Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

APLICACIÓN DE *Chlorella vulgaris* Y FERTILIZACIÓN ÓRGANO-MINERAL EN CULTIVO DE BETABEL (*Beta vulgaris* L.) EN INVERNADERO

Maribel, Apolinar-Aguilar [1*], Alfredo, Lino-Brito[2], Noel J., Arozarena-Daza[3]

[1-2]Universidades para el Bienestar Benito Juárez García (UBBJG), [3]Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical "Alejandro Humboldt" (INIFAT) Cuba. Autor de correspondencia: 2331313993 * alfrelino_09@hotmail.com

RESUMEN

Los objetivos de la investigación fue evaluar los efectos de la microalga *Chorela vulgaris* en conjunto con la fertilización órgano-mineral en algunas características del suelo y su impacto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de betabel, además, de la posible reducción de la fertilización químico mineral, sin afectar la calidad y producción de la raíz carnosa. El trabajo experimental, se desarrolló en un Invernadero de la localidad de Almoloni, perteneciente al municipio de Tlatlauquitepec, estado de Puebla. La evaluación de la efectividad de *Chorela vulgaris* (microalga) a dosis de 20 mL L^{-1}, de la solución final de microalgas disueltas en agua, en tres aplicaciones foliares y al suelo donde se encontraba la planta, a los a los 39, 54 y 69 días después de emergida (dde) las semillas, en los tratamientos, 100 % de fertilización química mineral (FM) y donde se redujo la FM al 25 y 50 % y se aplicaron 5 kg m^{-2}, de un portador de materia orgánica (MO) (composta a base de estiércol). Además, del tratamiento 100 % FM, sin microalga(testigo). Destacando que *Chorela vulgaris*, con 50 y 25 % de reducción de la fertilización mineral y 100 % de la misma, supero al testigo en rendimiento en 10, 34 y 25 % en ese orden. Pudiendo concluir la microalga, estimula el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de betabel. De igual manera, contribuye a la mejora de los contenidos de M.O, pH y C.E del suelo.

Palabras clave: *microalgas: Chorela vulgaris, suelo, e invernadero.*

ABSTRACT

The objectives of the research were to evaluate the effects of the microalga Chlorella vulgaris in combination with organo-mineral fertilization on some soil characteristics and its impact on the growth, development, and yield of beet crops, as well as the possible reduction of chemical-mineral fertilization without affecting the quality and production of the fleshy root. The experimental work was carried out in a greenhouse in the town of Almoloni, belonging to the municipality of Tlatlauquitepec, state of Puebla. The evaluation of the effectiveness of Chlorella vulgaris (microalga) at a dose of 20 mL L^{-1} of the final microalgae solution dissolved in water, applied in three foliar treatments and to the soil where the plant was located, at 39, 54, and 69 days after the seeds emerged (dae), was conducted in the treatments with 100% chemical-mineral fertilization (CMF) and where CMF was reduced by 25% and 50%, alongside the application of 5 kg m^{-2} of an organic matter (OM) carrier (compost based on manure). In addition, from the 100% FM treatment, without microalgae (control). Highlighting that

Chlorella vulgaris, with 50% and 25% reduction of mineral fertilization and 100% of the same, surpassed the control in yield by 10, 34, and 25 % in that order. It can be concluded that the microalgae stimulate the growth, development, and production of the beet crop. Likewise, it contributes to the improvement of the soil's O.M., pH, and E.C. contents.

Keywords: *microalgae*: *Chlorella vulgaris*, soil, and greenhouse.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de betabel es originario de Europa, fundamentalmente del mediterráneo. Los primeros reportes del consumo de la raíz, son del Siglo XVI. En la actualidad es difundida ampliamente en todo el mundo, por la importancia de sus propiedades nutrimentales y la variedad de sus usos como la elaboración de azúcar, tintes vegetales, así como la alimentación de ganado, producción de melazas y la alimentación humana (Bonifaz, 2024). Son varios los reportes en la literatura que plantean el beneficio de consumir betabel, tales, son los casos de Gómez-Cipriano, *et al*., (2022); Monroy, (2023), los cuales exponen, que es una hortaliza de uso versátil que aporta amplios beneficios a la salud por lo cual se ha utilizado como terapia en diversas enfermedades, debido a su alto contenido en vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes.

En México se siembra todo el año, en todos los estados de la república, con una producción nacional de 18,158.8 toneladas, lo que representa un valor aproximado de 105,424.84 millones de pesos. Las entidades líderes en producción son: Puebla, 10,734 t; Jalisco, 3,373 t y Estado de México, 1,406 t (SADER, 2023). De acuerdo con Scavo (2022), el betabel es un cultivo que su calidad depende de un crecimiento rápido y continuo, para lo cual el suelo debe estar abastecido de los elementos nutritivos necesarios; aunque ha sido un cultivo poco estudiado en cuanto a los requerimientos nutrimentales. De igual modo es conocido que el exceso de fertilización químico mineral, es una de las causas de los desequilibrios naturales de los suelos agrícolas, lo que exige un cambio en el manejo tradicional que se le dan a estos (Lino, *et al*, 2021).

Antes esta situación los abonos orgánicos se presentan como una de las alternativas que mejoran las características de suelo como el intercambio catiónico, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fosforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión (FAO, 2023). Es sabido que la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos puede ser más efectiva que solo el uso de fertilizantes químicos, mejorando la disponibilidad de nutrientes y la productividad de los cultivos. Además, de las alternativas mencionadas, se presentan los bio-productos, donde se encuentran las soluciones acuosas de microalgas. Los biofertilizantes a base de microalgas se caracterizan por ser productos bioactivos solubles en agua, que promueven la germinación, el desarrollo de los cultivos y la sustitución parcial de fertilizantes químico-mineral en la agricultura y más específicamente en la horticultura (Norrie y Keathley 2005; Hernández *et al.,*

2014; Apolinar *et al*, 2018). El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de la microalga *Chorela vulgaris* en conjunto con la fertilización órgano-mineral en algunas características del suelo, tales como contenido de materia orgánica, pH y conductividad eléctrica y su impacto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de betabel, así como la posible reducción de la fertilización químico mineral, sin afectar la calidad y producción de la raíz carnosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec (ITSTL), perteneciente al municipio de igual nombre, localizado en la Sierra Norte del Estado de Puebla, México. El municipio se ubica entre los paralelos 19°38' y 20°03' de latitud norte; los meridianos 97°23' y 97°37'de longitud oeste; altitud entre 300 y 2,900 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2019).

El experimento se llevó a cabo durante dos periodos productivos, consistiendo en la aplicación foliar y al suelo donde se encontraba la planta de cultivo de la microalga (*Chorella vulgaris*), la cual se reprodujo a partir de la cepa original obtenida de la academia de acuicultura perteneciente al ITSTL, para lo cual se utilizó un foliar comercial de nombre "Bayfolan® Forte" a razón de 0.5 mL del foliar por cada litro de agua estéril, con aireación constante por 20 minutos, pasado este tiempo se inoculo con 52 mL de la cepa *Chlorella vulgaris* (Romo, 2002); (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2010). Diluyéndose 20 mL por litro de agua a aplicar al cultivo a los 16 días de reproducción, siendo las aplicaciones tres, a los 39, 54 y 69 días después de emergida (dde) las semillas, en los tratamientos, 100 % de fertilización química mineral (FM) y donde se redujo la FM al 25 y 50 % y se aplicaron 5 kg m^{-2}, de un portador de materia orgánica (MO), al suelo (composta a base de estiércol). Además, del tratamiento 100 % FM, sin microalga(testigo), cuadro 1.

De igual manera el cultivo fue fertilizado en el momento de la siembra, con la fórmula fertilizante recomendada por INIFAP, (2013) 120-45-150 kg por hectárea de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente. Se conformaron cuatro réplicas por tratamientos en camas de 5 m^2, con una densidad de 20 plantas por metro cuadrado. Con un diseño experimental de bloques al azar. La respuesta vegetal del cultivo se evaluó a los 48, 62, 76, 90, y al momento de la cosecha 104 días después de emergida dde las semillas. Las variables respuestas fueron: altura (cm) y número de hojas hasta el momento de cosecha; para evaluar en el momento de la recolección, diámetro polar y ecuatorial de la raíz tuberosa (cm) y su peso fresco (g); de igual modo se evaluó peso seco (g) de la parte aérea y raíz tuberosa, para determinar el índice de cosecha(IC): relación entre el peso seco de la raíz tuberosa (g) y el peso seco de la biomasa aérea (g), expresado en porcentaje, para lo cual se extrajeron 10 plantas por replicas, para el secado en estufa a 75 °C durante 72 horas, hasta peso constante; por su parte el rendimiento se evaluó en un metro cuadro del centro de cada replica.

El examen de suelo se realizó en el laboratorio de análisis de suelo del INECOL (Instituto de Ecología A.C) de Veracruz, según NOM-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), las determinaciones realizadas fueron: materia orgánica (%), conductividad eléctrica (C.E: mS/cm) y pH, cuadro 2. Con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos (cuadro 1) en las propiedades de suelo señaladas. Para lo cual, se tomaron muestras de suelo compuestas, tres réplicas en cada caso, de la zona de cultivo, tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4) y del suelo sin tratamiento previo (T0), alrededor donde se estaba realizando el estudio, con un diseño totalmente aleatorio. En todos los casos la información estadística, se procesó con el paquete *The SAS System for Windows* 9, versión en español, según diseño experimental. En los casos de datos en porcentaje, se ejecutó la transformación angular (Arcoseno) o de Bliss, Arcoseno= √ % de calidades/100, como se indica en estos casos, para el procesamiento estadístico.

Cuadro1. Tratamientos de fertilización aplicados al Betabel.

Tratamientos	Leyenda
1	100 % FM
2	100 % FM + *Chorela vulgaris*
3	75 % FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*
4	50 % FM + 5 Kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*

FM = fertilizante mineral; MO = materia orgánica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó un efecto significativo *($p \leq 0.05$)*, en las variables M.O, C.E y pH (cuadro 2), al comparar los valores de las mismas, entre el suelo no tratado y el suelo afectado por los tratamientos, presentando efectos positivos, cuando se utiliza la microalga; resultados que se refuerzan, si es combinada con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica, no siendo así en la utilización del 100 % de la FM.

Cuadro 2. Análisis químico de las muestras de suelo, determinación de materia orgánica (M.O %); conductividad eléctrica (C.E: mS/cm) y acidez (pH).

Tratamientos	M.O	C.E	pH
Suelo no alterado	6.17 a	0.121 c	7.06 a
100 % FM	3.36 c	0.891 c	5.74 d
100 % FM + *Chorela vulgaris*	4.12 b	0.635 b	6.22 c
75 % FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*	5.45 a	0.223 c	6.61 b
50 % FM + 5 Kg m-2 de MO + *Chorela vulgaris*	5.48 a	0.212 c	6.65 b
DSM_n	-	0.1047*	0.3385*
CV (%)	4.40	3.82	2.88

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * (*p α 0.05*); DSMn (Diferencia significativa mínima) y Coeficiente de variación (CV).

Para el caso de la M.O, no hubo diferencias significativas entre los valores del suelo no alterado y los tratamientos de FM + 5 kg m^{-2} de MO + *Chorela vulgaris*, para ambas reducciones 75 y 50 % de FM, seguido

del 100 % de FM + *Chorela vulgaris*. En este sentido, Chamizo, *et al*., (2018), han expresado que las microalgas se pueden inocular al suelo, siendo una fuente de carbono orgánico y mejorar la calidad del mismo. De igual manera sea reportado que estos microrganismos producen y secretan sustancias poliméricas extracelulares, las cuales aumentan el contenido de materia orgánica del suelo y su estabilidad (Rossi, *et al*., 2017). Benedicto-Valdés, *et al*., (2019), encontraron incrementos significativos para los tenores de materia orgánica y carbono orgánico de suelo, cuando se aplicó un abono orgánico de forma edáfica.

Por su parte la C.E, tiene una tendencia similar, siendo afectada negativamente por el 100 % de la FM, atenuándose el efecto cuando esta se combina con la microalga, la cual mejora sustancialmente con el empleo del portador de materia orgánica. Cuanto mayor sea la concentración de sales, mayor será la conductividad eléctrica, como ocurrió en el tratamiento con FM sola. Es sabido que *Chorela vulgaris* remueve los nitratos, fosfatos, metales pesados y otros elementos presentes en grandes cantidades en aguas residuales, produciendo la detoxificación biológica (Molazadeh *et al*., 2019). En este orden Koziel, *et al*., (2019), exponen que la adición de *C. vulgaris* en los suelos reduce el contenido de nitrato en suelos no inundados. Mientras que los abonos orgánicos, mejoran la estructura del suelo y la retención de agua, lo que afecta la movilidad de iones. De igual manera forma un complejo arcilloso-húmico que tiene carga negativa, lo que reduce la solubilidad de iones y, por lo tanto, la conductividad eléctrica (Acevedo *et al*., 2014).

En cuanto el pH, los efectos producidos por las variantes de estudios son parecidos a las variables anteriores. Malpartida *et al*. (2022), expresan que, las microalgas tienen un alto contenido de proteínas y aminoácidos básicos, además de minerales como calcio, magnesio y potasio, que tienen un efecto alcalinizante en el suelo. Paralelamente, los portadores de abonos orgánicos, están formados por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviniendo en las propiedades químicas del suelo, aumenta la CIC y la capacidad tampón sobre la reacción del suelo (pH) (Martínez, *et al*., 2008). Otros autores han encontrado que la incorporación de abonos orgánicos al suelo, ha permitido incrementar el pH de 5.5 a 6.4, atribuyéndose al enriquecimiento de cationes presentes en los abonos orgánicos, mientras que los fertilizantes químicos propiciaron un decremento del pH (Liu *et al*. 2010). Según estos propios autores hay un ligero incremento en la C.E, sin llegar a afectar la productividad de los cultivos, producto de la aplicación de los abonos orgánicos y los minerales que lo constituyen.

A continuación, se muestran las figuras 1 y 2, las cuales presentan las respuestas de las variables altura y número de hojas, desde los 48 dde hasta los 104 dde el cultivo, momento de la cosecha de la raíz tuberosa, ambas presentaron diferencias significativas *($p \leq 0,05$)*, a favor de los tratamientos que tuvieron aplicación de la microalga *Chorela vulgaris*, acentuándose la diferencia cuando se redujo la fertilización mineral y se combinó

con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica. Nótese que los valores de altura son mayores en los tratamientos 2(FM 100 % + *C. vulgaris*), 3 (75 % FM + 5 kg m^{-2} MO + *C. vulgaris*) y 4(50 % FM +5 kg m^{-2} MO + *C. vulgaris*), diferencia que se presentó desde los 48 dde las semillas. Mientras que el número de hojas aumenta gradualmente en todos los casos, con diferencias significativa a los 76 dde las semillas a favor de los tratamientos antes señalados, habiendo una caída drástica de la variable a los 104 dde, ocurriendo una transición de la relación fuente-sumidero de la parte vegetativa a la raíz carnosa (Casierra-Posada y Pinto-Correa, 2011); efecto que es más marcado con el empleo de *C. vulgaris* y cuando esta se combina con las reducciones de la FM de 25 y 50 % y se combina un portador de materia orgánica aplicado edáficamente (Lino, *et al*., 2025).

Este resultado es debido a la composición bioquímica de las microalgas, en lo fundamental *Chlorella vulgaris*, incluye proteínas, clorofila, pigmentos, carbohidratos y lípidos, entre otros. Compuestos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de cultivos agrícolas, ya que estimulan la síntesis de proteínas, mejoran la tolerancia al estrés, regulan el crecimiento y desarrollo de raíces y brotes (Gómez-Luna, *et al.,* 2022).

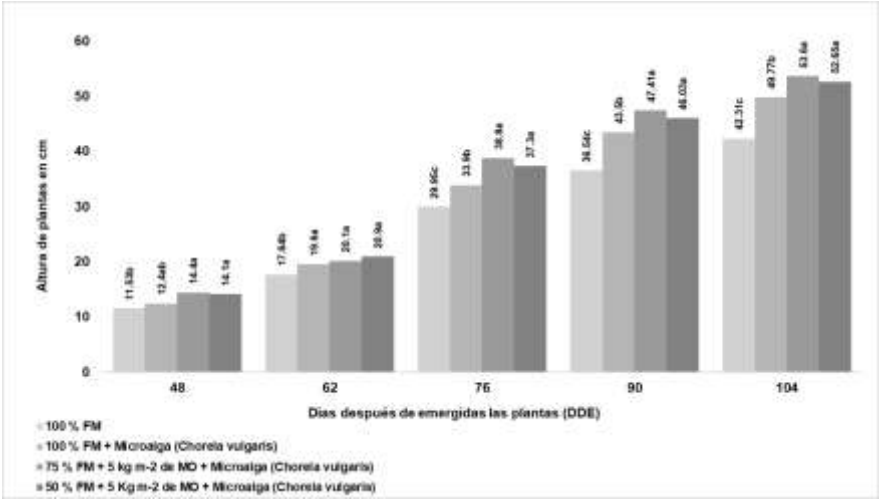

Figura 1. Altura (cm) de plantas de betabel a los 48, 62, 76, 90 y 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Diferencia significativa mínima (DSMn): 2.12, 1.69, 2.03, 2.42 y 2.20. Coeficiente de variación (CV): 10.10, 5.42, 3.62, 3.49 y 2.77. * (P≤ 0.05).

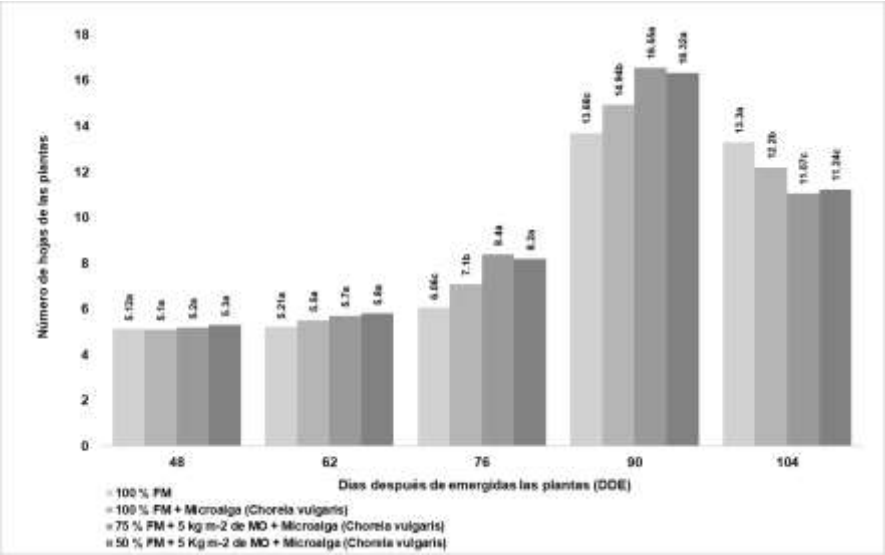

Figura 2. Número de hojas de plantas de betabel a los 48, 62, 76, 90 y 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Diferencia significativa mínima (DSMn): 0.214, 0.658, 0.596, 0.845 y 0.587. Coeficiente de variación (CV): 2.59, 7.41, 5.01, 3.44 y 3.07.

Seguidamente, la figura 3, exhibe los datos de la variable índice de cosecha (IC), al momento de la misma. Presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para los distintos manejos de nutrición del cultivo. Los resultados reflejan que el material presenta un apropiado IC para el testigo 70.34 %, Sohel, *et al.*, (2021), plantea que un IC por encima del 60 % son valores de cultivos en condiciones de manejo adecuadas. Los cuales fueron mejorados, significativamente, con las variantes de manejo nutrimental, destacando cuando la microalga *Chlorella vulgaris*, se combinó con reducciones del 25 y 50 % de la fertilización mineral y el empleo de un portador de materia orgánica, aun resultado similar llegó (Lino, *et al*., 2025), en el cultivo de zanahoria.

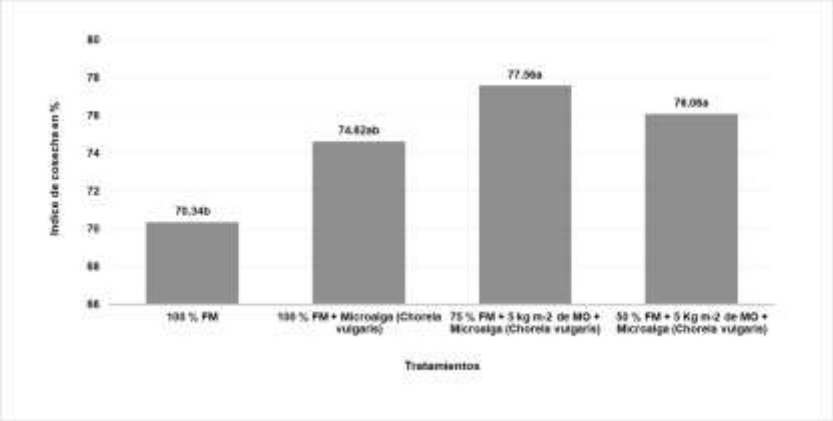

Figura 3. Índice de cosecha a los 104 días de emergidas (dde) las plantas. Respuesta a diferentes manejos de fertilización. Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($P \leq 0.05$) (CV): 3.80.

Consecutivamente el cuadro 3, expone los resultados del rendimiento y sus componentes. Con diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para las variables diámetro ecuatorial de raíz tuberosa, peso promedio de raíz tuberosa

y rendimiento. Los mejores resultados, se observan en las variantes de manejo nutrimental, que utilizaron la *Chlorella vulgaris* y cuando el microrganismo se vinculó con la nutrición bio-órgano mineral y las reducciones de la fertilización mineral, tendencia mostrada durante la investigación. En este sentido las microalgas S*pirulina* y *Chlorella*, poseen varios compuestos bioactivos, como aminoácidos, vitaminas y antioxidantes, que ayudan a las plantas a mejorar sus funciones fisiológicas, permitiendo que los cultivos se desarrollen de manera más eficiente y produzcan resultados superiores, efectos que se incrementan con el empleo de un portador orgánico. (Braun y Colla, 2023; Marín-Marín *et al.,* 2024).

Cuadro 3. Componentes del rendimiento: largo(cm), diámetro(cm) y peso(g) promedio de raíz tuberosa. Rendimiento de la raíz tuberosa (kg m^{-2}).

Tratamientos	LRT	DET	PPT	Rendimiento (kg m^{-2})
1	7.38	7.85 c	200.44 c	4.01 c
2	7.43	8.05 b	221.74 b	4.43 b
3	7.19	8.30 a	269.71 a	5.39 a
4	7.27	8.06 b	252.59 a	5.04 a
DSM_n	0.350*^{ns}	0.147*	20.40*	0.413*
CV (%)	4.85	5.76	5.62	6.60

ns (no significativa), (P≤ 0.05) *; (Diferencia significativa mínima). Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * (P≤ 0.05); DSMn (Diferencia significativa mínima); LRT: largo de raíz tuberosa; DET: diámetro ecuatorial de raíz tuberosa y PPT: peso promedio de raíz tuberosa.

CONCLUSIONES

La investigación permite concluir que la microalga *C. vulgaris*, estimula, el crecimiento y desarrollo del cultivo de betabel. Además, de una mayor eficiencia del mismo, en la conversión de la biomasa total en partes comestible en la raíz tuberosa. Por consecuencia un mayor rendimiento y tamaño del órgano de cosecha. De igual manera, contribuye a la mejora de los contenidos de M.O, pH y C.E del suelo. Efecto que se potencializa en todos los casos al combinarla con el portador de materia orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, I., Contreras, J., González, R., Acevedo, I., & García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 31(3), 325-340.

Apolinar, M., Lino, A., Dionisio, M. G., García, A., Rosas, C. y Diana Agustín, D. (comps.). 2018. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 2, Núm. 1, 1849 p.

Benedicto-Valdés, G. S., Montoya-García, C. O., Vicente-Hernández, Z., Ramírez-Ayala, C. y Escalante-Estrada, J. A. S. (2019). Incorporación de Abonos Orgánicos y Liberación de C-CO2 como Indicador de la Mineralización del Carbono. *Ecosist. Recur. Agropec*. 6(18):513-522, ISSN: 2007-9028 E. ISSN: 2007-901X, DOI:10.19136/era.a6n18.2022

Bonifaz, J. N. (2024). El Uso de la Remolacha como Colorante Vegetal. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 5 (9): 135-155. ISSN 2953-6367, http://revistainvestigo.com

Braun, J. C., y Colla, L. M. (2023). Use of microalgae for the development of biofertilizers and biostimulants. *BioEnergy Research*, 16(1): 289-310. DOI: https://doi.org/10.1007/s12155-022-10456-8

Casierra-Posada, F., y Pinto-Correa, J. R. (2011). Crecimiento de plantas de remolacha (Beta vulgaris L. var. Crosby Egipcia) bajo coberturas de color. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *64*(2), 6081-6091.

Chamizo, S, Mugnai, G, Rossi F, Certini G, De Philippis R. (2018). Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration. *Frontiers in Environmental Science*., 6:49.

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, (2010). Protocolo: Cultivó de Microalgas. Recuperado de https://www.academia.edu/8656000/ Protocolo-microalgas. (consultado 25/11/2025).

Gómez-Cipriano, et al., (2022);

Gómez-Cipriano, J., Zafra-Rojas, Q. Y., Cruz-Cansino, N. del S., Martínez-Román, M. E., Ramírez-Moreno, E. y García-Rosales, R. U. Uso del Betabel (Beta vulgaris) como Tratamiento Alternativo en la Anemia Ferropénica. (2022). Educación y Salud Boletín Científico, 10, (20): 160-166, ISSN: 2007-4573, https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/issue/archive

Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L. y Ortega-Díaz, Y. (2022). Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Tecnología Química*, 42 (1): 70-93. versión On-line ISSN 2224-6185

Hernández-Herrera, R. M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M. A. Ruiz-López, J. Norrie and G. Hernández-Carmona. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (Solanum lycopersicum L.). *J. Appl. Phycol.* 26(1):619-628.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). Compendio de información Tlatlauquitepec, Puebla. https://www.inegi.org.mx/temas/mg/ (consultado, 24/01/2025).

INIFAP, (2013). (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico Núm. 3, ISBN: 978-607-37-0188-4.

Koziel, W., K. Jaromin-Glen, C. Polakowski, A. Walkiewicz, et al. (2019). Effect of encapsulated and free-living cells of Chlorella vulgaris L. on nitrogen retention in soils. International Agrophysics, 33(1), pp. 127-136, doi: 10.31545/intagr/104415

Lino, A., Apolinar, M. y Arozarena, N. J. (2025). Efecto de Microalga (*Chorela vulgaris*) en la Fertilización Mineral y Órgano Mineral en Zanahoria (*Daucus carota* L.), en Invernadero. *Revista Tecnológica CEA*, 29 (1): 239- 253, ISSN 25940414, disponible en: www.revistateconologicacea.mx

Lino, A., Apolinar, M., Arozarena, N. J., González, P., J. y Zambrano, J. M. (2021). Evaluación del Efecto de Chorela vulgaris en la fertilización del Cilantro (Coriandrum Sativum L.), en Invernadero. Revista Ingeniantes; 2 (1): 39-45, ISSN 2395-9452.

Liu E, Yan C, Mei X, He W, Bing SH, Ding L, et al. (2010) Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.

Malpartida, R., Aldana, L., Sánchez, K., Gómez, L., and Lobo, J. (2022). El valor nutricional y compuestos bioactivos de la Espirulina: Potencial suplemento alimenticio. Ecuadorian Science Journal, 6(1), 42-51. https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133

Marín-Marín, C. A., Estrada, J. A., Delgado-Naranjo, J. M., Zapata-Ocampo, P. A., y Peñuela Vásquez, M. (2024). Cyanobacteria and microalgae as potential sources of biofertilizers: a review. *Actualidades Biológicas*, 46(120). https://doi.org/10.17533/udea.acbi/v46n120a06

Molazadeh, M., Ahmadzadeh, H., Pourianfar, H., Lyon, S., y Rampelotto, P. (2019). The use of microalgae for coupling wastewater treatment with CO2 biofixation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. doi:10.3389/ f bioe.2019.00042.

Monroy, N. E. (2023). Estudio de la Sinergia de los Compuestos Bioactivos y Nutricionales del Betabel (Beta vulgaris) en la Salud y la Ergogénia en la Actividad Física, Mediante la Construcción de un Mapa Biológico. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3776/MOONRR00T.PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Norrie, J. and J. P. Keathley. (2005). Benefits of Ascophyllum nodosum marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. Acta Hortic. 727(1):243-248.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). The Future of Food and Agriculture. (consultado, 26/11/2025). Disponible en: https://www.fao.org/home/es

Romo, A., K., (2002). Manual para el cultivo de microalgas (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma De Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México. UABCS 57 pp.

Rossi, F, Li H, Liu Y, De Philippis R. (2017). Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*, 171:28–43.

SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural), (2023). El betabel (Beta vulgaris), también conocido como remolacha o betarraga, es una hortaliza que se cultiva principalmente por su raíz, aunque sus hojas

verdes también son comestibles y se utilizan en algunas preparaciones culinarias. (Consultado, diciembre, 2025). Disponible en: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-betabel-un-tesoro-bajo-la-tierra-349725

Scavo, A., Fontanazza, S., Restuccia, A., Pesce, G. R., Abbate, C., y Mauromicale, G. (2022). The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 1-25. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00825-0

SEMARNAT (secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial (segunda sección).

Sohel, M. A. T., Hossain, M. A. E., Rahman, A. M. S., Shanta, F. H., y Rajib, M. R. R. (2021). Yield and Quality of Some Tropical Sugarbeet Genotypes Under Bangladesh Conditions. Bangladesh Agronomy Journal, 24(2), 55-61.