

SHORT COMMUNICATION



## Evaluation of the tomato quality fertilized with sargassum extract from the Mexican Caribbean and mycorrhizae

## Evaluación de la calidad de tomate fertilizado con extracto de sargazo del Caribe mexicano y micorrizas

Angélica Romero-Rodríguez<sup>1</sup>, Héctor S. Luna-Zendejas<sup>2</sup>, Aida Solis-Oba<sup>3</sup>, Rigoberto Castro-Rivera<sup>1</sup>, A. Dagoberto Armenta-Bojórquez<sup>4</sup>, M. Myrna Solís-Oba<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

<sup>4</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Sinaloa.

\*Corresponding author

E-mail address: [myrnasolis\\_ipn@yahoo.com](mailto:myrnasolis_ipn@yahoo.com)

Article history:

Received: 7 Abril 2022 / Received in revised form: 5 July 2022 / Accepted: / 8 July 2022 / Published online: 18 July 2022.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2022.7.3.15>

### ABSTRACT

Tomato is one of the agricultural products with the highest economic value in the world, for its production agrochemicals are generally used, however, their excessive use has caused environmental problems. A commercial sargassum extract was evaluated as a fertilizer for tomato cultivation, it was applied at 2 (N2), 5 (N5) and 8% (N8), with and without inoculation (400 spores) of arbuscular mycorrhizal fungi; mineral fertilization (C+) and no fertilization (C-) were used as controls. With C+ the highest number and weight of tomatoes were obtained, but the fruits were mostly small in diameter; with organic fertilization, medium-sized fruits were obtained, and they surpassed those of C- in all the parameters evaluated. The highest content of carotenoids was found in the tomatoes from N2, N5, N8 and NM8, the highest amount of sugar in the fruits from N5, N8 and

NM8, the highest maturity and flavor indices in all organically fertilized with and without arbuscular mycorrhizal fungi except NM5. The use of sargassum as a fertilizer is a good alternative to avoid the problems caused by its excessive arrival on the coasts, and it is given added value since a biofertilizer is obtained that helps production and improves the quality of tomatoes.

**Keywords:** carotenes, mycorrhizae, quality, sargassum, tomato.

## RESUMEN

El tomate es de los productos agrícolas con mayor valor económico en todo el mundo, para su producción generalmente se emplean agroquímicos, sin embargo, el uso excesivo de estos ha ocasionado problemas ambientales. Se evaluó un extracto de sargazo comercial como fertilizante para el cultivo de tomate, se aplicó al 2 (N2), 5 (N5) y 8 % (N8), con y sin la inoculación (400 esporas) de hongos micorrizicos arbusculares; como controles se empleó fertilización mineral (C+) y sin fertilización (C-). Con C+ se obtuvo el mayor número y peso de frutos, pero éstos fueron de diámetro pequeño en su mayoría; con la fertilización orgánica se obtuvieron mayormente frutos de tamaño mediano y superaron en todos los parámetros evaluados a los de C-. El mayor contenido de carotenos fue de los tomates de N2, N5, N8 y NM8, mayor cantidad de azúcares de los frutos de N5, N8 y NM8, mayores índices de madurez y de sabor con todos los fertilizados orgánicamente con y sin micorrizas excepto NM5. El uso del sargazo como fertilizante es una buena alternativa para evita los problemas ocasionados por su arribo excesivo a las costas, y se le da un valor agregado ya que se obtiene un biofertilizante que ayuda la producción y mejora la calidad de los tomates.

**Palabras clave:** calidad, carotenos, micorrizas, sargazo, tomate,

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es de las hortalizas más cultivadas tanto en México como en el mundo, representa más del 30% de la producción de hortalizas, es uno de los productos agrícolas con mayor valor económico a nivel mundial (Zamora-Oduardo *et al.*, 2020). Se estima que se producen 170 millones de toneladas por año en una superficie de 5 millones de hectáreas (Abdulkareem *et al.*, 2018). El tomate es un alimento altamentepreciado por su alta calidad nutricional, contiene entre un 90 y 97% de agua dependiendo la variedad, su aporte calórico es bajo, está libre de colesterol, es rico en vitaminas A y C, antioxidantes y carotenos (Lima-Mendoza *et al.*, 2016). Entre los carotenoides más importantes están el licopeno,  $\alpha$  y  $\beta$  carotenos y luteína importantes por su provitamina A y actividad antioxidante (Coyago-Cruz *et al.*, 2019). El licopeno es responsable del color rojo del fruto, representa del 80 a 90% de los pigmentos presentes en el tomate, su contenido varía según la especie, grado de madurez y condiciones para la maduración; se ha reportado

que una dieta rica en licopeno protege contra algunos tipos de cáncer, así como en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Martínez-Valverde *et al.*, 2002); el ácido ascórbico se encuentra también en cantidades importantes en el tomate, por su actividad antioxidante tiene efectos antiescorbúticos y anticancerígeno. Entre los compuestos fenólicos del tomate destacan el ácido clorogénico y la quercetina, estos tienen propiedades anti-inflamatorias, antimicrobianas y con efectos neuro y cardio protectores (Figas *et al.*, 2015).

Para incrementar la producción agrícola de tomate generalmente se utilizan fertilizantes químicos, sin embargo, su uso excesivo ha ocasionado contaminación de agua y suelo, así como erosión del suelo (Solís-Oba *et al.*, 2020). Estos problemas han impulsado la búsqueda de alternativas de fertilización que, por un lado, aporten los requerimientos nutricionales a las plantas y por otro lado que no disminuyan el rendimiento y la calidad de los frutos. Una alternativa al uso de fertilizantes químicos es la aplicación de fertilizantes orgánicos y biofertilizantes, ya que éstos cumplen con aumentar la productividad y calidad de los productos agrícolas de una manera amigable con el ambiente, además de que mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo (Bustos *et al.*, 2017). Además, se ha observado que los productos cultivados de manera orgánica contienen mayor cantidad de minerales, vitaminas y antioxidantes, así como mejor sabor comparado con los producidos obtenidos usando fertilización química (Barrett *et al.*, 2007). Entre los fertilizantes orgánicos que se han utilizado en los últimos años se encuentran los extractos de algas marinas como el sargazo, y como biofertilizantes se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

Los extractos de algas se han utilizado como fertilizantes orgánicos en diversos cultivos y han demostrado ser tan o más eficientes que los fertilizantes químicos, debido a que contienen N, P, K, Ca, Mg y microelementos como Fe, Mn, Cu, Zn, entre otros, además de compuestos orgánicos como lípidos, proteínas, carbohidratos, vitaminas, carotenoides, fitohormonas, vitaminas y sustancias anti fúngicas. Son fuente de agentes quelantes como ácidos algínicos, fúlvicos y manitol, enzimas y compuestos biocidas que controlan plagas; estas enzimas refuerzan el sistema inmunitario y activan las funciones fisiológicas de las plantas. Adicionalmente, las algas producen y liberan promotores de crecimiento vegetal como las auxinas, citoquininas y giberelinas; facilitan la movilización de nutrientes e incremento en actividad fotosintética (Win *et al.*, 2018; Muthu-Pandian *et al.*, 2019; Mendoza-Morales *et al.*, 2019; Deepika & Mubarak, 2020; Karthik *et al.*, 2020). Entre las algas marinas que se han usado para preparar fertilizantes de cultivos vegetales se encuentran *Chorococcum sp.* (Deepika & Mubarak, 2020), *Turbinaria ornata* y *Ulva reticulata* (Karthik *et al.*, 2020), *Chaetomorpha antennina* (Muthu-Pandian *et al.*, 2019), *Sargassum vulgare* (Mendoza-Morales *et al.*, 2019), *Ascophyllum nodosum* y *Sargassum sp.* (Ali *et al.*, 2015). Estas dos últimas algas son de especial interés para México, ya que ellas constituyen el sargazo que, desde 2014 hasta la fecha, ha invadido las costas del Caribe de manera excesiva representado un problema ambiental,

ecológico y económico importante (Van Tussenbroek *et al.*, 2017). Además, si el alga no se recolecta en las primeras 48 horas, se va descomponiendo, generando productos dañinos para la salud (Resiere *et al.*, 2018). Por lo que el aprovechamiento del sargazo para la preparación de fertilizantes es una alternativa importante para solucionar un problema ambiental severo, al mismo tiempo se obtiene un producto con aplicación agrícola que a su vez le confiere un valor agregado al sargazo.

Los biofertilizantes comprenden células vivas o latentes, las cuales se aplican al suelo semillas o plántulas, mejorando la disponibilidad de nutrientes y su incorporación desde el suelo. Por ejemplo, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se han utilizado como biofertilizantes, ya que tienen como característica principal la formación de asociaciones simbióticas y mutualistas con las raíces de las plantas, beneficiando el crecimiento de las mismas, ya que favorecen la incorporación de nutrientes desde el suelo hacia la raíz, haciendo más accesibles al fósforo, nitrógeno y otros nutrientes menos disponibles, aumentan la absorción y la capacidad de retención de agua, promueven la síntesis y liberación de compuestos promotores de crecimiento vegetal y bioprotección contra patógenos, favorecen su tolerancia al estrés biótico y abiótico, todo lo anterior contribuye a mejorar el vigor y el rendimiento de la planta; además de que ayudan a la conservación de la estructura del suelo ( Abdel *et al.*, 2011; Luna *et al.*, 2016; Bona *et al.*, 2018; Kuila y Ghosh, 2022); a cambio, la planta provee hidratos de carbono fotosintéticos a los HMA que son fundamentales para su desarrollo.

Una estrategia interesante para promover el crecimiento vegetal, evitando el uso de fertilizantes químicos, que a su vez promuevan la mejora continua de los suelos, es el uso de mezclas de fertilizantes orgánicos con biofertilizantes, con características diferentes que se complementen mutuamente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de un fertilizante orgánico comercial, obtenido del sargazo del Caribe mexicano, sobre la producción crecimiento, y calidad del tomate; además, determinar el efecto de la aplicación de dicho fertilizante orgánico en conjunto con HMA en el crecimiento del tomate.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Materiales**

El sustrato utilizado fue suelo de una parcela agrícola del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, se extrajo de la parte superficial hasta 30 cm de profundidad, se adicionaron 7% de vermicomposta comercial marca Green Forest, se homogeneizó y tamizó por malla de 0.5 cm de abertura. Se tomó una muestra representativa de un kilogramo del suelo al inicio y al final de la cosecha. Se midieron el pH, conductividad y materia orgánica de acuerdo con la norma NOM-021-REC/NAT-

2000. Su pH inicial fue de 7.3, conductividad eléctrica de 0.38 dS/m y materia orgánica de 4.2%.

Se utilizó el fertilizante líquido NutrKam (Nk), donado por la empresa mexicana Dianco México SAPI de C.V., éste se obtiene a partir del extracto de algas pardas (*Sargassum* spp). En su etiqueta indica que contiene 150 mg/L de N, 9.6 mg/L de P, 180 mg/L de K, 30 mg/L de Ca y 60 mg/L de Mg, además de otros minerales en pequeñas cantidades.

La solución mineral usada para fertilizar las plantas del control positivo se preparó de acuerdo con la recomendación de la empresa Nunhems México S.A. de C.V. con 1.8 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0.61 g  $\text{KNO}_3$ , 0.52 g  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0.98 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y 0.27 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en 2 litros de agua.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) fueron donados por el Centro de Investigación en Genética y Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, estos se extrajeron de un agrosistema cultivado con maíz (*Zea mays* L.), ubicado a una latitud 19° 33' 10" N y longitud 98° 36' 96" W, a 2252 msnm, en San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala. Se obtuvieron mediante la técnica de separación de esporas, propuesta por Brundrett (2008). Los géneros detectados más abundantes fueron *Glomus* y *Acaulospora*.

Las plántulas de tomate fueron tipo saladette Sun 7705, de crecimiento indeterminado, se adquirieron con un productor en Puebla, México. El productor las obtiene a partir de semillas, éstas se germinan en charolas de unicel de 200 cavidades y se mantienen en invernadero de túnel durante un mes.

## 2.2 Cultivo de tomate

El cultivo de tomate se llevó a cabo de agosto a diciembre del 2021, bajo un diseño factorial completamente al azar 3x2, con 3 concentraciones de Nutrkam (2, 5 y 8%), con y sin la inoculación de 400 esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). La inoculación se realizó colocando las esporas en la base de la raíz de las plántulas al momento de trasplante. Se utilizó un control positivo (C+) consistente en plantas fertilizadas con la solución mineral; las plantas sin fertilización se utilizaron como control negativo (C-). La fertilización con Nutrkam o con la solución mineral se realizó aplicando la solución correspondiente, directamente al suelo, cada 5 días durante 120 días, en total fueron 24 aplicaciones.

En la tabla 1 se muestran los tratamientos aplicados, su notación, así como las cantidades totales de N, P, K, Ca, Mg y S adicionados durante todo el ciclo.

**Tabla 1.** Tratamientos y cantidades totales de nutrientes aplicados en el cultivo de tomate/maceta.

**Table 1.** Treatments and nutrients quantities applied in tomato crop/pot.

Tratamiento	Notación	N (g)	P (g)	K (g)	Ca (g)	Mg (g)	S (g)
Nutrkam al 2%	N2	0.2	0.14	0.1	0.17	0.03	0
Nutrkam al 5%	N5	0.5	0.36	0.2	0.43	0.07	0
Nutrkam al 8%	N8	0.8	0.58	0.4	0.69	0.12	0
Nutrkam al 2% HMA	NM2	0.2	0.14	0.1	0.17	0.03	0
Nutrkam al 5%+HMA	NM5	0.5	0.36	0.2	0.43	0.07	0
Nutrkam al 8%+HMA	NM8	0.8	0.58	0.4	0.69	0.12	0
Fertilización mineral	C+	9.4	1.48	13.11	10.54	2.29	5.35

Las unidades experimentales fueron macetas de plástico que se llenaron con 15 kg del sustrato. Las macetas se colocaron en un invernadero, tipo cenital de 8 m de ancho por 12 m de largo y 3 m de altura, se acomodaron en hileras con una distancia de 1 metro entre hileras y 40 cm entre macetas, la distribución fue al azar. Se registraron las temperaturas, humedad relativa e intensidad luminosa dentro del invernadero con un equipo hobo Data logging Onset U12-012. La temperatura máxima fue de 41.4°C, la mínima de - 5°C y la promedio de 17.55°C. La humedad relativa osciló entre 70.5 y 72.79%, con promedio de 71.8%. Los valores de intensidad fueron el mínimo de 3376 lux y el máximo de 5488 lux, con promedio de 4392 lux.

En cada maceta se trasplantó una plántula de *S. lycopersicum*, de 36 días después de la germinación y aproximadamente 10 cm de alto; las plántulas se seleccionaron para que no hubiera diferencia importante en tamaño y apariencia. El cultivo se llevó a cabo en un solo tallo, el riego se hizo cada cinco días de manera manual y durante 120 días después del trasplante. Debido a que el color del tomate es una característica para determinar su punto de maduración, los tomates se cosecharon conforme alcanzaron el grado de maduración 5 (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño 2008). La cosecha se llevó a cabo entre los 85 y los 130 días después del trasplante.

### 2.3 Parámetros de calidad medidos al tomate

Una vez cosechados los frutos, se les midió el diámetro ecuatorial y el diámetro polar con un vernier. Se determinó su peso fresco con una balanza analítica. Se determinaron el número y pesos totales de los frutos cosechados por tratamiento. Las siguientes mediciones se determinaron al jugo obtenido de 8 tomates seleccionados al azar para cada tratamiento y ambos controles.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) o grados Brix. se determinó colocando unas gotas del jugo sobre el cristal del refractómetro manual Atago 3810 PAL-1.

Para la acidez titulable (TA) se tomaron 20 g de jugo fresco, se mezclaron con 50 mL de agua destilada y se tituló con NaOH 0.1N, se usó azul de bromotimol como indicador hasta vire de color naranja a azul. La acidez titulable se calculó como:

$$\% \text{ de acidez} = 0.0064 \times (\text{mL NaOH utilizados}) / (\text{gramos de muestra}) \times 100.$$

Para el análisis de  $\beta$ -caroteno y licopeno se usaron 2 mL de jugo, se mezclaron con agua y se añadieron 8 mL de hexano: etanol: acetona (2:1:1), se agitaron en vórtex se mantuvieron protegidos de la luz durante 10 minutos. La absorbancia se leyó en la fase orgánica con un espectrofotómetro a 503 nm para licopeno y a 451 nm para  $\beta$ -caroteno.

$$\text{Licopeno (mg/Kg)} = \text{Abs}_{503\text{nm}} \times 137.4 \quad (\text{Anthon \& Barrett, 2007})$$

$$\beta\text{-caroteno (mg/Kg)} = \text{Abs}_{451\text{nm}} \times 137.4 \quad (\text{Suwanaruang, 2016})$$

Las cantidades de carotenos, índice de sabor (TI) e índice de madurez (IM) se calcularon con las fórmulas:

$$\text{TI} = \text{TA} + (\text{SST} / 20 \times \text{TA}) \quad (\text{Figàs et al., 2015})$$

$$\text{IM} = \text{SST} / \text{TA}.$$

## 2.4 Análisis estadístico

Las mediciones se hicieron por triplicado, se llevó a cabo un análisis de varianza y una prueba de medias por Tukey considerando  $p < 0.05$ .

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Parámetros de calidad de los tomates

Entre las características más importantes de la calidad del tomate están: el tamaño, que está relacionado con los diámetros polar y ecuatorial, peso, color que depende de la cantidad de licopeno, sólidos solubles totales y acidez titulable. El sabor está dado por la cantidad de azúcares, medidos como sólidos solubles totales, la cantidad de ácidos y la relación entre ambos. Los principales azúcares del tomate son glucosa y fructosa, que usualmente se encuentran en cantidades equimolares; el ácido orgánico que se encuentra en mayor cantidad es el ácido cítrico, el ácido ascórbico también se encuentra en cantidades apreciables (Figàs *et al.*, 2015). Estas características dependen de la variedad, época y zona de cultivo, riego y fertilización, entre otros (Coyago-Cruz *et al.*, 2019).

En la tabla 2 se observa que el peso promedio, tamaño y número de los tomates de los grupos que recibieron algún tipo de fertilización fueron mayores que los del control negativo. Los tomates de mayor peso y tamaño, así como el mayor número y peso total fueron los de C+. Con respecto a los tomates que recibieron fertilización orgánica o mezcla con los HMA, se observó que los de mayor peso y tamaño fueron los del tratamiento NM2, luego N5, N2 y NM5; el % de mejora de estos últimos cuatro fertilizantes con respecto a C- fue de 56, 49, 47 y 40%, respectivamente; los tomates que recibieron el 8% del extracto de sargazo fueron los más pequeños de los fertilizados, pero mayores que los no fertilizados. El número total de frutos fue mayor con N5, seguido por N2, N8 y NM5, el % de mejora comparativa con C- fue de 112, 88, 78 y 77%, respectivamente; en cuanto al peso total de frutos los % de mejora con respecto a C- fueron 223% con N5, 175% con N2, 148% con NM5 y 120% con NM2, 100% con N8 y 64% con NM8.

**Tabla 2.** Parámetros físicos medidos a los tomates.

**Table 2.** Physical parameters measured to the tomatoes.

Tratamiento	Peso (g)	Diámetro Polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Número total de frutos	Peso total de frutos (kg)
C+	108.31 <sup>a</sup>	7.55 <sup>a</sup>	5.26 <sup>a</sup>	131	14.17
C-	53.68 <sup>c</sup>	5.51 <sup>c</sup>	4.48 <sup>c</sup>	49	2.63
N2	78.65 <sup>b</sup>	6.77 <sup>ab</sup>	4.91 <sup>abc</sup>	92	7.24
N5	79.81 <sup>b</sup>	7.23 <sup>ab</sup>	4.88 <sup>abc</sup>	111	8.86
N8	59.62 <sup>bc</sup>	6.11 <sup>b</sup>	4.55 <sup>bc</sup>	88	5.25
NM2	83.77 <sup>ab</sup>	6.79 <sup>ab</sup>	5.14 <sup>ab</sup>	69	5.78
NM5	75.06 <sup>b</sup>	6.75 <sup>ab</sup>	4.91 <sup>abc</sup>	87	6.53
NM8	63.35 <sup>b</sup>	6.47 <sup>ab</sup>	4.97 <sup>ab</sup>	68	4.31

Letras iguales en columna indican que no hay diferencia estadísticamente significativa.

Aunque el peso y número de tomates obtenidos fue mayor con la fertilización química, en la tabla 3 se puede observar que el contenido de carotenos, índice de madurez, sabor y acidez fue mayor utilizando el fertilizante orgánico y los HMA. El contenido de licopeno de los tomates fertilizados con NM5, N5 y N2 fue entre 6 y 9% mayor que el de los de C+, los de N8 fueron similares a C+, mientras que con NM2 y NM8 fueron menores. Con los fertilizantes N2, N5, N8 y NM5 el contenido de  $\beta$ -caroteno de los tomates fue entre 10 y 19% mayor que los de C+. Con respecto la cantidad de carotenos presentes en los tomates de C- fueron menores que en todos los tipos de fertilización, excepto con NM8 cuyo contenido fue menor.

**Tabla 3.** Parámetros de calidad medidos a los tomates.  
**Table 3.** Quality parameters measured to the tomatoes.

Tratamiento	Licopeno (mg/Kg)	$\beta$ -Caroteno (mg/Kg)	SST	TA	IM	IS
C+	32.45 <sup>ab</sup>	26.49 <sup>ab</sup>	5.26 <sup>bc</sup>	0.33 <sup>a</sup>	15.93 <sup>b</sup>	1.13 <sup>ab</sup>
C-	22.86 <sup>bc</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	4.57 <sup>c</sup>	0.32 <sup>ab</sup>	14.28 <sup>c</sup>	1.03 <sup>b</sup>
N2	34.38 <sup>a</sup>	29.12 <sup>a</sup>	5.05 <sup>bc</sup>	0.30 <sup>b</sup>	16.83 <sup>ab</sup>	1.14 <sup>ab</sup>
N5	35.25 <sup>a</sup>	30.47 <sup>a</sup>	5.42 <sup>ab</sup>	0.32 <sup>ab</sup>	16.94 <sup>ab</sup>	1.17 <sup>ab</sup>
N8	32.48 <sup>ab</sup>	29.13 <sup>a</sup>	6.03 <sup>a</sup>	0.30 <sup>ab</sup>	20.1 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>
NM2	29.05 <sup>abc</sup>	25.36 <sup>ab</sup>	4.91 <sup>bc</sup>	0.28 <sup>b</sup>	17.54 <sup>ab</sup>	1.16 <sup>ab</sup>
NM5	35.74 <sup>a</sup>	31.53 <sup>a</sup>	4.80 <sup>bc</sup>	0.33 <sup>a</sup>	14.54 <sup>c</sup>	1.06 <sup>b</sup>
NM8	20.31 <sup>c</sup>	19.46 <sup>b</sup>	5.50 <sup>ab</sup>	0.32 <sup>ab</sup>	17.19 <sup>ab</sup>	1.18 <sup>ab</sup>

Letras iguales en columna indican que no hay diferencia estadísticamente significativa. Sólidos Solubles Totales (SST), acidez titulable (TA), índice de madurez (IM), índice de sabor (IS).

Se observa que con N5, N8 y NM8 se obtuvo estadísticamente mayor cantidad de SST comparado con C+; los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales a C+ y mayores que C-. Con respecto a la acidez titulable los menores valores se obtuvieron en N2 y NM2, con los demás los valores fueron significativamente iguales que C+ y C-. Los tomates obtenidos con N8 tuvieron los mayores índices de madurez y de sabor, con los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales que en C+ y mayores que C-, excepto en NM5 que fue el menor e igual que C-. Sin embargo, numéricamente con todos los tratamientos se obtuvieron mayores índices de sabor y de madurez que con C+, excepto en NM5.

Diversos organismos internacionales, en sus especificaciones de calidad, han establecido una clasificación de los tomates según su tamaño, específicamente considerando el diámetro ecuatorial (ASEAN). La distribución del tamaño de los tomates obtenidos se muestra en la tabla 4, donde se observa que el mayor porcentaje de tomates de C+ se ubicaron en el menor intervalo de diámetros (3-4 cm), al igual que con C-; mientras que con todos los demás tratamientos el % mayor de frutos se clasificó en el nivel 7 (>4-5 cm). Solamente con C+ hubo frutos en los códigos 4 y 5. La comercialización del tomate se basa en el color y en el tamaño, el consumidor busca tomate rojo de diámetros mayores, por lo que con la fertilización orgánica se obtiene un mayor porcentaje de tomate comercializable que con la fertilización mineral.

**Tabla 4.** Porcentaje de distribución de tamaños de los tomates obtenidos.**Table 4.** Percentage of size distribution of the tomatoes.

Código de tamaño	Diámetro ecuatorial (cm)	Porcentaje de tomate cosechado (%)							
		C+	C-	N2	N5	N8	NM2	NM5	NM8
1	>10	0	0	0	0	0	0	0	0
2	>9-10	0	0	0	0	0	0	0	0
3	>8-9	0	0	0	0	0	0	0	0
4	>7-8	1	0	0	0	0	0	0	0
5	>6-7	6	0	0	0	0	0	0	0
6	>5-6	29	13	13	5	13	33	15	7
7	>4-5	30	35	74	59	67	40	46	66
8	>3-4	34	52	13	36	20	27	39	27

### 3.2 Análisis del suelo

La tabla 5 muestra las mediciones de pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO) medidas al sustrato al inicio y final del cultivo para los tratamientos y controles.

**Tabla 5.** Análisis inicial y final del sustrato utilizado.**Table 5.** Initial and final analysis to the soil.

Análisis	Inicial	C-	C+	N2	N5	N8	NM2	NM5	NM8
pH	7.3	7.3	7.5	7.6	7.6	7.6	7.4	7.5	7.3
CE (dS/m)	0.38	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10	0.13	0.15	0.13
MO (%)	4.2	4.25	4.1	4.25	4.15	4.33	4.25	4.58	4.25

Los valores de pH y materia orgánica no sufrieron cambios apreciables, mientras que la conductividad eléctrica se redujo en más de 60% en todos los casos respecto al valor inicial, las conductividades finales fueron muy similares entre todos los tratamientos y controles. La materia orgánica excepto para C+ y N5 en los demás casos tuvo un pequeño incremento. No se observan cambios apreciables en los tratamientos donde se aplicaron HMA.

## 4. DISCUSIÓN

Comúnmente, en el cultivo de tomate se aplican fertilizantes químicos, sin embargo, su uso continuo ha provocado problemas como la contaminación de suelo y agua, ya que aproximadamente el 50% del N y el 90% del P no es aprovechado por las plantas, por lo que se pierde y pasa al suelo o al agua, generando gases de efecto invernadero, eutrofización en el sistema acuático y salinización del suelo (Ye *et al.*, 2020). Se sabe que los vegetales tienden a

concentrar iones nitrato si se fertilizan con altas cantidades de fertilizantes nitrogenados; los nitratos y nitritos son sustancias peligrosas para la salud humana ocasionando diferentes alteraciones como la metahemoglobinemia (Simion *et al.*, 2008). En este trabajo, las plantas que fueron fertilizadas químicamente recibieron cantidades 47 veces más de N, 10 más de P, 131 más de K, 62 más de Ca, 76 más de Mg que las que fueron fertilizadas con Nutrkam con y sin HMA, por lo que la fertilización con Nutrkam reduce los riesgos de la acumulación de nitratos y nitritos, así como la contaminación por los otros minerales.

La mayor cantidad y peso de los tomates se obtuvieron con C+, pero es interesante destacar que a pesar de la diferencia en la cantidad de nutrientes que recibieron las plantas, las dimensiones de los frutos obtenidos al fertilizar con Nutrkam fueron estadísticamente similares a las de los frutos de C+. El rendimiento fue mayor usando la fertilización con Nutrkam con y sin micorrizas que el obtenido sin fertilización (C-). Los tomates cosechados después de la fertilización con extracto de sargazo con y sin HMA presentaron una mayor calidad fitoquímica, ya que el contenido de carotenos, azúcares y ácidos fue mayor, comparado con C- y en algunos casos mayores a C+. En la actualidad son altamente apreciados los alimentos que contienen mayor cantidad de compuestos que contribuyan a la salud, como es el caso de los carotenos (Barett *et al.*, 2007; Coyago-Cruz *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos con la fertilización orgánica, se pueden explicar debido a que las plantas obtienen nutrientes de mejor manera cuando se aplican soluciones nutritivas que contienen macro y micro elementos, así como sustancias promotoras del crecimiento, en las formas que sean biodisponibles y que estimulen el desarrollo vegetal (Ali *et al.*, 2015; Bona *et al.*, 2018; Deepika, 2020).

La selección inicial del consumidor depende de la apariencia del tomate, pero las compras subsecuentes estarán más relacionadas con su sabor. El contenido de SST, relacionado con el contenido de azúcares y acidez, del tomate es importante para su comercialización, para el consumo fresco los SST deben ser de al menos 4° Brix, mientras que para el procesamiento industrial deben ser de 4.5 a 5.5 (González *et al.*, 2016), ya que mientras mayor sea el contenido de sólidos requerirá menos evaporación de agua para alcanzar un contenido de sólidos típico de una pasta de tomate de 27 a 31° Brix (Barrett *et al.*, 2007). Los frutos cosechados de todos los tratamientos cumplen con este intervalo para procesado industrial. Esto indica que los frutos obtenidos con esta propuesta de fertilización orgánica tendrán buena aceptación por parte del consumidor y de las empresas procesadoras de alimentos.

En este estudio la mayor cantidad y peso de tomates se obtuvieron aplicando 2 y 5% de Nutrkam, lo cual concuerda con lo que reportan otros autores, que obtuvieron mejores resultados al adicionar menores concentraciones de extracto de algas en los cultivos, ya que mayores concentraciones de extracto de alga inhibieron en cierto grado su crecimiento (Deepika & Mubarak, 2020; Yao *et al.*,

2020; Vijayakumar *et al.*, 2019; Bharath *et al.*, 2018; Vijayanand *et al.*, 2014). Otros autores también han encontrado que los extractos de algas aplicados al cultivo de tomate dieron buenos resultados. Por ejemplo, Ali *et al.* (2016) aplicaron un extracto de *Ascophyllum nodosum* en plantas de tomate, observaron un incremento en el rendimiento y en la calidad de los tomates, aumentó el color, los sólidos solubles totales aumentaron de 3.33 en el control a 4.61 y 4.83° Brix, con ambas concentraciones de *A. nodosum* respectivamente; asimismo se registró una mayor cantidad de ácido cítrico. Muthu-Pandian *et al.* (2019) reportaron valores de SST de 4.85 a 5.1° Brix en tomate fertilizado con diferentes cantidades de un extracto de *Chaetomorpha antennina*.

Por otro lado, no se observó diferencia estadística en los tratamientos donde se inocularon los HMA respecto a donde sólo se aplicó extracto de sargazo, esto pudo deberse a que la colonización fue baja (menor al 20%) o que la fertilización con Nutrkam proveyó las condiciones para el desarrollo del tomate y por ello no se observó efecto por la inculación con los HMA, como lo observaron otros autores. Por ejemplo Ortas *et al.* (2013) observaron un incremento en el rendimiento y nutrientes en tomate inoculado con HMA, pero solo cuando existió un bajo nivel de fertilización, Abdulkareem *et al.* (2018) usaron *Glomus intraradices* y *Glomus mossea* como biofertilizantes, encontraron que la mayor colonización ocurrió cuando no se adicionó fosfato. Schubert *et al.* (2020) reportaron que no todos los estudios han mostrado incremento en la producción de tomate como respuesta a la colonización con hongos micorrízicos, se ha observado una reducción en el periodo de crecimiento vegetativo.

Los resultados de la calidad de los tomates encontrados en este trabajo muestran similitud con otros estudios aplicando diferentes esquemas combinados de fertilización orgánica con sustratos inertes, composta, té de vermicomposta, fertilización mineral, humus de lombriz, HMA, vermicomposta, estiércol solarizado y solución nutritiva; los diámetros polares fueron entre 5.8 y 6.4 cm; diámetro ecuatorial de 4.7 a 5.3 cm sólidos solubles totales de 4.14 a 4.72° Brix, TA de 0.36 a 0.43 y licopeno de 25.1 a 34.5 mg/Kg (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014; Nelson y Nelson, 2015; Salas-Pérez *et al.*, 2017)

El sargazo que arriba a las costas del Caribe mexicano es un buen material para elaborar un fertilizante orgánico para el tomate, la calidad de los frutos obtenidos con la fertilización orgánica es equiparable a la calidad de los frutos obtenidos con la fertilización mineral, además con la fertilización orgánica se obtienen frutos de un tamaño más uniforme, con mejores propiedades organolépticas y nutritivas, como son el contenido de azúcares, índices de maduración, sabor y contenido de carotenos que los obtenidos fertilizados químicamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor. A la Secretaría de investigación y Posgrado por el financiamiento del

proyecto SIP20201451. A la empresa Dianco, México SAPI de C.V. por la donación del Nutrkam.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no haber conflicto de intereses

## REFERENCIAS

Abdel A. H., Abdel L. & Chaoxing H. 2011. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperatures stress. *Acta Physiology Plant.* 33: 1217-1225. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0650-3>.

Abdulkareem M. T., Elijah M. A. & Turoop L. 2018. Arbuscular mycorrhiza fungi promotes growth of tomato seedlings in the absence of phosphate in nutrient solution. *Asian Journal of Natural & Applied Sciences.* 7(1): 1-9.

Ali N., Farrell A., Ramsubhag A. & Jayaraj J. 2015. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield, and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. *Journal of Applied Phycology.* 28: 1353-1362. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0608-3>.

Anthon G. & Barrett D. 2007. Standardization of a rapid spectrophotometric method for lycopene analysis. *Acta Horticulturae* 758: 111-128. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.758.12>.

ASEAN Standard for tomatoes (Proposed ASEAN Stan 63:2019, <https://asean.org/storage/2012/05/63-ASEAN-Standard-for-Tomato.pdf>. Standard for tomatoes (CODEX stan 293-2008, [http://files.foodmate.com/2013/files\\_929.html](http://files.foodmate.com/2013/files_929.html)).

Barrett D.M., Weakley C., Diaz J.V. & Watnik M. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *Journal of Food Science* 72(9): 441-451.

Bharath B., Nirmalraj S., Mahendrakumar M. & Perinbam K. 2018. Biofertilizing efficiency of *Sargassum polycystum* extract on growth and biochemical composition of *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *Asian Pacific Journal of Reproduction.* 7(1): 27-32. <https://doi.org/10.4103/2305-0500.220982>.

Bona E., Todeschibi V., Cantamessa S., Cesaro P., Copetta A., Lingua G., Gamalero E., Berta G. & Massa N. 2018. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Science. Horticulturae.* 234: 160-165. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.026>.

Brundrett M.C. 2008. Methods for Identifying Mycorrhizas. En: Mycorrhizal Associations: The Web Resource. Version 2.0. <https://mycorrhizas.info/method.html>.

Bustos B. E. E., Solís O. M. M., Castro R. R., Ocaranza S. E., Tapia L. L., García B. L. J. & Solís O. A. 2017. Comparative study of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) culturing under different fertilization schemes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(5): 1195-1201. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.118>.

Casierra-Posada F. & Aguilar-Avenidaño O. E. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26 (2): 300-307. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732015>.

Coyago-Cruz E., Corella M., Moriana A., Mapelli-Brahm P., Hernanz D., Stinco C.M., Beltrán-Sinchiguano E. & Meléndez-Martínez A. J. 2019. Study of commercial quality parameters, sugars, phenolics, carotenoids and plastids in different tomato varieties. *Food Chemistry* 277: 480-489. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.139>.

Deepika D. & Mubarak A. 2020. Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 28: 101701. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101701>.

Figàs R. M., Prohens J., Raigón M. D., Fita A., García-Martínez M. D., Casanova C., Borràs D., Plazas M., Andújar I. & Soler S. 2015. Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry* 187: 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.083>.

González A., Castro J., Vera J. & Moenne A. 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *Journal of Plant Growth Regulation*. 32(2): 443-448. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9309-1>.

Kuila D. & Ghosh ,S. 2022. Aspects, problems and utilization of Arbuscular (AM) application as bio-fertilizer in sustainable agriculture, *Current Research in Microbial Sciences*. 3:100107. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100107>.

Lima-Mendoza M. R., Cervantes-Mejía V., Saucedo-Berruecos L., Hernández-Portillo A. P., Sánchez. C. & Cuamatzi-Muñoz M. 2016. Evaluación de la transpiración en jitomate en su manejo postcosecha. *Mexican Journal of Biotechnology* 2016,1(1):88-92

Luna Z. H. S., Solís O. M., Solís O. A., García G. E. & Gil E. J. L. 2015. A bioeconomic Approach for the Production of Biofertilizers and their influence on Faba Bean (*Vicia faba* L) Productivity. Journal of Natural Science 3(2): 75-91. <https://doi.org/10.15640/jns.v3n2a5>.

Márquez-Quiroz C., Cano-Ríos I. P., Moreno-Reséndez A., Figueroa-Viramontes U., Sánchez-Chávez E., De la Cruz-Lázaro E. & Robledo-Torres V. 2014. Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. ITEA. 110 (1): 3-17. <http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.001>.

Martínez-Valverde I., Periago M. J., Provan G. & Chesson A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of the Science of Food and Agriculture. 82: 323-330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>.

Muthu-Pandian Ch. K, Senthil-Nathan S., Stanley-Raja V., Thanigaivel A., Kharti S., Sivanesh H., Shymar S., N., Palanikani R. & Soronam R. 2019. *Chaetomorpha antennina* (Bory) Kützing derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for *Lycopersicon esculentum* (Mill). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 20: 101190.

Mendoza-Morales L.T., Mendoza-González A. C., Mateo-Cid L. E. & Rodríguez-Dorantes A. 2019. Analysis of the effect as biostimulants of *Sargassum vulgare* and *Ulva fasciata* extracts on *Lens esculenta* growth. Mexican Journal of Biotechnology. 4(4):15-28.

Nelson J. Ch. & Nelson J. M. A. 2015. Management and use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and earth worm humus in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected system. Cultivos Tropicales. 36(1): 53-62. [http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n1/en\\_ctr07115.pdf](http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n1/en_ctr07115.pdf).

Ortas I., Sari N., Akpınar C., & Yetisir H. 2013. Selection of arbuscular mycorrhizal fungi species for tomato seedling growth, mycorrhizal dependency and nutrient uptake. European Journal of Horticultural Science. 78(5): 209-218.

Resiere D., Valentino R., Nevière R., Banydeen R., Gueye P., Florentin J. & Mehdaoui H. 2018. Correspondence Sargassum seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. Lancet 392 (10165): 2691. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32777-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32777-6).

Rodríguez-Martínez R. E., Medina-Valmaseda A. E., Blanchona P., Monroy-Velázquez L. V., Almazán-Becerril A., Delgado-Pech B., Vásquez-Yeomans L. & García-Rivas M. C. 2019. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. Marine Pollution Bulletin. 146: 201-205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>.

Salas-Pérez L. V., García-Hernández J. L. & Márquez-Hernández C., Fortis-Hernández M., Estrada-Arellano J. R., Esparza-Rivera J. R. & Preciado-Rangel P. 2017. Yield and nutraceutical quality of tomato fruits in organic substrates. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 4(10): 169-175. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358649676017>.

Schubert R., Werner S., Cirka H., Rödel P., Tandron M.Y., Hans-Peter M., Hutter I., Gotthard K. & Hause B. 2020. Effects of arbuscular mycorrhization on fruit quality in industrialized tomato production. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(19): 7029. <https://doi.org/10.3390/ijms21197029>.

Simion V. Câmpeanu Ch, asile G, Artimon M., Catană L., Negoită M. 2008. Nitrate and nitrite accumulation in tomatoes and derived products. *Roumanian Biotechnological Letters* 13(4): 3785-3790

Solís-Oba A., Hernández-Rivadeneira J. I., Castro-Rivera R. y Manjarrez N., Solís-Oba M. 2020. Effect of composts produced from vegetable waste and/or manure on lettuce crop and their antioxidants content. *Mexican Journal of Biotechnology*. 5(2): 86-105. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2020.5.2.86>.

Suwanaruang T. 2016. Analyzing lycopene content in fruits. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 11: 46-48. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.12.008>.

van Tussenbroek B. I., Hernández A., Rodríguez-Martínez R. E., Espinoza-Avalos J., Canizales-Flores H. M., González-Godoy C. E. & Collado-Vides L. 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*. 122 (1–2): 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>.

Vijayakumar S., Durgadevi S., Arulmozhi P., Rajalakshmi S., Gopalakrishnan T. & Parameswari N. 2019. Effect of seaweed liquid fertilizer on yield and quality of *Capsicum annum* L. *Acta Ecologica Sinica*. 39:406-410. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.10.001>.

Vijayanand N., Sivasangari Ramya S. & Rathinavel S. 2014. Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian Pacific Journal of Reproduction*; 3(2): 150-155. [https://doi.org/10.1016/S2305-0500\(14\)60019-1](https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1).

Win T.T., Barone G. D., Secundo F. & Fu P. 2018. Algal biofertilizers and plant growth stimulants for sustainable agriculture. *Industrial Biotechnology* 14: 203–211. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0010>.

Yao Y., Wang X., Chen B., Zhang M. & Ma J. 2020. Seaweed Extract Improved Yields, Leaf Photosynthesis, Ripening Time, and Net Returns of Tomato

(*Solanum lycopersicum* Mill.). ACS Omega. 5, 4242–4249.  
<https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.9b04155>.

Ye L., Xia Z., Encai B., Jianshe L., Zhirong Z. & Kai C. 2020. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. Scientific Reports. 10:177.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>.

Zamora-Oduardo D., Rodríguez-Fernández P., Ferrer-Dubois A., Fung-Boix Y., Isaac-Aleman E. & Asanza-Kindelán G. 2020. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. Ciencia en su PC. 1:60-74.  
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181363107005/html/>.