa un impacto significativo en diferentes contextos.

Palabras clave: *Chlorella*; *C. vulgaris*; biofertilizante; acondicionadores de suelo; cultivo y aplicaciones.

ABSTRACT

One of the most studied microalgae genus is *Chlorella*, and specifically the specie *Chlorella vulgaris*. Different products with biotechnological interest can be extracted from its biomass, used mainly in the fields of food, cosmetic, pharmaceutical, energetic and agricultural industries. In this work, the possible applications of *C. vulgaris* in agriculture are evaluated. It was identified a total of 5 304 articles which were published in 14 relevant journals, distributed in 16 subjects and 43 subtopics, of which 15 subjects are trend topics in the last 3 years, among which there are two referring to bioproducts of interest to agriculture. The importance of *Chlorella vulgaris* for science it was demonstrated due to its wide spectrum of applications, being relevant its applications as biofertilizer and soil conditioner, even when these researches has been limited to few crops and its application still does not represent a significant impact in different contexts.

Keywords: *Chlorella*; *C. vulgaris*; biofertilizer; soil conditioners; cultivation and applications

Recibido: 08/08/2021

Aceptado: 15/12/2021

Introducción

Las microalgas se caracterizan por presentar altas tasas de reproducción, gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales,⁽¹⁾ un ciclo biológico relativamente breve y una alta eficiencia fotosintética; siendo capaces de convertir la energía solar en biomasa con una eficiencia de dos a cinco veces mayor que las plantas superiores ⁽²⁾característica en la que se fundamenta su interés comercial.

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto el potencial de estos microorganismos fotosintetizadores para la producción de una gran variedad de sustancias de interés químico-farmacéutico e industrial, además de sus aplicaciones en la alimentación animal y en la purificación de aguas residuales. No obstante, la característica más importante del cultivo de microalgas es su versatilidad, posibilitando la integración de diferentes aplicaciones en un único proceso tecnológico, lo que constituye una ventaja desde el punto de vista económico.⁽²⁾

Entre las microalgas dulceacuícolas *Chlorella* es uno de los géneros más estudiados, describiéndose hasta la fecha unas 44 especies, ⁽³⁾ de ellas al menos cinco de gran interés comercial: *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa*, ⁽⁴⁾ *C. ellipsoidea* ⁽⁵⁾ *C. sorokiniana* ⁽⁶⁾ y *C. kessleri*.^(7,8,9) No obstante, *C. vulgaris* ha sido la especie más estudiada.⁽¹⁰⁾ Esta microalga unicelular, presente en la Tierra desde el periodo pre-Cámbrico⁽¹⁰⁾ tiene múltiples ventajas como su bajo costo y fácil cultivo, alta velocidad de crecimiento y la habilidad de adaptarse a diferentes ambientes,⁽¹¹⁾ lo que facilita su cultivo en áreas pequeñas y en regiones normalmente no sustentables para el desarrollo de cultivos agrícolas.

La especie *C. vulgaris* fue descrita en 1890 por el microbiólogo holandés Martinus Willem Beijerinck, quien obtuvo cultivos puros de esta microalga, siendo este el primer cultivo de microalgas eucariotas. A partir de entonces se desarrolló el interés por sus aplicaciones biotecnológicas, con la búsqueda de nuevas especies promisorias. *C. vulgaris* posee un rápido crecimiento en condiciones autotróficas, heterotróficas y mixotróficas,⁽¹⁰⁾ característica que han promovido su producción comercial. ⁽¹²⁾

El concepto de producción masiva se establece en 1942, durante la Segunda Guerra Mundial, cuando Harder y von Witsch utilizan *C. pyrenoidosa* y *Nitzschia palea* para la producción de lípidos. ⁽²⁾ Ya en 1948, después de realizar estudios sobre la composición química de *Chlorella* sp., Spoerhr y Milner sugieren el uso de las microalgas como fuente de proteínas, debido a la carencia global de éstas. Durante estos años, en una leprosería venezolana, Jorgensen y Convit comenzaron a concentrar *Chlorella* en una charca eutrófica que tenía un bloom constante de esta microalga; administrándola a los pacientes después de su cocción, ⁽¹³⁾ siendo esta una de las primeras evidencias de su aplicación médica. En 1952 se celebra el Primer Simposio sobre el "Cultivo masivo de algas" y un año después, aparece el primer trabajo publicado que resume los avances del cultivo de microalgas: "Algal culture from Laboratory to Pilot Plant"; siendo su principal objetivo el desarrollo de cultivos de *Chlorella* para la producción de alimento, ⁽¹⁴⁾ por lo que sus beneficios en el sector agrícola no son recientes. ⁽²⁾ A partir de la biomasa de *C. vulgaris* pueden obtenerse disímiles productos: suplementos nutricionales, ⁽¹⁵⁾ lípidos, ⁽¹⁶⁾ enzimas, ⁽¹⁷⁾ proteínas, ⁽¹⁸⁾ almidón, ⁽¹⁹⁾ polímeros, ⁽²⁰⁾ toxinas, ⁽²¹⁾ pigmentos, ⁽²⁾ vitaminas, ⁽²²⁾ antioxidantes, ⁽¹⁸⁾ isotopos bioquímicos estables, estimuladores del crecimiento ⁽²⁾ y biocombustibles. ^(23,24,25,26,27) Esta es comercializada como alimento animal, ⁽²⁸⁾ como suplemento nutricional para humanos y en cosmética, siendo su uso ampliamente extendido en la industria biomédica y farmacéutica, por sus propiedades anticancerígenas, antibacteriales, ⁽²⁹⁾ antivirales, anticoagulantes y antiinflamatorias. Destaca además su uso en la agricultura ⁽³⁰⁾ y en el tratamiento de aguas residuales, por su capacidad de adsorber metales pesados y su utilidad en la biorremediación de la contaminación orgánica. ⁽³¹⁾ A nivel de mercado su potencial está relacionado fundamentalmente con la producción de proteínas y suplementos nutricionales, productos de gran atractivo comercial; esperándose para 2025 que el mercado global de estos productos alcance una tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC) del 10,25 %.

Considerando sus aplicaciones potenciales, el mercado de *Chlorella* se segmenta en cuatro sectores básicos: la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y otras aplicaciones industriales (producción de piensos y biocombustibles), siendo las principales compañías que comercializan productos obtenidos a partir de *Chlorella*: DIC Corporation (Japón), Cellana Inc. (EUA), Taiwan Chlorella Manufacturing Company (China), Algaetech International Sdn Bhd (Malasia), Cyanotech Corporation (EUA.), Blue BioTech Int. GmbH (Alemania), Algatechologies Ltd. (Israel), Pond Technologies Inc. (Canadá), E.I.D. - Parry (India) Limited (India), Tianjin Norland Biotech co., Ltd., (China), AlgaeCan Biotech Ltd. (Canadá), Corbion NV (Holanda), Qponics Limited (Australia), Royal DSM (Holanda), Heliae Development, LLC (EUA), Sun *Chlorella* Corporation (Japón).⁽³²⁾ Si bien hay otras compañías con éxito creciente por sus propuestas innovadoras y en expansión como NeoAlgae (España).

Si bien se ha demostrado la utilidad de los bioderivados de interés para la agricultura a partir de esta microalga, su generalización es aún limitada, pues a nivel de mercado otros productos son más lucrativos.⁽³²⁾ Aun cuando podría constituir una alternativa viable para el desarrollo agrícola, a la vez que se valoriza su uso en la remediación y/o protección ambiental.⁽¹¹⁾

En Cuba, el cultivo de *C. vulgaris* ha sido desarrollado a diferentes escalas por varias instituciones, fundamentalmente con fines investigativos y para la alimentación animal. Entre estas se pueden mencionar la Universidad de Oriente;^(34,35) las universidades de Cienfuegos y Santa Clara; el Centro de Investigaciones de Energía Solar,^(2,17,22,35) el Instituto de Investigaciones Pesqueras^(36,37,38) entre otras, sin que exista en la actualidad un impacto económico o social relevante relacionado con el aprovechamiento intensivo o extensivo de sus beneficios a nivel nacional, ni una aplicación generalizada en el sector agrícola.

En este trabajo se presenta un estudio exploratorio-descriptivo realizado a través de una revisión sistemática con herramientas de metaanálisis, mediante el uso del software Publish or Perish v7, con descriptores o palabras clave previamente seleccionadas, considerando la configuración de la investigación y esencialmente

los objetivos de esta; logrando compilar, sistematizar, analizar y resumir información útil que permita evaluar las posibles aplicaciones inmediatas de *C. vulgaris* en la agricultura en contexto, así como fundamentar el diseño de nuevas investigaciones en este campo.

Materiales y métodos

Para explicar las principales tendencias en las investigaciones sobre *Chlorella* se realizó un estudio exploratorio descriptivo a través de una revisión sistemática con herramientas de metanálisis, utilizando el software Publish or Perish mediante el uso de palabras clave o descriptores, previamente seleccionadas, siguiendo la metodología descrita por Sánchez-Meca,⁽³⁹⁾ con los siguientes términos de búsqueda en inglés y español: *Chlorella*, *Chlorella vulgaris* (+ biofertilizer, magnetic field, agriculture, soil conditioner, bioproducts) “*Chlorella vulgaris*” (+ biofertilizer + magnetic field), en el período comprendido entre 1938 y 2020.

Se realizó una búsqueda general y luego en temas específicos considerando los intereses investigativos a corto y largo plazo. Por su efectividad se utilizó la estrategia de búsqueda de frases en el caso de las búsquedas específicas. El diagrama con la estrategia del metanálisis se presenta en la figura 1, utilizando las recomendaciones metodológicas de PRISMA.⁽⁴⁰⁾ Las referencias citadas fueron buscadas utilizando el Google Académico y búsquedas específicas por bases de datos o por revistas, cuando fue necesario.

Se obtuvieron en total 7731 trabajos, a partir de los cuales se procedió a eliminar duplicados (n=1463), trabajos fuera de contexto (n=812), referencias incompletas (n=9), y artículos en árabe, mandarín, griego, malayo y/o ruso (n=143); incluyéndose aquellos en idioma español, inglés, portugués, alemán, francés e italiano. Como resultado de este análisis se conformó una base de datos con 5304 artículos, a partir de la que se realizan los estudios bibliométricos, el análisis de los temas y la selección de artículos para la revisión del tema específico de *Chlorella vulgaris* sobre el que hará énfasis: bioproductos de interés para la agricultura.

Para la determinación de los temas y para la revisión de aspectos cualitativos se consideraron títulos y resúmenes; además de la lectura del artículo completo en caso de dudas. Para el análisis de la base de datos se consideraron los siguientes indicadores bibliométricos:

- Métrica y estadística: total de artículos y distribución por años, distribución de artículos por temas (temas principales y tendencias), artículos y autores más citados.
- Análisis cualitativo centrado en el uso de *C. vulgaris* en la agricultura: bioproductos de interés agrícola, compañías que comercializan estos productos, cultivos en los que se han obtenido resultados positivos, y principales resultados.

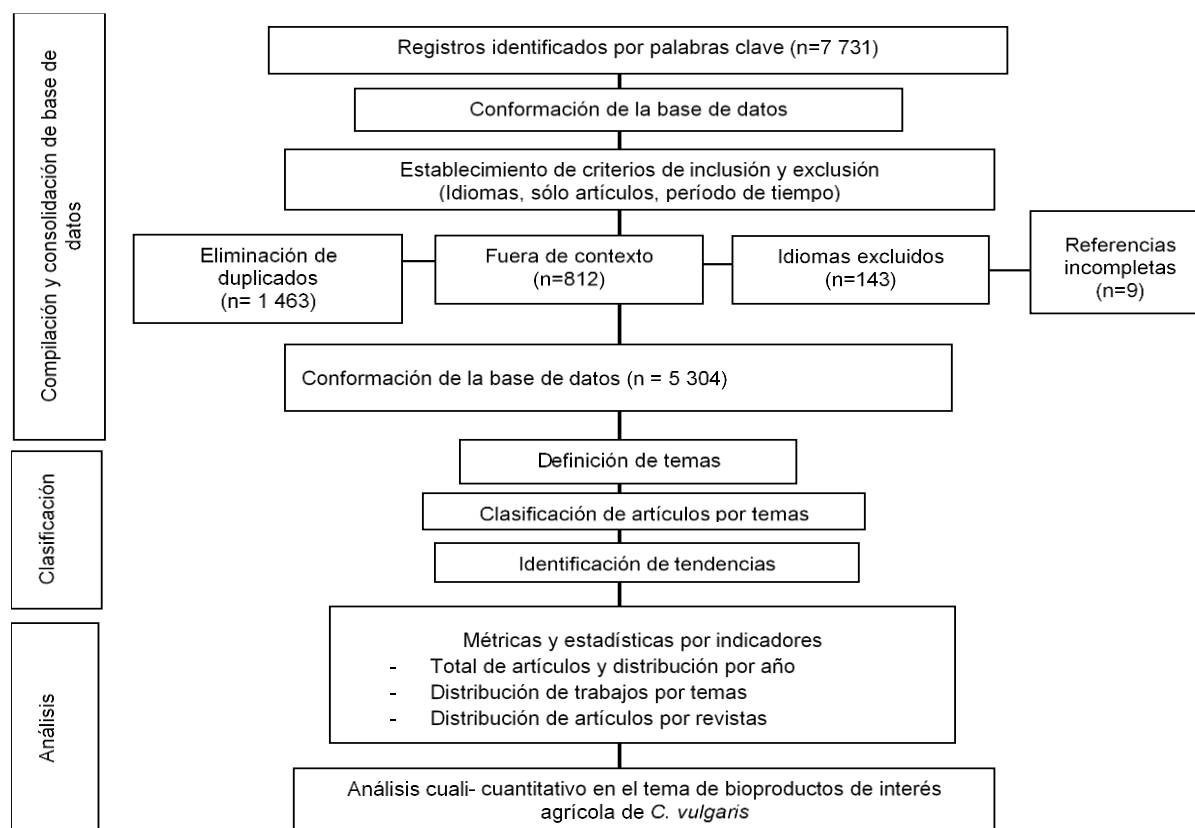


Fig. 1- Diagrama con los principales pasos del metanálisis desde la compilación hasta el análisis

Resultados y discusión

Estado de las investigaciones sobre *Chlorella*

De acuerdo con el metanálisis realizado existe un interés creciente en las investigaciones sobre *Chlorella* desde 1938 hasta la actualidad (figura 2), distinguiéndose 3 períodos (1938-1953, 1954-1998, 1999-2020) con un total de 82, 984 y 4236 publicaciones, respectivamente. En el segundo período hay 12 veces más publicaciones que en el período anterior, mientras que en el último período hay 50 veces más publicaciones que en el segundo; con un máximo de publicaciones en 2019, con 378 artículos.

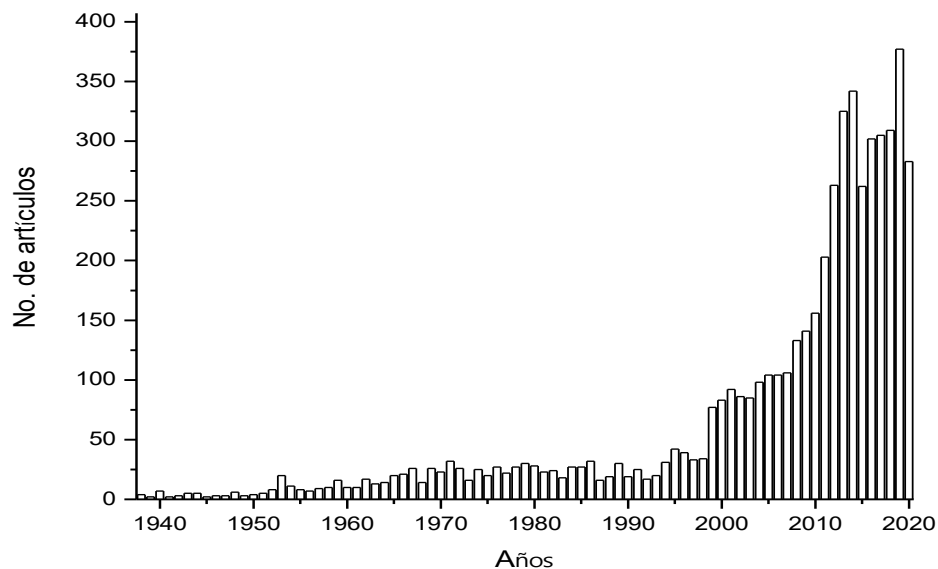


Fig. 2- Distribución de artículos publicados sobre *Chlorella* por años

Es importante destacar que, del total de artículos, 27 han sido citados más de 500 veces, lo que representa el 0,5%; siendo 4 los más citados, con más de 1 000 citas (tabla 1). El artículo más citado con 2 084 citas corresponde a: "Valuable

products from biotechnology of microalgae” del año 2004, el que pertenece al tema: Productos de interés biotecnológico, aplicaciones comerciales e industriales. De los cinco artículos más citados, dos se refieren a la microalga *C. vulgaris*. Estos trabajos han sido publicados en revistas con un factor de impacto mayor de 3: *Journal of Biotechnology*, *Enzyme and Microbial Technology*, *Applied Microbiology and Biotechnology* y *Chemical engineering and processing: process intensification*.

Para el análisis de las principales revistas se escogieron al azar 1 622 artículos, identificándose 14 que han publicado más de 10 artículos (tabla 2). *Plant Physiology* resultó ser la revista con mayor número de artículos (n=180), esta es una publicación de la Editorial American Society of Plant Biologists (EUA), tiene un índice H= 296, y está ubicada en el 1^{er} cuartil del Scimago Journal Report (SJR), con un índice de 3, 62.

Tabla 1- Artículos más citados sobre *Chlorella*

Citas	Autores	Título	Tema o subtema	Año	Revista
2 084	O Pulz, W Gross	Valuable products from biotechnology of microalgae	Productos de interés biotecnológico, aplicaciones comerciales e industriales	2004	<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i> FI: 3,913, SJR Q1, 1.06 H _{index} : 212
1 302	A Converti, AA Casazza, EY Ortiz, P Perego.	Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of <i>Nannochloropsis oculata</i> and <i>Chlorella vulgaris</i> for biodiesel production	Lípidos y biodiesel	2009	<i>Chemical engineering and processing: process intensification</i> FI: 3,731, SJR Q1, 0,91 H _{index} : 96
1 209	H Xu, X Miao, Q Wu	High quality biodiesel production from a microalga <i>Chlorella protothecoides</i> by heterotrophic growth in fermenters	Biocombustibles y biolubricantes	2006	<i>Journal of Biotechnology</i> FI: 3,503, SJR Q1, 0,99 H _{index} : 147
1 129	AM Illman, AH Scragg, SW Shales	Increase in <i>Chlorella</i> strains calorific values when grown in low nitrogen medium	Carbohidratos	2000	<i>Enzyme and Microbial Technology</i> FI: 3,448, SJR Q2, 0.8 H _{index} : 141

Tabla 2- Distribución de artículos por revistas más relevantes

Revistas	Cantidad de artículos
1. Plant Physiology	180
2. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)	41
3. Plantae	38
4. American Journal of Botany	36
5. Photochemistry and Photobiology	23
6. Archives of biochemistry and biophysics	23
7. Agricultural science and technology	20
8. Agricultural and Biological Chemistry	17
9. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology	16
10. Applied Microbiology	13
11. Physiologia Plantarum	12
12. Algal Research	12
13. Journal of Phycology	12
14. Journal of Agricultural Sciences and Technology	10

Respecto a los temas se identificaron en total 16 y 43 subtemas, los que se listan a continuación junto con la distribución de artículos (tabla 3). El tema con mayor número de artículos es: cultivo, metabolismo y procesamiento de la biomasa de *Chlorella*, siendo el subtema con más artículos aquel que trata aspectos sobre el cultivo general de *Chlorella*. Del total, 666 artículos (42 %) corresponden a *C. vulgaris*. Lo que significa la importancia de dicha especie.

De los temas identificados, 11 corresponden a aplicaciones, para un total de 2248 artículos, lo que representa el 42 % del total. De estos 1121 corresponden a *C. vulgaris*, esto es el 50 % del total de artículos referidos a aplicaciones. Esta especie posee una amplia gama de aplicaciones en relación con sus componentes y la naturaleza de estos,⁽⁴¹⁾ su biomasa y extractos tienen aplicaciones energéticas, ambientales, cosméticas, médico-farmacéuticas y agrícolas.

Luego de un análisis de la cantidad de artículos por períodos y del porcentaje que representa el número de artículos publicados en los últimos tres años, respecto al total de los últimos cinco años, se identifican las tendencias, correspondientes a temas y subtemas con porcentajes mayores del 70 % (tabla 4).

Entre los temas que constituyen tendencia destacan las aplicaciones médicas, la obtención de biomateriales, las aplicaciones del campo magnético vinculada a diferentes propósitos, fundamentalmente relacionados con el manejo de cultivos,

mejoras del rendimiento y calidad de la biomasa, así como las aplicaciones en la agricultura, las que ocupan un lugar importante, y el lugar número 9 de acuerdo con la cantidad de artículos publicados. Estos representan el 3 % (n= 160) del total de artículos, de ellos el 49 % corresponde a *C. vulgaris* (78 artículos), lo que constituye otra evidencia de la relevancia de la especie.

Se identifican en las aplicaciones agrícolas los siguientes subtemas: acondicionadores de suelos, biofertilizantes, biocontroladores de patógenos, herbicidas y usos agroecológicos. Por su importancia se presenta un breve análisis de las aplicaciones de *Chlorella* en la agricultura, a partir de los artículos revisados en este estudio.

Tabla 3- Distribución de artículos por tema en investigaciones sobre *Chlorella*

Temas generales	Total	Subtemas	Cantidad d artículos
1. Cultivo, metabolismo y procesamiento de la biomasa de <i>Chlorella</i>	1574	Cultivo en general	943
		Metabolismo	445
		Aplicaciones del campo magnético y electromagnético	57
		Floculación	53
		Procesamiento de la biomasa	76
2. Composición química de la biomasa de <i>Chlorella</i>	877	Bioquímica general	155
		Proteínas	89
		Carbohidratos	81
		Vitaminas	12
		Pigmentos	198
		Lípidos	341
		Otros	1
3. Producción de biocombustibles	690	Lípidos y biodiesel	235
		Biocombustibles y biolubricantes	455
4. Tratamiento de residuales	600	Bioadsorción de metales pesados	208
		Tratamiento de residuales en general	391
5. Bioproductos de interés médico farmacéutico	354	Antioxidantes	45
		Anticoagulantes	4
		Antiinflamatorios	4
		Antibacterianos	11
		Antifúngicos	2
		Antitumorígenicos	6
		Antihipertensivos	12
		Detoxificante	126
		Inmunoestimulantes e inmunorreguladores	38
		Larvicidas	2
		Reestructuradores de la flora intestinal	1
		Suplemento nutricional	53
		Usos terapéuticos generales	49
Cosmética	1		
6. Genómica y proteómica	324	de <i>Chlorella</i>	166
		de virus de <i>Chlorella</i>	158
7. Ensayos ecotoxicológicos	278	Ensayos de efectos de herbicidas y/o plaguicidas	24
		Evaluación de otros compuestos	253
8. Características de <i>Chlorella</i> , taxonomía, morfología y ciclo vital	165	Características generales	107
		Ciclo de vida	18
		Taxonomía	39
		Tratamiento de imágenes y uso de redes neuronales en análisis morfológicos	1
9. Bioproductos de interés agrícola y usos agroecológicos	160	Acondicionadores de suelos	12
		Biofertilizantes	69
		Biocontroladores de patógenos	1
		Herbicidas	1
Usos agroecológicos	78		
10. Mitigación de dióxido de carbono			131
11. Asociación con microorganismos			94
12. Aplicaciones nanotecnológicas de <i>Chlorella</i>			29
13. Uso como alimento animal			15
14. Obtención de biomateriales: bioplásticos a partir de <i>Chlorella</i>			8
15. Productos de interés biotecnológico, aplicaciones comerciales e industriales			5
16. Biosensores			1

Tabla 4 - Temas que constituyen tendencia y variación del porcentaje de artículos en publicados en los últimos tres años respecto al total publicado en los últimos cinco años

Subtemas	2016-2020	2018-2020	%
Antihipertensivos	2	2	100
Larvicidas	1	1	100
Tratamiento de imágenes y uso de redes neuronales en análisis morfológicos de <i>Chlorella</i>	1	1	100
Herbicidas	1	1	100
Obtención de biomateriales: bioplásticos a partir de <i>Chlorella</i>	3	3	100
Antibacterianos	6	5	83
Suplemento nutricional	18	15	83
Usos terapéuticos generales	12	10	83
Antioxidantes	22	18	82
Acondicionadores de suelos	5	4	80
Bioquímica general	22	17	77
Aplicaciones del campo magnético y electromagnético	34	26	76
Ensayos de efectos de herbicidas y/o plaguicidas	4	3	75
Biofertilizantes	52	38	73
Proteínas	45	32	71

Aplicaciones de *Chlorella* en la agricultura

El perfil bioquímico de *Chlorella* varía de acuerdo con la especie (o cepa), el medio de cultivo utilizado⁽⁴²⁾ y las condiciones ambientales. Muchas investigaciones se han enfocado en la búsqueda de alternativas viables, relacionadas con el tratamiento de efluentes de varias industrias,⁽⁴³⁾ destacando el uso del lactosuero, residual del procesamiento de la soya, de la industria pesquera, vinazas,⁽⁴⁴⁾ residual aviar,⁽⁴⁵⁾ residuales urbanos,^(33,38) efluentes domésticos tratados,⁽⁸⁾ bioabono líquido, solución hidropónica residual,⁽¹⁶⁾ entre otros, los que han sido utilizados con éxito como medios de cultivo alternativos, lo que definitivamente valoriza el potencial de aplicación agrícola.

Chlorella es un agente formador de suelos, gracias a la producción de polisacáridos y sustancias mucilaginosas que le proveen de minerales y ayudan a estructuración.⁽¹¹⁾ El empleo de esta microalga ayudan además a prevenir la erosión, incluso en zonas desérticas. La contribución de estos microorganismos a la estabilización de los suelos se hace evidente incluso en ambientes áridos, semiáridos,⁽⁴⁶⁾ polares y alpinos.^(11,47) Los consorcios de cianobacterias,

microalgas y bacterias del suelo favorecen además la fertilidad, la captación y retención de agua, la producción primaria, eliminan contaminantes, y en general, mantienen la estabilidad del suelo. ⁽⁴⁶⁾

Existen rizobacterias que pueden crecer en consorcio con *C. vulgaris*: *Pseudomonas putida* (2:1), *Serratia proteomaculans* (3:1) y *Stenotrophomonas maltophilia* (3:1) en diferentes proporciones (microalga: bacteria), permitiendo cambios significativos en la morfología de las raíces de plantas, sugiriéndose efectos sinérgicos entre estas que promueven la germinación y el crecimiento radicular.⁽⁴⁸⁾ La adición de *C. vulgaris* en los suelos reduce el contenido de nitrato en suelos no inundados, lo que resulta un beneficio adicional, en términos de reducción de lixiviados de nitrógeno.⁽⁴⁹⁾

Se ha descrito que la biomasa seca de *C. vulgaris*, mezclada con estiércol de oveja, añadida al suelo, e incubada durante 15 semanas permite la mineralización del carbono orgánico, la que aumenta en proporción directa con la tasa de adición, en el rango entre 16 y 40 %, corroborándose el aumento de las formas disponibles de cobre, manganeso y zinc, lo que demuestra las bondades del empleo de *C. vulgaris* como agente acelerador de la biodegradación de la materia orgánica del suelo, sin alterar sus propiedades químicas.⁽⁵⁰⁾

El uso de *C. vulgaris* como acondicionador de suelos ha mostrado efectos positivos en la germinación, el aumento del volumen de las raíces, la estimulación de la síntesis de clorofilas y la acumulación de carotenoides.⁽¹¹⁾ El uso de clorofitas y cianofitas como biofertilizantes, lo que se conoce como alginización; término desarrollado por Venkataraman a finales la década de 1966,⁽⁵¹⁻⁵³⁾ juega un papel importante en la construcción de la fertilidad del suelo, con el consecuente incremento de su productividad.

Utilizando soluciones acuosas e hidrolizados de la biomasa de *Chlorella* sp. y *C. vulgaris* como biofertilizante y/o promotor del crecimiento se ha promovido la germinación de semillas de cultivos como melón, tomate, pepino y maíz, ⁽⁵⁴⁾ constatándose efectos positivos en la germinación en *Cucumis melo* L., en medios con niveles intermedios o bajos de nitrógeno, fósforo, potasio y carbono, logrando

índices de germinación de 92-95 %, con altos índices de velocidad de germinación.⁽⁵⁵⁾ Asimismo, se ha promovido el crecimiento de la raíz y el brote de semillas de *Solanum lycopersicum* y *Cucumis sativus*, siendo las concentraciones más efectivas 0,17 y 0,25 gL⁻¹ de suspensión algal, respectivamente.⁽⁵⁶⁾ En cultivos de *Zea mays*, semillas plantadas en un suelo suplementado con *C. vulgaris* y abono orgánico durante 75 días, presentaron un crecimiento del 50 % a los 60 días, lográndose un aumento en la velocidad de crecimiento desde las etapas tempranas.⁽⁵⁷⁾

Otros estudios muestran los beneficios de *C. pyrenoidosa* (11,8 × 10⁴ célmL⁻¹) como biofertilizante, incrementando el sistema radicular del arroz (*Oryza sativa*), la germinación rápida en *C. sativus* y el aumento del contenido de clorofilas en cultivos de arroz, pepino, lechuga (*Lactuca sativa*) y berenjena (*Solanum melongena*).⁽⁵⁸⁾

En el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) se han empleado con éxito extractos de *C. vulgaris* (3 g de extracto seco por kg de suelo) lo que ha permitido mejoras en el crecimiento y el rendimiento, observándose mejoras en parámetros como el área foliar, grosor del cuello, la longitud, el diámetro y el peso del bulbo, y el contenido de pigmentos, así como en la composición bioquímica.⁽⁵⁹⁾

Los extractos líquidos de *C. vulgaris* se han utilizado para mejorar el crecimiento del frijol chino o judía mungo (*Vigna radiata*) favoreciendo el crecimiento del brote, la longitud de la raíz y el peso del grano; observándose, además, una composición mineral mayor de la harina en las plantas tratadas con *C. vulgaris*.^(60,61) Estos extractos líquidos se han utilizado con éxito como fertilizantes foliares en cultivos de fresas (*Fragaria vesca*), aumentando su producción en un 22 %, con la aplicación de soluciones de *C. vulgaris* al 25 %, directamente en forma de spray a 4°C.⁽⁶²⁾

Suspensiones acuosas de extracto seco de *C. vulgaris* (0,5-2%) han mostrado efecto nematicida en el tratamiento de la vid (*Vitis vinifera*) infectada con *Xiphinema index*. Se ha utilizado además el extracto seco para la protección de las plantas contra el nematodo agallador *Meloidogyne arenaria*. Experimentos de

laboratorio y en macetas con tomate (cv. Bele y cv. Ideal) y plántones de uva (cv. Cabernet Sauvignon), muestran que incluso a dosis bajas se manifiesta un doble efecto: por un lado, suprimen el desarrollo del parásito y, por otro, se estimula fuertemente el crecimiento de las plantas, lo que constituye una ventaja más de los efectos de esta microalga, que fundamentan su aplicación práctica.^(63,64) Por último, destaca el uso de *Chlorella fusca* en suspensión como pesticida foliar, el que ha sido efectivo contra la antracnosis ocasionada por *Colletotrichum orbiculare* en hojas de pepino.⁽⁶⁴⁾

A partir de *Chlorella* spp. se obtienen biofertilizantes que incrementan la fertilidad de los suelos con mínimo costo ambiental. Estos se presentan en varias formulaciones, aportando componentes que inciden en el crecimiento y productividad de los cultivos, además de producir sustancias antibacterianas, antifúngicas y nematocidas, pudiendo ser utilizados como pesticidas, herbicidas o en general, agentes de control⁽¹⁰⁾, siendo además, ricos en fitohormonas estimulantes del crecimiento.⁽⁶⁵⁾

Considerando que la actividad agrícola es prioritaria en el contexto internacional y nacional, y las reflexiones realizadas en Cuba, enfocadas a la producción de alimentos, explicándose que esta necesita ser asumida de otra manera,⁽⁶⁶⁾ debería considerarse la aplicación y valorización de los bioderivados de interés agrícola obtenidos a partir de *Chlorella* spp., promoviendo su desarrollo a partir de cepas locales, no sólo en función de transformar los índices productivos, sino de reemplazar los agroquímicos por productos agroecológicos, que minimizarían los costos ambientales de la producción agrícola, garantizando soluciones sostenibles.

Conclusiones

Existe un interés creciente en las investigaciones sobre *Chlorella* y específicamente sobre *C. vulgaris*, siendo los temas diversos, en relación con su potencial de aplicación. Se demuestra la relevancia de las aplicaciones en la

agricultura como biofertilizante, acondicionador de suelo, nematocida y pesticida, lo que resulta de gran interés para el desarrollo de la agroecología. Los bioproductos obtenidos a partir de *Chlorella* spp. constituyen alternativas útiles que deben tener mayor aplicación práctica en el contexto nacional.

Referencias bibliográficas

- 1- SHELEF, G., C.J. SOEDER. Algae Biomass: production and use. 1980. Elsevier Sci. Ltd. 870 pp. ISBN: 978-0444802422
- 2- GOMEZ, L. Cultivo y aplicación de las microalgas *Dunaliella salina* and *Chlorella vulgaris* en Cuba. Tesis de Doctorado, Universidad de La Coruña, España, 1997, 265 pp. ISBN 978-84-692-8147-S
- 3- BOROWITZKA, M. A. Biology of Microalgae. En: *Microalgae in Health and Disease Prevention*. Australia, 2018, p. 50. ISBN: 978-0-12-811405-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>
- 4- BUDD, T. W., J. L. TJOSTEM AND M. E. DUYSEN Ultrastructure of *Chlorella pyrenoidosa* as affected by environmental changes. *American Journal of Botany*, 1969, **56**(5), pp. 540-545. ISSN:1537-2197 (online)
- 5- PARK, Y., J. KYOUNG-WOO, L. KYUN-GYONG, J. SANG-EUN, *et al.* Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by co-inoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*, 2008, **598**(1), pp. 219-228. ISSN: 0018-818
- 6- DE BASHAN, L. E., A. TREJO, V. A. R. HUSS, J.-P. HERNANDEZ, *et al.* *Chlorella sorokiniana* UTEX 2805, a heat and intense, sunlight-tolerant microalga with potential for removing ammonium from wastewater. *Bioresource Technology*, 2008, **99**(11), pp. 4980-4989. ISSN: 0960-8524
- 7- EL-NAGGAR, A.H., M. E. OSMAN, M. MOSTAFA, G. EL-SHEEKH, S. EL-SHEEKH. Influence of the aqueous extract of *Ulva lactuca* and *Chlorella kessleri* on growth and yield of *Vicia faba*. *Algological Studies*, 2005, **116**, pp. 213-229. ISSN: 1864-1318
- 8- FARUQUE, M.O., K.A. MOHAMMED, M.M. HOSSAIN, S. A. RAZZAK. Simultaneous biological nutrient removal from municipal wastewater and CO₂-biofixation using

- Chlorella kessleri*, 2020, *Research Square*, 20 pp. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-41636/v1>, ISSN: 2693-5015 (Online)
- 9- WANG, Y., T. CHEN, S. QIN. Heterotrophic cultivation of *Chlorella kessleri* for fatty acids production by carbon and nitrogen supplements. *Biomass and Bioenergy*, 2012, **47**, pp. 402-409. ISSN: 0961-9534
 - 10- SAFI, C., B. ZEBIB, O. MERAH, P.-Y. PONTALIER, et al. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **35**, pp. 265-278. ISSN: 1364-0321
 - 11- ORTIZ-MORENO, M.L., K.X. SANDOVAL-PARRA, L.V. SOLARTE-MURILLO *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante? *Orinoquía*, 2019, **23**(2), pp. 71-78. ISSN: 0121-3709
 - 12- RANI, K., N. SANDAL AND P. SAHOO A comprehensive review on chlorella-its composition, health benefits, market and regulatory scenario. *The Pharma Innovation Journal*, 2018, **7**(7), pp. 584-589. ISSN: 2277-7695 (online)
 - 13- JORGENSEN, J., J. CONVIT, L. DE CABO BLANCO AND D. MAIQUETIA. Cap. 14 Cultivation of complexes of algae with other fresh-water microorganisms in the tropics. En: *Algal culture: from laboratory to pilot plant*. Burlew, J. Ed., Carnegie institution of Washington publication, Washington, DC., 1^{ra} Edición, 1953, pp.190-195. ISBN 0-87279-611-6
 - 14- BURLEW, J. S. *Algal culture: from laboratory to pilot plant*. Burlew, J. Ed., Carnegie institution of Washington publication, Washington, DC., 1^{ra} Edición, 1953, 357 p. ISBN 0-87279-611-6
 - 15- MORRIS, H.J. *et al.* Composición bioquímica y propiedades bioestimulantes de un hidrolizado proteico de la microalga *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Chlorophyceae). *Revista Cubana de Química*, 2001, **XIII**(3), pp. 28-35. ISSN 2224-5421
 - 16- CLEBER, B. F., E. SANT'ANNA, B. M. VILLELA DA COSTA, O. J. L. BARCELOS. Lipids, fatty acid composition and carotenoids of *Chlorella vulgaris* cultivated in hydroponic wastewater. *Grasas y aceites*, 2006, **57**(3), pp. 270-274. ISSN: 0017-3495
 - 17- MORRIS, H., Á. ALMARALES, O. CARRILLO, R. ABDALA. Combinaciones enzimáticas en la obtención de hidrolizados proteicos a partir de *Chlorella vulgaris*.

- Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 2001, **15**(2), pp. 85-89. ISSN 1561-2929 (Online)
- 18- CAMPOS, A., P. ARAUJO, C. PINHEIRO, J. AZEVEDO, *et al.* Effects on growth, antioxidant enzyme activity and levels of extracellular proteins in the green alga *Chlorella vulgaris* exposed to crude cyanobacterial extracts and pure microcystin and cylindrospermopsin. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, **94**(1), pp. 45-53. ISSN: 0147-6513
 - 19- GRIFFITHS, D.J. The accumulation of carbohydrate in *Chlorella vulgaris* under heterotrophic conditions. *Annals of Botany*, 1965, **29**(3), pp. 347-357. ISSN: 0305-7364
 - 20- HADJ-ROMDHANE, F., X. ZHENG, P. JAOUEN, J. PRUVOST, *et al.* The culture of *Chlorella vulgaris* in a recycled supernatant: Effects on biomass production and medium quality. *Bioresource Technology*, 2013, **132**, pp. 285-292. ISSN: 2457-0125
 - 21- ALVA-MARTINEZ, A. F., R. FERNANDEZ, S.S. SARMA, S. NANDINI. Effect of mixed toxic diets (*Microcystis* and *Chlorella*) on the rotifers *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus havanaensis* cultured alone and together. *Limnologica*, 2009, **39**(4), pp. 302-305. ISBN: 0075-9511
 - 22- QUINTANA, M.M., L. HERNÁNDEZ, H. MORRIS, M. FERNÁNDEZ. Contenido de algunas vitaminas en cultivos de la microalga *Chlorella* sp. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 1999, **13**(1), pp. 9-13. ISSN 1561-2929 (Online)
 - 23- MATA, T. M., A. A. MARTINS, N. S. CAETANO. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **14**(1), pp. 217-232. ISSN: 1364-0321
 - 24- CHISTI, Y. Microalgae as sustainable cell factories. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2006, **5**(3), pp. 261-274. ISSN: 1582-9596
 - 25- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 2007, **25**(3), pp.294-306.
 - 26- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*, 2008, **26**(3), pp. 126-131. ISSN: 01677799
 - 27- CHISTI, Y., J. YAN. Energy from algae: current status and future trends: algal biofuels—a status report. *Applied Energy*, 2011, **88**, pp. 3277-3279. doi:10.1016/j.apenergy.2011.04.038

- 28- OGBONNA, J.C., H. MASUI, H. TANAKA. Sequential heterotrophic/autotrophic cultivation - An efficient method of producing *Chlorella* biomass for health food and animal feed. *Journal of Applied Phycology*, 1997, **9**(4), pp. 359-366. ISSN: 1573-5176 (online)
- 29- QIAN, H.F., J.J. LI, X.J. PAN, Z. Q. SUN, *et al.* Effects of streptomycin on growth of algae *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. *Environmental Toxicology*, 2012, **27**(4), pp. 229-237. ISSN: 1522-7278 (online)
- 30- BARONE, V. *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*: diversified applications for environmental and agricultural systems. Tesis de Doctorado, Agricultural, Food And Environmental Science, Università degli studi di Catania, Italia, 2018, p. 169.
- 31- SILVA-BENAVIDES, A.M., G. TORZILLO. Nitrogen and phosphorus removal through laboratory batch cultures of microalga *Chlorella vulgaris* and cyanobacterium *Planktothrix isothrix* grown as monoalgal and as co-cultures. *Journal of Applied Phycology*, 2012, **24**(2), pp. 267-276. ISSN: 1573-5176 (online)
- 32- ZION MARKET RESEARCH. *Chlorella* market by source and by application: Global industry perspective, comprehensive analysis, and forecast 2017- 2024, Report ID: 4853271, 2018, 110 p. Disponible en: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4853271/chlorella-market-by-source-and-by-application>
- 33- GOMEZ-LUNA, L.; I. ÁLVAREZ; R. RIVERO. Cultivo de *Chlorella vulgaris* sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2011, **13**(2), pp. 27-38. ISSN: 0123-3475
- 34- SILVEIRA-FONT, Y., L. GÓMEZ-LUNA, M. D. KUFUNDALA-WEMBA, D. SALAZAR-HERNÁNDEZ, *et al.* Variación de la composición de pigmentos de *Chlorella vulgaris* Beijerinck, con la aplicación del campo magnético estático. *Revista Cubana de Química*, 2018, 30, pp. 55-67. ISSN 2224-5421 (online)
- 35- MORRIS, H., M.M. QUINTANA, Á. ALMARALES, L. HERNÁNDEZ. Composición bioquímica y evaluación de la calidad proteica de la biomasa autotrófica de *Chlorella vulgaris*. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 1999, **13**(2), pp. 123-128. ISSN: 1561-2929

- 36- ROMERO, T., C. FERRÁN. Flocculación de *Chlorella* sp. con la utilización de quitosana. *Revista de Investigaciones Marinas*, 2001, **22**(1), pp. 57-62.
- 37- ROMERO, T., J. LLANES, S. SÁNCHEZ, D. HERNÁNDEZ. Utilización de la microalga *Chlorella* spp. en la producción de ensilados biológicos. En: *Proceedings of the CIVA: II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*, 2003, pp.325-335.
- 38- ROMERO, T., C. OTERO. *Chlorella* spp. desarrollada en los efluentes de la industria pesquera para alimentar *Branchionus plicatilis*. *Revista Electrónica de Veterinaria* [en línea], 2004, **13** [Consultado: 12 octubre 2020, www.veterinaria.org/revistas/redvet/n020204.html].
- 39- MECA, J.S. Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula abierta*, 2010, **38**(2), pp. 53-64. ISSN : 0210-2773
- 40- MOHER, D., A. LIBERATI, J. TETZLAFF, D. ALTMAN. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. Disponible en: www.prisma-statement.org. 2009.
- 41- RU, I.T.K., Y.Y. SUNG, M. JUSOH, M.E.A. WAHID, *et al.* *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*, 2020, **1**(1), pp. 2-11. ISSN: 1573-5176
- 42- SINGH, R., S. SHARMA. Development of suitable photobioreactor for algae production—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, **16**(4), pp. 2347-2353. ISSN: 1364-0321
- 43- GONZÁLEZ, L.E., R.O. CAÑIZARES, S. BAENA. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology*, 1997, **60** (3), pp. 259-262. ISSN: 0960-8524
- 44- RODRÍGUEZ, L. R., GOMEZ-LUNA, L. M., HARAMBOURE, Y. P. (2014). Evaluación del crecimiento de *Chlorella vulgaris* en diferentes concentraciones de vinaza. *Revista Centro Azúcar*, **41**(4), PP.75-85, ISSN: 2223-4861
- 45- QUINTANA CABRALES, M.M., M. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ. Utilización de residual aviar como fuente de nutrientes en cultivos de microalgas. *Medisan* [en línea]. 2004, julio-septiembre, **8**(3), [Consultado 22 febrero 2021]. ISSN 1029-3019

- 46- PERERA, I., S. R. SUBASHCHANDRABOSE, K. VENKATESWARLU, R. NAIDU, *et al.* Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria in desert soils: an underexplored microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, **102**(17), pp. 7351-7363. ISSN: 01757598
- 47- WILLIAMS, L., K. LOEWEN-SCHNEIDER, S. MAIER, B. BÜDEL. Cyanobacterial diversity of western European biological soil crusts along a latitudinal gradient. *FEMS Microbiology Ecology*, 2016, **92**(10), fiw157, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw157>
- 48- RAPOSO, M.F.D.J., R.M. MORAIS. *Chlorella vulgaris* as soil amendment: Influence of encapsulation and enrichment with rhizobacteria. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2011, **13**(5), pp. 719-724. ISSN: 18149596 (online)
- 49- KOZIEL, W., K. JAROMIN-GLEN, C. POLAKOWSKI, A. WALKIEWICZ, *et al.* Effect of encapsulated and free-living cells of *Chlorella vulgaris* L. on nitrogen retention in soils. *International Agrophysics*, 2019, **33**(1), pp. 127-136, doi: 10.31545/intagr/104415
- 50- GOUGOULIAS, N., G. PAPAPOLYMEROU, V. KARAYANNIS, X. SPILLOTIS, *et al.* Effects of manure enriched with algae *Chlorella vulgaris* on soil chemical properties. *Soil and Water Research*, 2018, **13**(1), pp.51-59. ISSN: 1805-9384
- 51- AIYER, R., S. SALAHUDEEN, G. VENKATARAMAN. Long-term algalization field trial with high-yielding varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Agricultural Science*, 1972, pp. 380-383. ISSN: 0019-5022
- 52- VENKATARAMAN, G. Algalization. *Phykos*, 1966, **5**(1), pp. 748-749. ISSN 0554-1182
- 53- VENKATARAMAN, G.S. *Algal biofertilizers and rice cultivation*. 1st Edition, Today & Tomorrow's Printers & Publishers, 1972, ISBN: 0880652020.
- 54- CORONA, Z.C. Conferencia de apertura. *I Taller Soberanía Alimentaria con más Ciencia*, Teatro Heredia, Santiago de Cuba, 25 de Septiembre, 2020.
- 55- LIMA, J.F. Utilization of *Chlorella* sp. as biostimulant in the germination of melon seeds (*Cucumis melo* L.). *Journal of Agricultural Studies*, 2020, **8**(2), pp.750-773. ISSN 2166-0379

- 56- BUMANDALAI, O., R. TSERENNADMID. Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. *International Journal of Aquatic Biology*, 2019, **7**(2), pp. 95-99. ISSN: 2322-5270
- 57- DINESHKUMAR, R., J. SUBRAMANIAN, J. GOPALSAMY, P. JAYASINGAM, *et al.* The impact of using microalgae as biofertilizer in maize (*Zea mays* L.). *Waste and Biomass Valorization*, 2019, **10**(5), pp. 1101-1110. ISSN: 1877-2641
- 58- ELHAFIZ, A., A. E. S. S. GAUR, N. H. M. OSMAN AND T. R. LAKSHMI. *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa* live cells appear to be promising sustainable biofertilizer to grow rice, lettuce, cucumber and eggplant in the UAE soils. *Recent Research in Science and Technology*, 2015, **7**, pp. 14-21. doi: 10.19071/rrst.2015.v7.2919
- 59- DINESHKUMAR, R., J. SUBRAMANIAN, A. ARUMUGAM, A.A. RASHEEQ, *et al.* Exploring the microalgae biofertilizer effect on onion cultivation by field experiment. *Waste and Biomass Valorization*, 2020, **11**(1), pp. 77-87. ISSN: 1877-2641
- 60- DINESHKUMAR, R., M. DURAIMURUGAN, N. SHARMILADEVI, L. P. LAKSHMI, *et al.* Microalgal liquid biofertilizer and biostimulant effect on green gram (*Vigna radiata* L.) an experimental cultivation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, pp. 1-21. doi: 10.1007/s13399-020-00857-0
- 61- CHATURVEDI, V., K. NIKHIL. Effect of Algal Bio-fertilizer on the *Vigna radiata*: A Critical Review. *Journal of Engineering Research and Applications*, 2016, **6**(2), pp. 85-94. ISSN: 2248-9622
- 62- KIM, M.J., C.K. SHIM, Y.K. KIM, J.H. PARK, *et al.* Effect of *Chlorella vulgaris* CHK0008 fertilization on enhancement of storage and freshness in organic strawberry and leaf vegetables. *Horticultural Science & Technology*, 2014, **32**(6), pp. 872-878. ISSN: 2465-8588 (online)
- 63- CHOLEVA, B., T. BILEVA, Y. TZVETKOV, P. BARAKOV. Preliminary study of the green algae *Chlorella* (*Chlorella vulgaris*) for control on the root-knot nematode (*Meloidogyne arenaria*) in tomato plants and ectoparasite *Xiphinema indexin* grape seedlings. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 2005, **70**(4), pp. 915-926. ISSN: 1379-1176

- 64- LEE, Y.J., Y.J. KO, Y.C. JEUN. Illustration of disease suppression of anthracnose on cucumber leaves by treatment with *Chlorella fusca*. *Research in Plant Disease*, 2016, **22**(4), pp. 257-263. ISSN: 0191-2917
- 65- HAJNAL-JAFARI, T.I., S.S. ĐURIĆ, D. R. STAMENOV. Influence of green algae *Chlorella vulgaris* on initial growth of different agricultural crops. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, 2016, **130**, pp. 29-33. ISSN: 2406-0828 (Online).
- 66- MIGUEL DÍAZ-CANEL BERMÚDEZ, J. N. JOVER. Gestión gubernamental y ciencia cubana en el enfrentamiento a la COVID-19. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba: especial COVID-19*, 2020, **10**(2), p. 881. ISSN: 2304-0106

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de autores

Liliana María Gomez Luna: participó en la concepción general de la investigación, en la definición de los métodos y técnicas para desarrollar la revisión sistemática. Participó en la obtención y procesamiento bibliométrico, y en el análisis y discusión de los resultados. Participó en toda la revisión sistemática. Concibió, estructuró y escribió el artículo científico.

Lilisbet Tormos Cedeño: participó en la búsqueda y organización de la bibliografía. Contribuyó con la selección de artículos. Realizó la revisión sistemática que facilitó la escritura del artículo científico. Contribuyó en la escritura del artículo científico.

Yadenis Ortega Díaz: contribuyó con la selección de artículos, así como en el procesamiento de estos, y en el análisis y discusión de resultados. Contribuyó en la escritura del artículo científico.