

Efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador

Agronomic and productive effect of biofertilization based on microalgae *Chaetoceros gracilis* and *Chlorella vulgaris* in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) in Pueblo Viejo, Ecuador

Guillermo Enrique García-Vásquez¹, Ana Ruth Álvarez-Sánchez², Danilo Javier Yáñez-Cajo²

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Agronomía, Mención Producción Agrícola Sostenible, Quevedo, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
Autor de correspondencia: aalvarezs@uteq.edu.ec

Recibido: 09/01/2023. Aceptado: 17/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

La demanda constante y en aumento de alimentos como el maíz obliga a los productores a hacer uso de fertilizantes químicos, lo cual provoca degradación del suelo, contaminación por metales pesados, repercusión en las comunidades microbianas y pone en alto riesgo la salud humana. Las microalgas pueden ser una alternativa potencial como bioestimulantes y biofertilizantes, por lo cual, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de las microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador. Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al azar (DBCA), para determinar la eficiencia de los tratamientos se utilizó la Prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Se estudiaron cuatro dosis de biofertilizantes a base de microalgas (5, 10, 15 y 20 mg planta⁻¹), tanto para *Chaetoceros gracilis* como para *Chlorella vulgaris*, además de usar un testigo experimental; se utilizaron 900 plantas de maíz por todo el experimento. Los resultados indicaron que, el tratamiento T4, donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* como biofertilizante, presentó los mejores resultados en altura de planta (220.1 cm), longitud de mazorca (18.17 ± 2.02 cm), número de hileras por mazorca (17.88 ± 1.36), número de granos por mazorca (652.16 ± 58.23), peso de la mazorca con tusa (295.03 ± 8.91 g) y el mayor rendimiento (9,144.33 kg ha⁻¹). El uso de *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ permitió mejorar las variables agronómicas y productivas del cultivo.

Palabras clave: agricultura, algas, bioestimulantes, cereal, gramínea.

Abstract

The constant and increasing demand for foods such as corn forces producers to use chemical fertilizers, which causes soil degradation, heavy metal contamination, repercussions on microbial communities, and puts human health at high risk. Microalgae can be a potential alternative as biostimulants and biofertilizers, which is why, the objective of this work was to determine the agronomic and productive effect of biofertilization based on microalgae *Chaetoceros gracilis* and *Chlorella vulgaris* in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) in Pueblo Viejo, Ecuador. A Completely Random Block Design (DBCA) was taken, to determine the efficiency of the treatments the Tukey Test was taken at 95% probability. Four doses of biofertilizers based on microalgae (5, 10, 15 and 20 mg plant⁻¹) were studied, both for *Chaetoceros gracilis* and for *Chlorella vulgaris*, in addition to using an experimental control; 900 plants of corn were used throughout the experiment. The results indicated that, treatment T4, where 20 mg plant⁻¹ of *Chaetoceros gracilis* was used as biofertilizer, presented the best results in plant height (220.1 cm), ear length (18.17 ± 2.02 cm), number of rows per ear (17.88 ± 1.36), number of grains per ear (652.16 ± 58.23), cob weight with cob (295.03 ± 8.91 g) and the highest yield (9,144.33 kg ha⁻¹). The use of *Chaetoceros gracilis* at a dose of 20 mg plant⁻¹ improved the agronomic and productive variables of the crop.

Keywords: agriculture, algae, biostimulants, cereal, grass.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta con una alta tasa de actividad fotosintética, teniendo el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día, siendo el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como ha sucedido con la aparición de los híbridos (Simón y Golik, 2018). Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total, además de tener gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano (uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen), como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Simón y Golik, 2018). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la Producción Mundial de Maíz 2022/2023 sería de 1,161.86 millones de toneladas (Producción Agrícola Mundial.com, 2022).

En Ecuador, la superficie cosechada de maíz en el 2021 fue de 305,986 hectáreas, con una producción nacional de 1,765,294 toneladas y un rendimiento promedio de 5.77 t ha⁻¹ (MAG, 2021). En cuanto a la participación en la producción nacional de maíz duro seco al 13% de humedad y 1% de impurezas, la provincia de Los Ríos aportó con 746,576 toneladas, seguida de Manabí con 595,683 toneladas, Loja con 201,552 toneladas, Guayas con 188,680 toneladas, Santa Elena con 24,395 toneladas y El Oro con 8,408 toneladas (MAG, 2021). En cuanto al rendimiento a nivel nacional, Los Ríos ocupó el primer lugar con 6.36 t ha⁻¹, Manabí con 6.21 t ha⁻¹, Santa Elena con 4.80 t ha⁻¹, Loja con 4.78 t ha⁻¹ y Guayas con 4.36 t ha⁻¹ (MAG, 2021).

Entre la problemática de la producción de maíz, se hace referencia a que los fertilizantes químicos provocan la degradación del suelo, principalmente por su alto contenido en metales pesados como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), derivando en la pérdida de sus características físicas y químicas (Sánchez *et al.*, 2021). Estos productos se acumulan en los suelos repercutiendo en las comunidades microbianas y poniendo en alto riesgo la salud humana (Sánchez *et al.*, 2021). Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1,900 millones de hectáreas en todo el mundo, incrementándose rápidamente a una tasa de 5 a 7 millones de hectáreas por año (Sánchez *et al.*, 2021). La demanda constante y en aumento de alimentos como el maíz obliga a buscar soluciones amigables con el suelo y mejorar su rendimiento (Sánchez *et al.*, 2021), como es el uso de microalgas.

Las microalgas son de gran interés para la industria agrícola, ya que tienen potencial como bioestimulantes (Tripathi *et al.*, 2008), biofertilizantes (Grageda-Cabrera *et al.*, 2018), y se pueden aplicar de diversas maneras, incluidas las hojas, como enmiendas del suelo y en la absorción de semillas (Marks *et al.*, 2017). Los bioproductos a base de algas incluyen una variedad de metabolitos y minerales que

estimulan el crecimiento y el rendimiento de las plantas, mejoran las propiedades biológicas del suelo y mejoran la productividad en condiciones de estrés abiótico y biótico, además de que contienen hormonas (García-Orellana *et al.*, 2016). Se pueden utilizar como una alternativa económica en la producción de diversos cultivos y permiten una agricultura sostenible (Abdel-Raouf *et al.*, 2012). Su uso reduce la aplicación de productos químicos y protege el medio ambiente (Barclay y Apt, 2013).

Entre las microalgas dulceacuícolas, *Chlorella* es uno de los géneros más estudiados (Borowitzka, 2018), describiéndose hasta la fecha unas 44 especies, al menos cinco de gran interés comercial: *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa* (Gómez-Luna *et al.*, 2022), *C. ellipsoidea* (Park *et al.*, 2007), *C. sorokiniana* (De Bashan *et al.*, 2008) y *C. kessleri* (Faruque *et al.*, 2020). Las microalgas del género *Chaetoceros* se usan como alimento de varias especies zoológicas de la cadena trófica marina, también son utilizadas en la agricultura por sus grandes propiedades (Panta *et al.*, 2016).

Es por ello que, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la inoculación de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en los parámetros agronómicos y productivos. La importancia de generar esta investigación radica en dar alternativas no químicas para mejorar la producción en el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Localización

El presente trabajo se realizó en el Cantón Pueblo Viejo, Provincia de los Ríos, con coordenadas geográficas 79°31' de longitud oeste y 01°32' de latitud sur. El trabajo fue realizado del 06 de enero hasta el 21 de mayo del 2021.

Preparación de los inóculos de microalgas

Las cepas de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* se cultivaron en botellas de 2 L de capacidad conteniendo 1,000 mL de medio de cultivo, las cuales fueron colocadas en un estante sometidas a un ciclo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, y mantenidas a una temperatura promedio ambiental de 22.4 ± 0.69 °C y del agua de 22.7 ± 1.20 °C. Las botellas contenían agua de mar clorada y filtrada con 35 unidades de salinidad, aireadas constantemente y enriquecidas con los nutrientes de los medios de cultivo descritos por Lourenco *et al.* (2002). Las microalgas fueron concentradas por centrifugación.

Tratamientos

Se estudiaron cuatro dosis de biofertilizantes a base de microalgas (5, 10, 15 y 20 mg planta⁻¹), tanto para *Chaetoceros gracilis* como para *Chlorella vulgaris*, además de usar un control negativo (testigo experimental): T0 (control negativo), T1 (*Chaetoceros gracilis* 5 mg planta⁻¹), T2 (*Chaetoceros*

gracilis 10 mg planta⁻¹), T3 (*Chaetoceros gracilis* 15 mg planta⁻¹), T4 (*Chaetoceros gracilis* 20 mg planta⁻¹), T5 (*Chlorella vulgaris* 5 mg planta⁻¹), T6 (*Chlorella vulgaris* 10 mg planta⁻¹), T7 (*Chlorella vulgaris* 15 mg planta⁻¹), T8 (*Chlorella vulgaris* 20 mg planta⁻¹). La inoculación de las plantas fue realizada a los 15, 30 y 60 días después de la siembra.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al azar (DBCA). Se realizaron 5 repeticiones con 20 plantas por unidad experimental con un total de 100 plantas por tratamiento y 900 plantas por todo el experimento. Para determinar la eficiencia de los tratamientos se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples de Tukey al 95% de probabilidad. El software estadístico utilizado fue Minitab 19.

Manejo del experimento

Se empleó semillas del híbrido de maíz Emblema, el cual resiste las condiciones agroclimáticas de la zona cultivada. Una semana antes de la siembra, se realizaron dos pases de rastra en ambos sentidos a fin de dejar el terreno bien mullido, para de este modo facilitar la germinación de la semilla y el desarrollo radicular. La siembra fue de forma manual en hoyos de aproximadamente 4 - 5 cm de profundidad, depositando una semilla por sitio, siguiendo el marco de plantación de 0.20 metros entre plantas y 0.80 metros entre hileras. El control de malezas fue por remoción mecánica cada 15 días, la fertilización se realizó como lo describe Vera (2013). El control de plagas estuvo sujeto a la aplicación de Thiodicarb (Semevin®) en dosis de 20 mL por kg de semilla al momento de la siembra, a los 12 días después de la siembra se aplicó Spinetoram (Radiant®) en dosis de 100 mL ha⁻¹ + Imidacloprid (Imidalaq®) en dosis de 200 mL ha⁻¹ y a los 25 días después de la siembra se aplicó Benzoato de emamectina (Tejo®) en dosis de 200 g ha⁻¹. El control preventivo de enfermedades se realizó a los 25 días después de la siembra con la aplicación de Azoxystrobin + Difenconazole (Amistar top®) en dosis de 350 mL ha⁻¹.

Variables evaluadas

Las variables agronómicas evaluadas fueron: altura de planta medida a los 30 y 60 días después de la siembra, días a floración, días a cosecha, biomasa seca. Las variables productivas evaluadas fueron: longitud de mazorca, número de mazorcas por planta, número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca, peso de mazorca con tusa. Y finalmente, el rendimiento por hectárea (Cedeño *et al.*, 2018). Considerando el rendimiento de cada parcela (regla de tres simple) determinando el peso de los granos ajustado al 13% de humedad empleando la siguiente fórmula:

$$Pu = \frac{Pa(100 - Ha)}{100 - Hd}$$

Dónde:

Pu = Peso uniformizado (kg)

Pa = Peso actual (kg)

Ha = Humedad actual (%)

Hd = Humedad deseada (%)

Resultados y discusión

Los resultados de la altura de planta a los 30 y 60 días después de la siembra mediante la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz se describen en la Figura 1. Donde, los tratamientos que contenían inóculos con microalgas fueron comparados con el testigo (sin inóculo). Observando que, a los 30 días de muestreo no hubo diferencias significativas ($p \geq 0.084$) entre los tratamientos, no obstante, en los datos obtenidos a los 60 días se observa que los tratamientos T4 y T8, correspondientes a *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en dosis de 20 mg planta⁻¹ obtuvieron las mayores alturas (220.1 cm y 215.9 cm, respectivamente), resultados estadísticamente significativos ($p \leq 0.002$), observando una respuesta exponencial al aumentar la dosis aplicada. Nuestros resultados indican que la aplicación de microalgas permite incrementar la altura de las plantas de maíz, y concuerda con Zermeño-González *et al.* (2015), quienes realizaron la fertilización del cultivo de maíz con productos biológicos a base de algas marinas, y constataron en la primera evaluación (71 dds), que las plantas fertilizadas biológicamente fueron 17.3% más altas que las plantas sin aplicaciones; en la segunda evaluación (99 dds) la diferencia de altura fue 7.7% en las plantas con fertilización biológica. Además, nuestros resultados son similares a los reportados por Martínez *et al.* (2018), donde la biofertilización con bacterias benéficas a base de *Azospirillum brasilense* + 80-23-15 de N-P-K y *Azospirillum brasilense* + 160-46-30 de N-P-K tuvieron mayores alturas en comparación con el tratamiento control. En rangos similares a Arellano *et al.* (2013) y Arellano *et al.* (2014), con 245 - 218 cm y 283 - 178 cm respectivamente, en maíz azul sembrado en diferentes localidades y fertilizado químicamente. No obstante, nuestros resultados son menores a los reportados por Hernández-Reyes *et al.* (2019), quienes encontraron una altura de planta de 305 cm y 18.3 hojas con biofertilización a base de cianobacterias.

Referente a los días a floración, se observó que el tratamiento T4, donde se utilizó *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹, floreció en menos días con relación a los demás tratamientos, valores estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) (Tabla 1), encontrando un promedio de 64.55 días a floración, resultados menores a los reportados por Gutiérrez *et al.* (2004), quienes al utilizar híbridos de maíz en la Comarca Lagunera (México) obtuvieron un valor promedio de días a floración de 67.22 días. No obstante, nuestros resultados son superiores a los reportados por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009),

quienes determinaron el rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población y encontraron una floración que osciló entre 52 y 57 días. Los días a cosecha en general fueron de 125 días (Tabla 1), datos superiores a los reportados por Núñez *et al.* (2001) para híbridos de maíz en la producción de forraje verde y seco en el norte de México, cuyo mayor valor de días a cosecha fue de 108 días. Kette *et al.* (2022), en su experimento cosecharon en 117 días los híbridos de maíz tardío. En el parámetro de biomasa seca, el tratamiento T4, biofertilizado con *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ obtuvo el mayor promedio (372 ± 9.04 g planta⁻¹), resultado estadísticamente significativo (p≤0.05) (Tabla 1). Nuestros resultados son menores a los obtenidos por Zermeño-González *et al.* (2015), quienes aplicaron al cultivo de maíz fertilizantes derivados de extractos de algas marinas, donde el peso seco promedio de las plantas tratadas fue de 405.6 g planta⁻¹. Medina *et al.* (2022), indican que,

la mayor parte de la producción de biomasa depende de las características genéticas de las variedades, combinadas con factores ambientales, en este caso, la distancia entre plantas afecta la cantidad de energía lumínica que incide sobre el follaje. Así, Hernández y Soto (2013), explican que la producción de materia seca es el resultado de la eficiencia del follaje de los cultivos en captar y aprovechar la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento. No obstante, las variaciones de biomasa seca entre los híbridos de maíz pueden ser influenciadas por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta y la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo de cultivo (Medina *et al.*, 2022).

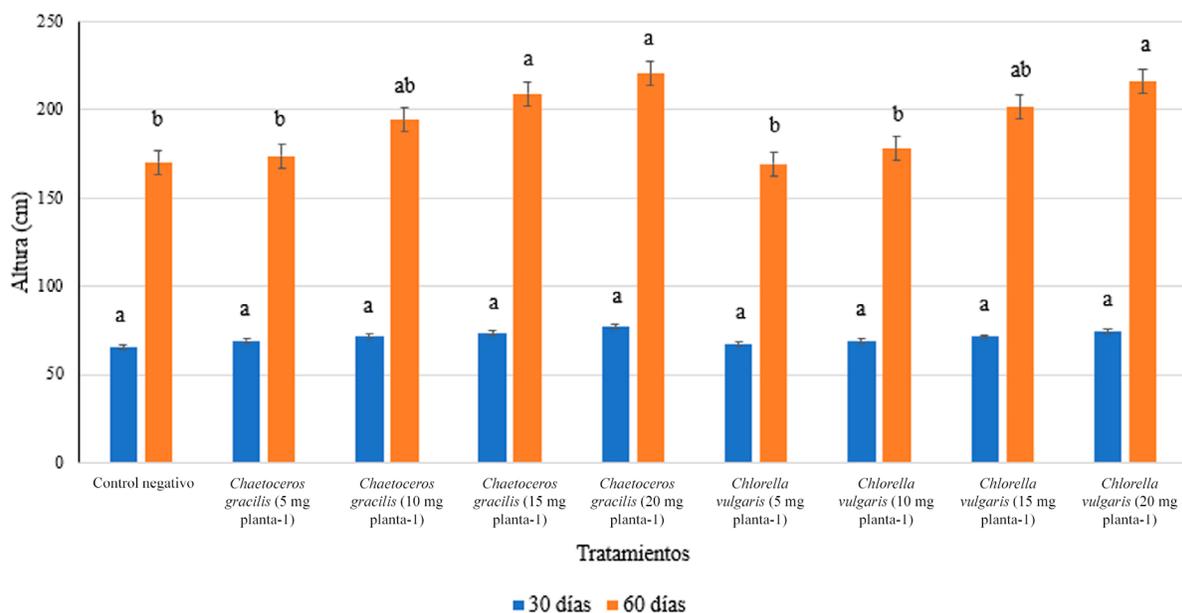


Figura 1. Altura de planta a los 30 y 60 días después de la siembra en respuesta a la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz. Medias con letra diferente en una columna para cada experimento son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05)

Tabla 1. Días a floración, días a cosecha y biomasa seca con la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	Días a floración	Días a cosecha	Biomasa seca (g planta ⁻¹)
T0	Control negativo	66 ± 2.25a ¹	125	316 ± 4.32c ¹
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	66 ± 2.03a	125	323 ± 7.08c
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.96a	125	336 ± 5.22b
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	64 ± 2.11a	125	348 ± 8.16b
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	62 ± 1.25b	125	372 ± 9.04a
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.63a	125	319 ± 4.33c
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.83a	125	328 ± 5.51bc
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.45a	125	337 ± 5.02b
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	63 ± 2.01ab	125	346 ± 4.16b

¹Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para p≤0.05

El tratamiento T4 donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* como biofertilizante en el cultivo de maíz presentó los mejores resultados en longitud de mazorca (18.17 ± 2.02 cm), número de hileras por mazorca (17.88 ± 1.36), número de granos por mazorca (652.16 ± 58.23), peso de la mazorca con tusa (295.03 ± 8.91 g), resultados estadísticamente significativos (p ≤ 0.05). Se obtuvo una mazorca por planta, resultado que no varió entre los tratamientos (Tabla 2).

Quiroz *et al.* (2017), encontraron que la longitud de mazorca disminuye a medida que la densidad de población aumenta, de igual manera, Mera y Montaña (2015), indican que la longitud de mazorca disminuye conforme aumenta la densidad de siembra. Nuestros resultados de longitud de mazorca son similares a los obtenidos por Díaz *et al.* (2009), quienes realizaron la evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz en dos localidades de la provincia de Los Ríos, y obtuvieron valores entre 18.41 - 15.50 cm para híbridos y 18.14 - 15.37 cm para localidades. Además, los resultados que obtuvimos en cuanto a longitud de mazorca, son superiores a los encontrados por Ayvar-Serna *et al.* (2020), quienes evaluaron la rentabilidad de sistemas

de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica (*Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*) y química (N-P-K) en trópico seco, y obtuvieron valores entre 16.80 - 15.30 cm para híbridos y 16.40 - 15.50 cm para fertilización química + biológica y fertilización química. Callava (2020), manifiesta que el número de hileras por mazorca es un carácter regido principalmente por el genotipo, y es poco variable a las condiciones ambientales. Nuestros resultados se asemejan a lo reportado por Endicott *et al.* (2015), quienes indican que la mayoría de los híbridos de madurez media promedian 14, 16 o 18 hileras de granos. Aguilar *et al.* (2022), evaluaron la rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química (N-P-K) y biológica (*Rhizophagus irregularis*), y obtuvieron un número de granos por mazorca entre 578 - 447 granos, valores inferiores a los obtenidos en este trabajo. En cuanto al peso de la mazorca con tusa, nuestros resultados fueron superiores a los obtenidos por Roca (2019), quien evaluó la respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias, y encontró valores entre 230.53 - 187.83 g.

Tabla 2. Parámetros productivos con la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	Longitud de mazorca (cm)	Número de mazorcas por planta	Número de hileras por mazorca	Número de granos por mazorca	Peso de mazorca con tusa (g)
T0	Control negativo	13.59 ± 1.03c ¹	1	13.23 ± 0.93c ¹	510.13 ± 24.33bc ¹	215.69 ± 3.21d ¹
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	16.21 ± 1.39b	1	14.2 ± 1.11bc	518.71 ± 51.16b	236.89 ± 4.05c
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	16.88 ± 1.27b	1	15.47 ± 1.24b	529.53 ± 36.12b	249.27 ± 7.11c
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	17.62 ± 1.14ab	1	16.01 ± 1.42ab	558.44 ± 31.19b	275.55 ± 9.26b
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	18.17 ± 2.02a	1	17.88 ± 1.36a	652.16 ± 58.23a	295.03 ± 8.91a
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	15.34 ± 1.16b	1	14.66 ± 1.02b	518.22 ± 39.66b	211.33 ± 8.04d
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	16.91 ± 1.97ab	1	15.01 ± 1.33b	541.13 ± 43.37b	222.19 ± 7.44d
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	17.03 ± 1.55ab	1	15.23 ± 0.87b	578.77 ± 32.5b	241.06 ± 6.84c
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	17.8 ± 2.19ab	1	16.02 ± 1.24ab	620.44 ± 47.01a	272.36 ± 8.33b

¹Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para p ≤ 0.05

Tabla 3. Rendimiento (kg ha⁻¹) como resultado de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	kg ha ⁻¹
T0	Control negativo	7,420.98
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	7,644.62
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	7,819.65
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	8,093.24
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	9,144.33
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	7,526.81
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	7,728.55
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	8,373.06
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	8,977.11
Promedio general		8,080.93
Coefficiente de variación (%)		0.83

Los resultados de rendimiento indicaron que los tratamientos T4 y T8, donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* como biofertilizante, obtuvieron los mayores rendimientos de maíz (9,144.33 kg ha⁻¹ y 8,977.11 kg ha⁻¹, respectivamente) (Tabla 3). Los resultados de rendimiento obtenidos son consistentes con los reportados por Del Carpio *et al.* (2021), quienes al utilizar aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú obtuvieron un mayor rendimiento ($79.29 \pm 7.33 \cdot 10^3$ kg ha⁻¹). De Matos Nascimento *et al.* (2020), indican que la aplicación de un biofertilizante tiene una influencia positiva en el rendimiento del cultivo de maíz. Obid *et al.* (2016), informan que aplicar un biofertilizante con microorganismos tiene un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de maíz. Además, Panchal *et al.* (2018), reportan que aplicar un biofertilizante incrementa el rendimiento del cultivo de maíz, además ocasiona el incremento en número y peso de mazorca de maíz, asimismo el biofertilizante incrementó la población de microorganismos en torno al cultivo de maíz. Tejada *et al.* (2016), informan un incremento en el rendimiento del 17% por la aplicación de un biofertilizante al cultivo de maíz. Además, Islas-Valdez *et al.* (2017), reportan un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de cebada al aplicar un biofertilizante obtenido a partir de residuos orgánicos. Estos resultados se deben a que las microalgas al igual que otros microorganismos utilizados como biofertilizantes contienen un gran valor nutricional (Singh *et al.*, 2016) que puede ser

aprovechado por la planta, ayudando a mejorar las variables agronómicas de los cultivos (Ao *et al.*, 2016; Umesha *et al.*, 2018).

Conclusiones

Las microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* pueden ser utilizadas como biofertilizante para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), sobre todo *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ con beneficios en la mejora de las variables agronómicas y productivas del cultivo.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 9na Convocatoria, a través del proyecto “Efecto agronómico de la biofertilización edáfica a base de algas y microalgas en cultivos de hortalizas”.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A., & Ibraheem, I. (2012). Agricultural importance of algae. *African Journal of Biotechnology*, 11(54), 11648–11658. doi: 10.5897/AJB11.3983
- Aguilar, C., Arriaga, L., Cervantes, Y., Arenas-Julio, Y., & Escalante-Estrada, J. (2022). Rentabilidad y producción

- del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria*, 32: 1-13 doi: <https://doi.org/10.15174/au.2022.3285>
- Ao, A., So, O., & Oe, O. (2016). Effect of cow dung on soil physical properties, growth and yield of maize (*Zea mays*) in a tropical Alfisol. *Scientia Agriculturae*, 15(2), 374-379. doi: 10.15192/PSCP.SA.2016.15.2.374379
- Arellano, J., Rojas, I., & Gutiérrez, G. (2013). Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(7), 999-1011.
- Arellano, J., Rojas, I., & Gutiérrez, G. (2014). Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1469-1480.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Barclay, W., & Apt, K. (2013). Strategies for Bioprospecting Microalgae for Potential Commercial Applications. En: *Handbook of Microalgal Culture*, Oxford: John Wiley Sons, Ltd. p. 69. doi: 10.1002/9781118567166.ch4
- Borowitzka, M. (2018). Biology of Microalgae. En: Ira A. Levine, Joël Fleurence. *Microalgae in Health and Disease Prevention*, Academic Press. p. 23. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>
- Callava, S. (2020). Caracterización morfológica y selección de diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.) (Trabajo de Intensificación de Ingeniería Agronómica). Repositorio digital de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 44 p. Obtenido de <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5235>
- Cedeño, F., Cargua, J., Cedeño, J., Mendoza, J., López, G., & Cedeño, G. (2018). Aplicación foliar de micronutrientes y fitoreguladores como complemento de la fertilización edáfica en maíz amarillo duro. *La Técnica: Revista de las Agrociencias* (19): 19-30.
- De Bashan, L., Trejo, A., Huss, V., Hernandez, J., & Bashan, Y. (2008). *Chlorella sorokiniana* UTEX 2805, a heat and intense, sunlight-tolerant microalga with potential for removing ammonium from wastewater. *Bioresource Technology*, 99(11), 4980-4989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.065>
- De la Cruz-Lázaro, E., Córdova-Orellana, H., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J., Gómez-Vázquez, A., & Brito-Manzano, N. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 93-98.
- Del Carpio, M., Ancco, M., Linares, A., Ancco-Loza, R., & Jimenez, H. (2021). Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 26-36. doi: 10.18271/ria.2021.229
- De Matos Nascimento, A., Maciel, A., Gonçalves, J., Vieira, H., Romário de Paula, V., & Otenio, M. (2020). Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air & Soil Pollution*, 231(8): 414. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>
- Díaz, G., Sabando, F., Zambrano, S., & Vásconez, G. (2009). Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. *Ciencia y Tecnología*, 2(1), 15-23. doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v2i1.79>
- Endicott S., Brueland B., Keith R., Schon R., Bremer C., Farnham D., *et al.* (2015). Maíz: crecimiento y desarrollo. Iowa, Estados Unidos: Pioneer, p. 20. Obtenido de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Faruque, M., Mohammed, K., Hossain, M., & Razzak, S. (2020). Simultaneous biological nutrient removal from municipal wastewater and CO₂-biofixation using *Chlorella kessleri*. *Research Square*: 1-20. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-41636/v1>
- García-Orellana, Y., Soto, G., Tafur, V., Simbaña, A., Tello, E., & Brito, J. (2016). Efecto de un Fertilizante Orgánico Microalgal en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 34: 33-39.
- Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L., & Ortega-Díaz, Y. (2022). Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Tecnología Química*, 42(1), 70-93.
- Gutiérrez, E., Espinoza, A., Palomo, A., Lozano, J., & Antuna, O. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(Es1), 7-11.
- Grageda-Cabrera, O., González-Figueroa, S., Vera-Nuñez, J., Aguirre-Medina, J., & Peña-Cabriaes, J. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 281-289. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1071>
- Hernández, N., & Soto, F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 24-29.
- Hernández-Reyes, B., Rodríguez-Palacio, M., Castilla-Hernández, P., Sánchez-Robles, J., Vela-Correa, G., & Schettino-Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de

- cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10(1), 13-27.
- Islas-Valdez, S., Lucho-Constantino, C., Beltrán-Hernández, R., Gómez-Mercado, R., Vázquez-Rodríguez, G., Herrera, J., & Jiménez-González, A. (2017). Effectiveness of rabbit manure biofertilizer in barley crop yield. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 25731-25740. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5665-2>
- Kette, L., Maceda, N., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R., & Quiroga, A. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura en tres momentos de secado sobre uso consuntivo del agua, dinámica de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz tardío. *Semiárida*, 32(1), 41-52. doi: [https://doi.org/10.19137/semiárida.2022\(01\).41-52](https://doi.org/10.19137/semiárida.2022(01).41-52)
- Lourenco, S., Barbarino, E., Mancini-Filho, J., Schinke, K., & Aida, E. (2002). Effects of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in batch culture: an evaluation for aquaculture. *Phycologia*, 41(2), 158-168. doi: [10.2216/i0031-8884-41-2-158.1](https://doi.org/10.2216/i0031-8884-41-2-158.1)
- MAG. (2021). Maíz (en línea, sitio web). Consultado 8 oct. 2022. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/maiz>
- Marks, E., Miñón, J., Pascual, A., Montero, O., Navas, L., & Rad, C. (2017). Application of a microalgal slurry to soil stimulates heterotrophic activity and promotes bacterial growth. *Science of the Total Environment*, 605-606: 610-617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.169>
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Llaven, J., & Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37. doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Medina, M., Arrieta, B., Jiménez, V., & Pérez, K. (2022). Topological arrangements in the intercropping of maize and bean in the state of Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1), 45-57. doi: [10.5154/r.rchsat.2022.02.04](https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2022.02.04)
- Mera, A., & Montaña, C. (2015). Evaluación de arreglos espaciales y densidades poblacionales en híbridos de maíz comercial en zonas de bosque tropical seco durante la época lluviosa (Tesis de Ingeniería Agrícola y Biológica). Repositorio digital de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 71 p. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89284/D-88081.pdf>
- Núñez, G., Faz, R., Tovar, M., & Zavala, A. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), 77-88.
- Obid, S., Idris, A., & Ahmed, B. (2016). Effect of Bio-fertilizer on Growth and Yield of Two Maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(4), 313-317. doi: [10.21276/sjavs.2016.3.4.9](https://doi.org/10.21276/sjavs.2016.3.4.9)
- Panchal, B., Patel, V., Patel, K., & Khimani, R. (2018). Effect of Biofertilizers, Organic Manures and Chemical Fertilizers on Microbial Population, Yield and Yield Attributes and Quality of Sweetcorn (*Zea mays* L., saccharata) cv. Madhuri. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(09), 2423-2431. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.301>
- Panta, R., Macay, A., Moncayo, E., & Vélez, J. (2016). Crecimiento de las microalgas *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana* con fertilizantes agrícolas, en laboratorio. *La Técnica*, (16): 44-55.
- Park, Y., Je, KW., Lee, K., et al. (2007). Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by co-inoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*, 598(1), 219-228. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9152-8>
- Producción Agrícola Mundial.com (2022). Producción Mundial de Maíz 2022/2023. Boletín informativo (en línea, sitio web). Consultado 8 oct. 2022. Obtenido de <http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/maiz.aspx>
- Quiroz, J., Pérez, D., González, A., Rubí, M., Gutiérrez, F., Franco, J., & Ramírez, J. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535.
- Roca, C. (2019). Respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias en la parroquia La Esperanza del cantón Quevedo (Tesis de Ingeniería Agronómica). Repositorio digital de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 88 p. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3631>
- Sánchez, E., Castañeda, D., Baez, A., & Morales, Y. (2021). Rizobacterias para el mejoramiento del cultivo de maíz (*Zea mays*). Una tecnología prometedora para la producción de maíces criollos. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP)*, 6(23):72-92. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5501662>
- Simón, M., & Golik, S. (2018). Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. En: *Cereales de verano*, Argentina, Editorial de la Universidad de La Plata. p. 10. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Maria-Simon-8/publication/346045854_cereales_de_verano_2018/links/5fb83e7f299bf104cf6556e4/cereales-de-verano-2018.pdf#page=10.
- Singh, M., Dotaniya, M., Mishra, A., Dotaniya, C., Regar, K., & Lata, M. (2016). Role of biofertilizers in conservation agriculture. En: *Conservation Agriculture: An Approach to Combat Climate Change in Indian Himalaya*, Springer,

- Singapore. p. 113. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2558-7_4
- Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Gómez, I., Franco-Andreu, L., Benítez, C., & Parrado, J. (2016). Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy*, 78: 13-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.014>
- Tripathi, R., Dwivedi, S., Shukla, M., Mishra, S., Srivastava, S., Singh, R., Rai, U., & Gupta, D. (2008). Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Chemosphere*, 70(10), 1919–1929. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.07.038
- Umesha, S., Singh, P., & Singh, R. (2018). Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. En: Ram Lakhani Singh, Sukanta Mondal. *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies*, Woodhead Publishing. p. 185. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4>
- Vera, M. (2013). Evaluación de varios programas de fertilización edáfica en dos híbridos de maíz (2B707 y 2B604) en la zona Quevedo durante la época de verano (Tesis de Ingeniería en Horticultura y Fruticultura). Repositorio digital de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 100 p. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4586/1/T-UTEQ-025.pdf>
- Zermeño-González, A., Cárdenas-Palomo, J., Ramírez-Rodríguez, H., Benavides-Mendoza, A., Cadena-Zapata, M., & Campos-Magaña, S. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12): 2399-2408.

