

# Biofertilización a base de efluentes dulceacuícolas y microalgas sobre la productividad y calidad del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

López-Cruz R.<sup>1,2</sup>, Santos-Cárdenas M.V.<sup>1</sup>, Becerra-Zamorano C.C.<sup>1</sup>, Ponce-Contreras M.<sup>1</sup>, Rodríguez-Flores R.<sup>1</sup> y Calderón-Santoyo M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de la Costa, División de Ciencias Agropecuarias, Carretera Santiago-Entronque Internacional No. 15 km 5, C.P. 63300, Santiago Ixcuintla, Nay., México, rlopez@utdelacosta.edu.mx

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Av. Tecnológico 2595, C.P. 63195, Col. Lagos del country, Tepic, Nay., México, mcalderon@tepic.tecnm.mx

## Resumen

El objetivo de la investigación consistió en evaluar la biofertilización a base de efluentes dulceacuícolas y microalgas *Chlorella* sp. sobre la productividad y calidad post cosecha en el cultivo de jitomate. Se evaluó la aplicación foliar de los tratamientos: efluentes dulceacuícolas al 50%, microalgas al 10%, combinación de efluentes al 50% y microalgas al 10%, y testigo con agua de riego sobre el desarrollo agronómico, la productividad y parámetros fisicoquímicos de los frutos. Se utilizó un diseño completamente al azar, donde cada tratamiento consistió en 4 réplicas de 10 plantas cada una. Los resultados mostraron que la aplicación foliar de los tratamientos no alteró el desarrollo agronómico del cultivo. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la altura de las plantas y número de racimos. El tratamiento de microalgas al 10% aumentó la productividad, tanto en cantidad acumulada, número de frutos y diámetro polar. No se encontró un efecto significativo de la combinación de efluentes y microalgas en la productividad del fruto. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los parámetros de acidez titulable, pH, y SST. Sin embargo, la aplicación de efluentes y microalgas disminuyeron de manera significativa los cambios de color durante el almacenamiento. Las microalgas *Chlorella* sp. representan un potencial de uso como biofertilizantes o bioestimulantes en cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero, como una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos.

**Palabras clave**— Biofertilizantes, efluentes dulceacuícolas, jitomate, microalgas.

# Biofertilization based on aquaculture effluents and microalgae on the productivity and quality of tomato crops (*Solanum lycopersicum* L.)

## Abstract

This work aimed to evaluate the biofertilization using freshwater from aquaculture effluents and the microalgae *Chlorella* sp. on productivity and postharvest quality in tomato crops. Foliar application of the following treatments was evaluated: 50% aquaculture effluent, 10% microalgae, a combination of 50% effluents and 10% microalgae, and irrigation water as a control, on the agronomic growth, productivity, and physicochemical parameters of the fruits. A completely randomized design was used, with each treatment consisting of four replicates of 10 plants per replicate. The results showed that foliar application of effluents or microalgae treatments did not modify the agronomic development of the crop. No significant differences were observed between treatments in plant height and bunch number. The 10% microalgae treatment increased productivity, in terms of cumulative quantity, number of fruits, and polar diameter. No significant effect of the combination of effluents and microalgae on fruit productivity was found. No significant differences were found between treatments in titratable acidity, pH, and TSS. However, the application of effluents and microalgae significantly reduced color changes during storage. The microalgae *Chlorella* sp. represent potential use as biofertilizers or biostimulants in tomato cultivation under greenhouse conditions, as a sustainable alternative to chemical fertilizers.

**Keywords**— Aquaculture effluents, biofertilizers, microalgae, tomato.

## I. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, por su versatilidad en la alimentación, su valor económico y nutricional [1]. Es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas mundialmente [2].

La alta demanda de esta hortaliza ha impulsado que se cultive bajo sistemas intensivos, en donde predomina el uso excesivo de agroquímicos. Sin embargo, los fertilizantes químicos generan efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente [3], contribuyendo a la eutrofización, a la contaminación de aguas subterráneas, degradación de suelos y

ecosistemas, trayendo consigo desequilibrios biológicos y reducción a la biodiversidad [4], [5]. Además, incrementan los costos de producción por los precios elevados de los agroquímicos [6].

Por lo tanto, existe la necesidad de reemplazar los fertilizantes químicos con tecnologías innovadoras amigables con el medio ambiente que mejoren el rendimiento y calidad de los cultivos [7].

Los bioestimulantes y biofertilizantes son considerados una alternativa ecológica viable y sostenible para la sustitución de los productos químicos. Promueven un entorno microbiológico adecuado, mejoran el rendimiento, calidad y vida útil de los productos cosechados, además de favorecer la tolerancia al

estrés abiótico [8], [9]. En estudios recientes, las microalgas han sido utilizadas como una fuente de biofertilizantes y bioestimulantes para incrementar la producción de diversos cultivos [10], [11], [12].

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos con gran potencial de uso biotecnológico en diferentes sectores, destacando la agricultura [13]. Géneros de microalgas como *Chlorella*, *Acutodesmus*, *Scenedesmus*, entre otros, han sido estudiados con acción bioestimulante [8], [9], [11].

Por otra parte, los efluentes dulceacuícolas han sido utilizados en sistemas acuapónicos debido al aporte nutrimental que ofrece. Contienen desechos orgánicos de los peces ricos en nutrientes, los cuales pueden ser absorbidos por las plantas contribuyendo a la nutrición de manera natural [14]. La aplicación de efluentes y microalgas ofrece una alternativa sostenible que puede disminuir los costos de producción, sin afectar el rendimiento y la producción del cultivo [15].

La aplicación foliar de nutrientes es una estrategia de manejo agronómico para maximizar los rendimientos de los cultivos. Existen reportes donde se menciona que la aplicación foliar es una alternativa para resolver problemas de nutrición de manera rápida. Diversos investigadores reportan que los bioestimulantes son de gran importancia en la nutrición foliar. Plaza *et al.* [16], reportaron que extractos de microalgas se asimilan fácilmente a través de los estomas y poros de cutículas cuando estos están abiertos. Esta estrategia es un complemento de la fertilización del suelo. Las aplicaciones de nutrientes al suelo permiten su absorción por las raíces de las plantas y son trasladados a la parte aérea. Las aplicaciones edáficas no son suficientes, debido a las limitaciones físicas y químicas que tiene el suelo [3]. En la aplicación foliar, los nutrientes penetran en la cutícula de la hoja para posteriormente ingresar a la célula. Por lo tanto, la respuesta en el cultivo ocurre en poco tiempo en comparación a la aplicación al suelo [10].

El objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación de efluentes dulceacuícolas y una cepa de microalgas *Chlorella* sp. en el desarrollo agronómico, rendimiento y parámetros de calidad postcosecha del cultivo de jitomate.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Producción de Microalgas

Se utilizó una cepa de microalga *Chlorella* sp. la cual fue obtenida de estanques de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), purificada y conservada en laboratorios de la Universidad Tecnológica de las Costa. Para la obtención de biomasa, se preparó un medio de cultivo a base del fertilizante comercial Bayfolan® Forte (Bayer, Leverkusen, Alemania) a una concentración de 1 ml/L en biorreactores de vidrio de 19 L de capacidad con 15 L de agua corriente previamente filtrada. Se inocularon los biorreactores ajustando su concentración a  $2 \times 10^4$  células/mL. Los cultivos se mantuvieron con aireación e iluminación constante durante 6 días. La iluminación fue suministrada con lámparas led (54 W, 4000 lm) y la aireación con un aireador silencioso para acuario HAILEA Aco-9720 (Guangdong, China). El crecimiento de microalgas se determinó mediante conteo en cámara de neubauer y

observación al microscopio (Digital Motic, NJ, EUA), realizando conteos a intervalos fijos de 24 horas hasta alcanzar la fase estacionaria ( $6.4 \times 10^6$  células/mL).

### B. Obtención de Efluentes Dulceacuícolas

Los efluentes se obtuvieron de estanques de cultivo de tilapia nilotica-aureus (Laboratorio Acuacorita, México). El cultivo de peces inició con un peso promedio de 1.2 g, sembrados en estanques de geomembrana de 63 m<sup>3</sup> a una densidad de población inicial de 32 organismos/m<sup>3</sup> de agua. Se realizó un desdoble a los seis meses para ajustarla a 22 organismos/m<sup>3</sup> de agua. Los peces fueron alimentados dos veces al día con un alimento balanceado de pellets flotantes marca El Pedregal (Toluca, México). Se realizaron biometrías semanales considerando talla y peso para calcular el crecimiento y realizar el ajuste de la cantidad de alimento a suministrar. Para la obtención de los efluentes dulceacuícolas se abrió una válvula de la parte inferior del estanque y se recolectaron los efluentes en un pozo de donde fueron tomados para hacer las aplicaciones correspondientes. El aporte nutrimental de los efluentes dulceacuícolas se presenta en la Tabla 1.

TABLA I  
APORTE NUTRIMENTAL DE LOS EFLUENTES DULCEACUÍCOLAS

Nutriente	Concentración (ppm)
Nitrógeno total (N)	21.0
Fósforo (P)	180.0
Potasio (K)	180.0
Calcio (Ca)	20.9
Magnesio (Mg)	12.7
Sodio (Na)	32.1
Zinc (Zn)	0.4
Cobre (Cu)	2.7
Boro (B)	2.1
Azufre (S)	15.6

### C. Establecimiento del Cultivo y Aplicación de Tratamientos

Se utilizó semilla de jitomate Saladette de la variedad SV8579TE (Seminis, CDMX, México). El jitomate fue sembrado en charolas de plástico de 242 cavidades, puesto en condiciones de oscuridad y temperatura ambiente hasta la germinación de las semillas. 10 días después se trasladaron las plántulas a un invernadero donde se aplicaron fungicidas azoxystrobin + difenoconazol + metaxalil (Indiapac, Ciudad Obregón, México) y una fertilización foliar base (Bayfolan® Forte) en las dosis recomendadas por los fabricantes para obtener una planta de calidad. Se realizó el trasplante a los 40 días después de la siembra (DDS) bajo condiciones de invernadero.

Se trasplantaron 160 plantas, organizándolas en bloques de 10 plantas por unidad experimental, con 4 repeticiones por tratamiento (Fig. 1). Se prepararon camas de siembra de 5 m de largo y una distancia entre camas de 1.5 m. Las plantas fueron establecidas con una separación de 50 cm entre sí. Se utilizaron 16 camas de siembra en un área de 150 m<sup>2</sup>. Se utilizaron 4 tratamientos que fueron aplicados vía foliar con una bomba aspersora de mochila portátil COSMOS (SWISSMEX, Lagos de Moreno, México) en una dosis de 600 mL por planta cada 2 y 3 días desde el trasplante hasta la cosecha. Los tratamientos

aplicados fueron T1: efluentes dulceacuícolas al 50%, T2: microalgas al 10%, T3: efluentes dulceacuícolas al 50% + microalgas al 10% y T4: testigo.

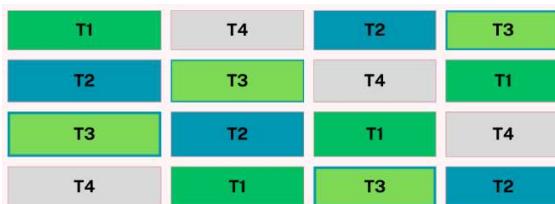


Fig 1. Esquema del diseño experimental

#### D. Variables Agronómicas

Se midió la altura de las plantas a los 5, 20, 30, 45 y 60 días después del trasplante (DDT) con ayuda de un flexómetro.

#### E. Productividad

Se realizó el conteo de número de frutos de 7 cortes. Se registró el peso de los frutos por corte y peso acumulado total. Se midió el diámetro polar y diámetro ecuatorial de 20 frutos por tratamiento con ayuda de un vernier analógico. Se calculó el rendimiento de producción reportándose como cantidad de frutos por corte y frutos acumulados [17].

#### F. Parámetros Fisicoquímicos

Se evaluó el contenido de sólitos solubles totales (SST) con un refractómetro digital modelo PR-101a (ATAGO CO., LTD, Japón) reportándose como Grados Brix. Para medir el pH y acidez titulable se suspendieron 20 g de pulpa de tomate en 100 mL de agua destilada [17]. El pH se midió con un potenciómetro digital HI 2210 (HANNA Instruments, Woonsocket, EUA), y la acidez titulable se evaluó mediante titulación potenciométrica con NaOH 0.1 N hasta llegar a un pH de 8.2 [18]. El resultado obtenido se expresó en % de ácido cítrico (1).

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{mL \text{ NaOH} * 0.1 \text{ N} * \text{Eq ácido}}{g \text{ de muestra}} * 100 \quad (1)$$

Para la determinación de firmeza se utilizó un penetrómetro manual GY-1, reportando el valor en N. Se midió el color de la superficie de 2 partes del fruto con un colorímetro R-400 (Konica Minolta, Osaka, Japón), usando la escala L\*, C\*, h. El porcentaje de pérdida fisiológica de peso se calculó respecto a la diferencia del peso inicial usando una balanza digital. El color y pérdida de peso se registraron cada 48 h a partir del día 0 hasta el día 16 de almacenamiento. Los parámetros de SST, acidez titulable y firmeza se evaluaron a los 0 y 16 días de almacenamiento.

#### G. Análisis Estadístico

Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias HSD de Tukey, utilizando un valor de significancia de  $p \leq 0.05$ , en el software estadístico STATISTICA v. 12.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Desarrollo Agronómico

Durante el periodo de crecimiento de las plantas de jitomate, la altura fue incrementando gradualmente respecto al tiempo después del trasplante (Fig. 2). Las plantas tuvieron un desarrollo agronómico normal con la aplicación de tratamientos. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la altura de las plantas en ninguna de las fechas evaluadas. Li et al. [16] cultivaron jitomate con aplicación de microalgas y/o combinación con fertilización química, donde reportaron un incremento en la altura de las plantas respecto al tratamiento de un fertilizante químico comercial. Algunos estudios han evidenciado que las microalgas pueden promover la germinación, crecimiento de las plantas, elongación de tallos y desarrollo de raíces en diversos cultivos como la lechuga, el amaranto, tomate, frijol, pepino, pimiento, entre otros [17], [18], [20].

El número de racimos por planta varió entre 5.5 y 7.5, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

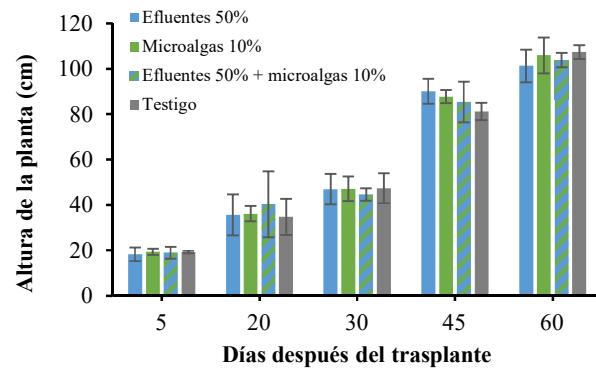


Fig. 2. Dinámica de crecimiento de plantas de jitomate bajo la aplicación de tratamientos de efluentes dulceacuícolas y microalgas *Chlorella* sp.

#### B. Productividad de Jitomate

El número de frutos por corte de cada tratamiento incrementó a partir de la tercera cosecha, manteniendo una cantidad similar durante los siguientes cortes (Fig. 3). La aplicación de microalgas incrementó la productividad de jitomate respecto a los otros tratamientos. Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos del número de frutos cosechados en la cuarta y quinta cosecha, siendo el tratamiento de microalgas donde se presentó mayor producción.

El número de frutos acumulados como la producción total de los siete cortes se muestra en la Fig. 4. La aplicación de microalgas incrementó en 25% la cantidad de frutos cosechados y el peso acumulado respecto al testigo.

Algunos estudios han demostrado la capacidad bioestimulante de las microalgas, debido a diferentes efectos que estas tienen en las plantas y los frutos. El efecto de fertilizante de microalgas promueve la distribución de productos fotosintéticos al fruto, mejorando el rendimiento y la

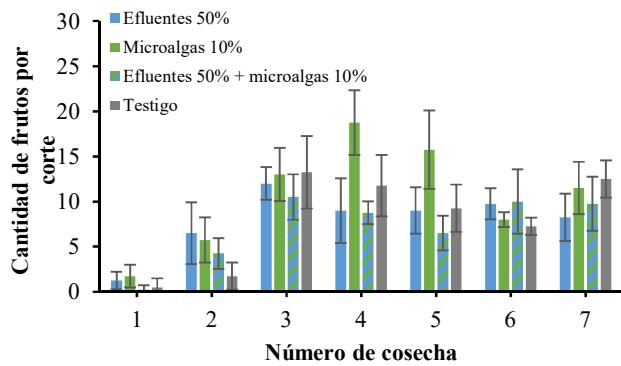


Fig. 3. Productividad del cultivo de 10 plantas de jitomate tratadas con efluentes dulceacuícolas y microalgas *Chlorella* sp.

calidad de los tomates [16]. Otros mecanismos sugieren un mejor rendimiento vinculado a la secreción de metabolitos secundarios como aminoácidos, vitaminas, poliaminas y fitohormonas promotoras del crecimiento vegetal como auxinas, giberelinas y ácido abscísico [16], [21]. Otros reportes indican la producción de fitohormonas como el ácido jasmónico y ácido salicílico [20]. Por otra parte, la aplicación de efluentes no generó un incremento en la cantidad ni peso de los frutos. Esto pudo deberse a la cantidad de nutrientes aportada por los efluentes. La Tabla I resume el aporte nutrimental de los efluentes aplicados en el cultivo, donde se aprecia una cantidad alta de fósforo y potasio, pero baja de nitrógeno y calcio, los cuales son cruciales para un alto rendimiento del jitomate. El bajo aporte está asociado con el cultivo de tilapias, dado que se inició con alevines de 1.2g, donde se requirió cantidades bajas de alimento y por ende se obtuvo desechos pobres en nitrógeno.

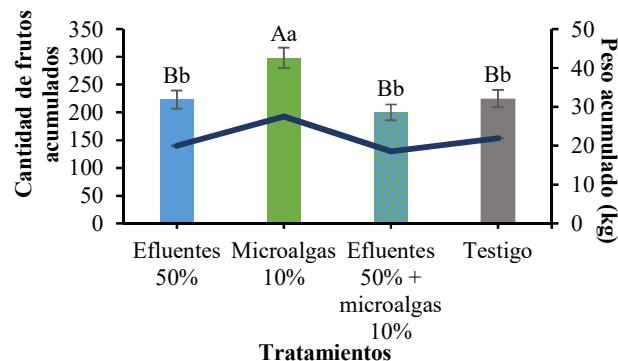


Fig. 4. Productividad del cultivo de jitomate tratado con efluentes dulceacuícolas y microalgas *Chlorella* sp.

El tratamiento de microalgas aplicado en las plantas de jitomate presentó mayor peso inicial y final, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla II). Sin embargo, las microalgas incrementaron ( $p < 0.05$ ) el diámetro polar de los frutos de jitomate.

Los parámetros de calidad evaluados en tomate como el peso promedio, longitud y diámetro son características que determinan la comercialización y el precio del producto. Los resultados obtenidos demuestran que la calidad y cantidad de jitomates tratados con efluentes y microalgas es adecuada para

TABLA II  
PESO Y DIÁMETRO DE FRUTOS DE JITOMATE TRATADOS CON EFLUENTES DULCEACUÍCOLAS Y MICROALGAS

Tratamiento	Peso (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro equatorial (cm)
Efluentes 50%	98 ± 14 <sup>a</sup>	65.1 ± 3.5	46.7 ± 3.7
Microalgas 10%	114 ± 16 <sup>a</sup>	71.1 ± 1.5	47.7 ± 2.5
Efluentes 50% + microalgas 10%	103 ± 15 <sup>a</sup>	66.2 ± 2.5	51.1 ± 4.1
Testigo	103 ± 17 <sup>a</sup>	64.9 ± 3.8	48.7 ± 2.1

Los resultados son la media ± la desviación estándar. Se consideraron 4 réplicas de 5 frutos por tratamiento, de 7 cosechas de jitomate. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba HSD de Tukey ( $p < 0.05$ ).

su mercado, manteniendo sus atributos y mejorando la productividad. La mayoría de los frutos se clasifican como “medianos” de acuerdo con la NMX-FF-031-1997-SCFI.

### C. Parámetros de Calidad Postcosecha

La Tabla III muestra los parámetros fisicoquímicos de frutos de jitomates almacenados a temperatura ambiente. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los parámetros evaluados en el día 0 y día 16 de almacenamiento a temperatura ambiente. Tanto el pH como los SST aumentaron durante el almacenamiento, como parte del proceso normal de maduración de los frutos. La relación SST/acidez fue similar para todos los tratamientos. Se encontraron en valores deseables para madurez comercial y de consumo. En promedio, los frutos tratados con efluentes presentaron un índice de madurez mayor, lo que indica sus valores iniciales bajos de Hue (Fig. 5) y luminosidad al día 0 (Fig. 6).

TABLA III  
PESO Y DIÁMETRO DE FRUTOS DE JITOMATE TRATADOS CON EFLUENTES DULCEACUÍCOLAS Y MICROALGAS

	Tratamiento	SST (°Brix)	pH	Acidez titulable (%)	Relación SST/acidez
Día 0	Efluentes 50%	4.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	4.62 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>a</sup>	15.8 ± 1.0 <sup>a</sup>
	Microalgas 10%	3.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	4.64 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	15.6 ± 1.3 <sup>a</sup>
	Efluentes 50% + microalgas 10%	4.1 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.60 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.03 <sup>a</sup>	16.7 ± 2.2 <sup>a</sup>
	Testigo	3.8 ± 0.6	4.65 ± 0.05	0.25 ± 0.02	15.0 ± 2.7
Día 16	Efluentes 50%	4.6 ± 0.5 <sup>a</sup>	5.53 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.07 <sup>a</sup>	25.5 ± 8.2 <sup>a</sup>
	Microalgas 10%	4.0 ± 0.5 <sup>a</sup>	5.11 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.04 <sup>a</sup>	24.9 ± 3.5 <sup>a</sup>
	Efluentes 50% + microalgas 10%	4.3 ± 0.4 <sup>a</sup>	5.17 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>a</sup>	20.2 ± 0.9 <sup>a</sup>
	Testigo	4.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>a</sup>	19.7 ± 2.3 <sup>a</sup>

Los resultados son la media ± la desviación estándar. Se consideraron 4 réplicas de 5 frutos por tratamiento, de 5 cosechas de jitomate. Letras diferentes en las columnas por día de evaluación indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba HSD de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Los resultados iniciales de índice de madurez (relación SST/acidez) fueron superiores a los reportados por Pinzón-Bedoya et al. [22], quienes reportaron valores iniciales de 8.02 ± 1.35 en jitomate de la variedad Milano.

El color de los frutos de jitomate cambió de manera significativa durante el almacenamiento (Fig. 5). Los tratamientos de efluentes y microalgas redujeron de manera

significativa el cambio en el valor del ángulo de tono (hue), manteniendo el color en tono rojo brillante. Mutale et al. [18] reportaron la acumulación de pigmentos de clorofillas en plantas tratadas con microalgas. *Chlorella* sp. son microalgas verdes con un alto contenido de clorofillas, que al ser asperjadas a las plantas pueden modificar el color de los frutos.

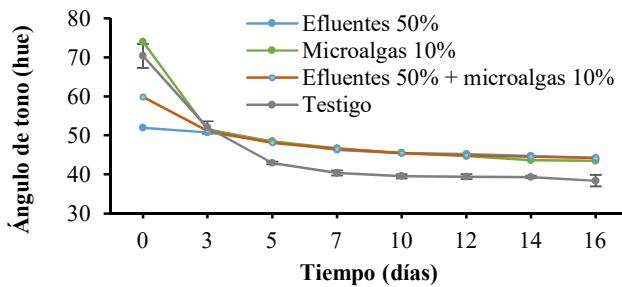


Fig. 5. Ángulo de tono de la superficie de frutos de jitomate durante el almacenamiento.

Los valores de luminosidad de los frutos de jitomate presentaron una disminución gradual (Fig. 6). Los frutos del tratamiento testigo mostraron mayores cambios en los valores de ángulo de tono como se muestra en la Fig. 5, siendo de menor luminosidad como se observa en la Fig. 6. Valores bajos de luminosidad en jitomate se asocia con la madurez [22]. Los tratamientos de efluentes y microalgas por separados y en combinación, permiten disminuir los cambios de color.

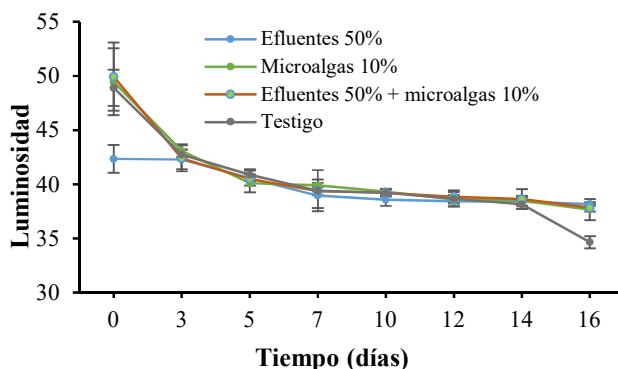


Fig. 6. Valores de luminosidad de frutos de jitomate durante el almacenamiento.

Respecto a la firmeza de los frutos almacenados durante 16 días, se encontraron valores entre 3.7 y 4.3 kg/cm<sup>2</sup>. No encontrándose un efecto de los tratamientos evaluados en este parámetro. Por otra parte, la pérdida fisiológica de peso fue menor en los tratamientos de microalgas al 10% respecto al control. Lo que indica un aumento de la vida de anaquel de los frutos tratados con microalgas.

#### IV. CONCLUSIONES

El presente estudio destaca el potencial de las microalgas *Chlorella* sp. para mejorar el rendimiento de producción del cultivo de jitomate. La utilización de los efluentes dulceacuícolas no mostró un efecto biofertilizante debido al bajo aporte de nitrógeno. Sin embargo, redujeron los cambios de color de los frutos de jitomate durante el almacenamiento.

Nuevos experimentos con producción de peces adultos son necesarios para el aprovechamiento de efluentes dulceacuícolas en los cultivos. Investigaciones adicionales sobre la composición de la biomasa y extractos de microalgas, así como su aplicación como biofertilizantes podrían ser evaluados en el rendimiento de los frutos. Las microalgas como biofertilizantes o bioestimulantes representan un potencial para incrementar la producción en el sector agrícola, como alternativa sostenible los fertilizantes químicos.

#### V. REFERENCIAS

- Bustamante Lara TI, García González F, Vargas Canales JM, León-Andrade M. Efectos del comercio internacional en la especialización y competitividad de jitomate (*Solanum Lycopersicum Mill.*) en México (1980-2016). *Paradig Económico.* 2022 Jan 28;14(1):181. <https://paradigmaeconomico.uae-mex.mx/article/view/17840>.
- Ahmad MT, Shariff M, Md. Yusoff F, Goh YM, Banerjee S. Applications of microalgae *Chlorella vulgaris* in aquaculture. *Rev Aquac.* 2020 Feb 19;12(1):328–46. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12320>.
- García Vásquez GE, Álvarez Sánchez AR, Yáñez Cajo DJ. 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. *Cienc y Tecnol.* 2023 Jun 30;16(1):43–51. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/699>.
- Gabriel-Ortega J, Chonillo Pionce P, Narváez Campana W, Fuentes Figueroa T, Ayón Villao F. Evaluación de cuatro bioestimulantes en la inducción de la resistencia sistémica en pepino (*Cucumis sativus L.*) y tomate (*Solanum lycopersicum Mill.*) en monocultivo y cultivo asociado en invernadero. *J Selva Andin Res Soc.* 2022 Aug 1;13(2):69–79. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_artext&pid=S207292942022000200069&lng=es&nrm=iso&tlang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_artext&pid=S207292942022000200069&lng=es&nrm=iso&tlang=es).
- Zambrano-Gavilanes F, Lima-Moncayo AO. Uso de fertilizantes orgánicos en la producción de Cucurbitáceas: revisión de literatura. *Paid XXI.* 2023 Apr 25;13(1):141–59. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/5671>.
- Syed S, Wang X, Prasad TNVKV, Lian B. Bio-Organic Mineral Fertilizer for Sustainable Agriculture: Current Trends and Future Perspectives. *Minerals.* 2021 Nov 29;11(12):1336. <https://www.mdpi.com/2075-163X/11/12/1336>.
- Ronga D, Biazz E, Parati K, Carminati D, Carminati E, Tava A. Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. *Agronomy.* 2019 Apr 15;9(4):192. <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/4/192>.
- Rivas-García T, Luis Gustavo Gonzalez-Gomez, Boicet-Fabré T, Jiménez-Arteaga MC, Falcón-Rodríguez AB, Terrero-Soler JC. Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) a la aplicación del bioestimulante con quitosano. *Rev TERRA Latinoam.* 2021 Jan 17;39. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/796>.
- Calero-Hurtado A, Pérez-Díaz Y, Rodríguez-Lorenzo M, Rodríguez-González V. Aplicación conjunta del consorcio microorganismos benéficos y FitoMas-E® incrementan los indicadores agronómicos del frijol. *Rev UDCA Actual Divulg Científica.* 2022 Apr 7;25(1). <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/2252>.
- Supraja KV, Behera B, Balasubramanian P. Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. *Ind Crops Prod.* 2020 Sep;151:112453. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669020303691>.
- González-Pérez BK, Rivas-Castillo AM, Valdez-Calderón A, Gayosso-Morales MA. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *World J Microbiol Biotechnol.* 2022 Jan 26;38(1):4. <https://link.springer.com/10.1007/s11274-021-03192-2>.
- Gitau MM, Farkas A, Ördög V, Maróti G. Evaluation of the biostimulant effects of two Chlorophyta microalgae on tomato (*Solanum lycopersicum*). *J Clean Prod.* 2022 Sep;364:132689. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652622022879>.
- Rachidi F, Benhima R, Kasmi Y, Shabou L, Arroussi H El. Evaluation of microalgae polysaccharides as biostimulants of tomato plant defense using metabolomics and biochemical approaches. *Sci Rep.* 2021 Jan 13;11(1):930. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78820-2>.

- [14] Naspirán-Jojoa DC, Fajardo-Rosero AG, Ueno-Fukura M, Collazos-Lasso LF. Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Rev la Fac Med Vet y Zootec.* 2022 Mar 8;69(1). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/101539>.
- [15] Sánchez-Hernández GA, Aceves-Ruiz E, Aparicio-Juárez A, Guerrero-Rodríguez J de D, Olvera-Hernández JI, Hernández-Salgado JH, et al. Fertilización química e inoculación con Azospirillum y hongos micorrízicos del cultivo de jitomate en invernadero. *Rev TERRA Latinoam.* 2023 Jun 30;41. <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/991>.
- [16] Plaza BM, Gómez-Serrano C, Acién-Fernández FG, Jimenez-Becker S. Effect of microalgae hydrolysate foliar application (*Arthrospira platensis* and *Scenedesmus* sp.) on *Petunia x hybrida* growth. *J Appl Phycol.* 2018 Aug 9;30(4):2359–65. <http://link.springer.com/10.1007/s10811-018-1427-0>.
- [17] Ayala-Contreras CA, González-Fuente JA, Sariñana-Aldaco O, Benavides-Mendoza A, Preciado-Rangel P. Efecto de un sistema hidropónico en carrete (SHC) en la producción y calidad bioquímica de tomate. *Rev Bio Ciencias.* 2024 Nov 21;(11):e1717. <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/1717>
- [18] González-Gutiérrez KN, Ragazzo-Sánchez JA, Calderón-Santoyo M. Field and postharvest application of microencapsulated *Yamadazyma* mexicana LPa14 : anthracnose control and effect on postharvest quality in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Pest Manag Sci.* 2024 Jul 8;80(7):3459–69. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.8052>.
- [19] Rossi F, Ambrosano, Edmilson José Schammass, Eliana Aparecida Bovi Ambrosano, Gláucia Maria Guirado, Nivaldo Ferreira Dias, Fábio Luis Arévalo, Roberto Antonio Bertoncini, Edna Ivani. Intercropping influence on the quality of fruit production and cherry tomato. *ESPAIMCIENCIA.* 2013;4(2):77–82. <https://d1wqxts1xze7.cloudfront.net/111698689/481286239/libre.pdf?>
- [20] Li C, Liang Y, Miao Q, Ji X, Duan P, Quan D. The Influence of Microalgae Fertilizer on Soil Water Conservation and Soil Improvement: Yield and Quality of Potted Tomatoes. *Agronomy.* 2024 Sep 15;14(9):2102. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/9/2102>.
- [21] Mutale-joan C, Redouane B, Najib E, Yassine K, Lyamlouli K, Laila S, et al. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. *Sci Rep.* 2020 Feb 18;10(1):2820. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-59840-4>.
- [22] Refaay DA, El-Marzoki EM, Abdel-Hamid MI, Haroun SA. Effect of foliar application with *Chlorella vulgaris*, *Tetradesmus dimorphus*, and *Arthrospira platensis* as biopesticides for common bean. *J Appl Phycol.* 2021 Dec 10;33(6):3807–15. <https://link.springer.com/10.1007/s10811-021-02584-z>
- [23] Kapoor RV, Wood EE, Llewellyn CA. Algae biopesticides: A critical look at microalgal biopesticides for sustainable agricultural practices. *Biotechnol Adv.* 2021 Jul;49(April):107754. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107754>
- [24] Gharib FAEL, Osama K, Sattar AMA El, Ahmed EZ. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as biopesticides on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. *Sci Rep.* 2024 Jan 16;14(1):1398. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50040-4>
- [25] Pinzón-Bedoya ML, Cardozo GC, Portilla MM. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas en el proceso de maduración del tomate cv. Milano producido a campo abierto y bajo invernadero. *Cienc y Tecnol Aliment.* 2013;11(1):22–30. [https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/486](https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/486).