



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

---

MÁSTER EN BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL Y  
AGROALIMENTARIA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***EFFECTO DE LAS CIANOBACTERIAS Y MICROALGAS EN EL  
CONTROL DE ENFERMEDADES FITOPATÓGENAS A PARTIR  
DE SU ACTIVIDAD BIOESTIMULANTE EN CULTIVOS  
HORTÍCOLAS***

*EFFECT OF CYANOBACTERIA AND MICROALGAE IN THE  
CONTROL OF PHYTOPATHOGENIC DISEASES FROM THEIR  
BIOSTIMULANT ACTIVITY IN HORTICULTURAL CROPS*

MARÍA FERNANDA GARCÍA CRUZ

TUTOR: FRANCISCO GABRIEL ACIÉN FERNÁNDEZ

COTUTOR: ALICIA MARÍA GONZÁLEZ CÉSPEDES

CONVOCATORIA JULIO DE 2021

## Índice de contenidos

RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUCCION .....	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS .....	8
2.1. Localización.....	8
2.2. Colección de agentes fitopatógenos.....	8
2.3. Cepas de cianobacterias y microalgas seleccionadas.....	9
2.4. Preparación de los extractos sonicados de microalgas y cianobacterias en plántulas.....	9
2.5. Ensayos y tratamientos. ....	10
2.5.1. Características de los patógenos analizados y modo de infección de las plantas. 10	
2.5.2. Ensayos realizados.....	11
2.5.3. Tratamientos .....	12
2.5.4. Descripción de los ensayos.....	13
2.6. Determinaciones .....	15
2.6.1. Crecimiento de la parte aérea .....	15
2.6.2. Medidas al final del ensayo .....	15
2.7. Tratamiento de los datos .....	15
3. RESULTADOS .....	15
3.1. Ensayo N°1. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre FOM y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de melón.....	15
3.1.1. Cepa MACC-1 .....	18
3.1.2. Cepa MACC 612 .....	19
3.1.3. Cepa SA-1-6 .....	20
3.1.4. Cepa SA-2-7 .....	21
3.1.5. Cepa SJ-2-2B.....	22
3.2. Ensayos N° 2. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre XC, y efectos sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate. ....	23
3.2.1. Cepa MACC 1 .....	26
3.2.2. Cepa MACC 612 .....	27
3.2.3. Cepa SA-1-6 .....	28

3.2.4.	Cepa SA-2-7 .....	29
3.2.5.	Cepa SJ-2-2B .....	30
3.3.	Ensayos N° 3. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre CMM, y efectos sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate. ....	31
3.3.1.	Cepa MACC 1 .....	34
3.3.2.	Cepa MACC 612 .....	35
3.3.3.	Cepa SA-1-6 .....	36
3.3.4.	Cepa SA-2-7 .....	37
3.3.5.	Cepa SJ-2-2B .....	38
4.	DISCUSIÓN .....	39
5.	CONCLUSIONES .....	42
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	43

## RESUMEN

La producción de alimentos con recursos limitados y una población en constante crecimiento supone un desafío para la agricultura, lo que en los últimos años se ha tratado de contrarrestar con una agricultura intensiva haciendo uso indiscriminado de los fertilizantes y plaguicidas químicos, los cuales generan un empobrecimiento del suelo y disminuyen la resistencia de los cultivos a plagas y enfermedades, por esta razón es importante encontrar tecnologías alternativas para incrementar la productividad y el uso de sistemas agrícolas “biosostenibles”, como el uso de microorganismos con actividad bioestimulante y bioplaguicida en las plantas.

Por lo anterior, en la presente investigación realizada en la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas” en Almería, en colaboración con la Universidad de Almería y dentro del marco de un proyecto de la convocatoria Retos Colaboración y liderado por la empresa biotecnológica Biorizon Biotech S.L., tiene como objetivo analizar los resultados derivados de la evaluación de cinco cepas de cianobacterias y microalgas, seleccionadas en fases previas del proyecto Algae4control, para observar el potencial de los extractos como “supresores” o “amortiguadores” de los síntomas causados por los agentes fitopatógenos *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (FOM), *Xanthomonas campestris* (XC) y *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM), infectados de forma artificial y bajo condiciones controladas de cultivo.

Se prepararon extractos sonicados y filtrados a partir de los cultivos de las diferentes cepas, que por razones comerciales se las ha llamado SA-1-6 cianobacteria, SA-2-7 cianobacteria, SJ-2-2B microalga, MACC-612 cianobacteria y MACC-1 microalga, previamente seleccionadas. Los extractos fueron aplicados en dos dosis diferentes (2 mg/planta y 5 mg/planta) con carácter preventivo en plantas de melón y tomate a nivel radicular y aéreo según el patógeno. En general no se encontró un efecto visible de la infección de los patógenos evaluados, mostrando efectos positivos sobre el desarrollo de las plantas, y mostrando las plantas cierta defensa inducida determinada por el posible efecto bioestimulante de cada microalga y cianobacteria. Para el control de FOM en plantas de melón, las cianobacterias y microalgas que mostraron efectos positivos en el crecimiento fueron MACC 612, SJ-2-2B y SA-2-7 a mayor dosis. En el caso del ensayo con XC en plantas de tomate, las microalgas y cianobacterias que mostraron mayor efecto en el desarrollo, sin apreciables síntomas de la enfermedad fueron SA-1-6 y SA-2-7 (ambas dosis) y MACC 612 y SJ-2-2B a mayor dosis, tanto en el desarrollo aéreo como radicular. En el ensayo con CMM los mayores efectos sobre el desarrollo de plantas se encontraron con las cepas SA-2-7 y SJ-2-2B (ambas dosis). En conclusión, la aplicación de extractos de cianobacterias y microalgas en los diferentes cultivos puede suponer una alternativa útil frente al uso de plaguicidas químicos, por su efecto bioestimulante en el desarrollo de las plantas.

## ABSTRACT

The production of food with limited resources and a constantly growing population represents a challenge for agriculture, which in recent years has tried to counteract with intensive agriculture making indiscriminate use of chemical fertilizers and pesticides, which generate impoverishment soil and decrease the resistance of crops to pests and diseases, for this reason it is important to find alternative technologies to increase productivity and the use of "biosustainable" agricultural systems, such as the use of microorganisms with biostimulant and biopesticide activity in plants.

Therefore, in the present investigation carried out at the Cajamar Experimental Station "Las Palmerillas" in Almería, in collaboration with the University of Almería and within the framework of a project of the Collaboration Challenges call and led by the biotechnological company Biorizon Biotech SL, aims to analyze the results derived from the evaluation of five strains of cyanobacteria and microalgae, selected in previous phases of the Algae4control project, to observe the potential of the extracts as "suppressors" or "buffers" of the symptoms caused by phytopathogens. *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (FOM), *Xanthomonas campestris* (XC) and *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM), artificially infected and under controlled cultivation conditions.

Sonicated and filtered extracts were prepared from the cultures of the different strains, which for commercial reasons have been called SA-1-6 cyanobacteria, SA-2-7 cyanobacteria, SJ-2-2B microalgae, MACC-612 cyanobacteria and MACC-1 microalgae, previously selected. The extracts were applied in two different doses (2 mg / plant and 5 mg / plant) as a preventive measure in melon and tomato plants at the root and aerial level according to the pathogen. In general, a visible effect of the infection of the evaluated pathogens was not found, showing positive effects on the development of the plants, and the plants showing a certain induced defense determined by the possible biostimulant effect of each microalgae and cyanobacteria. For the control of FOM in melon plants, the cyanobacteria and microalgae that showed certain positive effects on growth were MACC 612, SJ-2-2B and SA-2-7 at higher doses. In the case of the trial with XC in tomato plants, the microalgae and cyanobacteria that showed the greatest effect on development, without appreciable symptoms of the disease were SA-1-6 and SA-2-7 (both doses) and MACC 612 and SJ-2-2B at a higher dose, both in aerial and root development. In the CMM test, the greatest effects on plant development were found with the SA-2-7 and SJ-2-2B strains (both doses). In conclusion, the application of extracts of cyanobacteria and microalgae in different crops can be a useful alternative to the use of chemical pesticides, due to their biostimulant effect on plant development.

## 1. INTRODUCCION

Debido al constante crecimiento de la población y, por tanto, el aumento en la demanda de alimentos surge la necesidad de incrementar la productividad en los sistemas agrícolas, de esta forma los productores se ven obligados a seguir agriculturas más intensivas empleando el uso de agroquímicos y fertilizantes. El uso de prácticas agrícolas inapropiadas conduce a la degradación, contaminación y pérdida de la biodiversidad del suelo, disminución de la materia orgánica y desequilibrio de los nutrientes, dando como consecuencia el aumento de plagas y enfermedades.

De esta forma, en el “control” de las enfermedades de los cultivos; la aplicación en el suelo de agroquímicos juega un papel importante, su uso intensivo aumenta la destrucción de los recursos naturales y afecta la resistencia de las plantas a estas enfermedades (Osman et al., 2011), lo que disminuye considerablemente el rendimiento de los cultivos e incluso, en casos más extremos, provocan su pérdida total.

Existen agentes bióticos causantes de las enfermedades que alteran las funciones fisiológicas de las plantas (Lastres y Soza, 2009); como patógenos, los hongos del suelo y las bacterias son los más agresivos (Osman et al., 2011). Un ejemplo claro es *Fusarium oxysporum f. sp. Melonis* (FOM), hongo causante de la enfermedad fusariosis vascular del *Cucumis melo* (melón) el cual se puso de manifiesto como enfermedad sistemática de las plantaciones hasta la primavera de 1985 en los cultivos bajo plástico de Almería (Gómez y Tello, 2000). La enfermedad comprende dos etapas características sintomatológicas; una primera caracterizada por el amarillamiento de las nerviaciones, luego se forman estrías necróticas en tallos y peciolo, acompañada de exudación gomosa hasta llegar a la muerte de la planta, denominado «tipo Yellows». Y la otra etapa, caracterizada por un marchitamiento de la planta sin amarillamiento, desde el ápice de los tallos hacia la base de la planta que puede quedar verde, denominado «tipo Wilt» (Vázquez y Marquina, 2000).

Otro ejemplo de patógeno es la *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM), bacteria causante de la enfermedad chancro bacteriano del *Lycopersicon esculentum* (tomate), inicia con un marchitamiento de los folíolos, luego aparecen estrías necróticas que inician en la parte inferior del peciolo avanzando hasta el tallo, esta bacteria es un invasor sistémico de tejidos del floema, médula y corteza. Finalmente, la planta toma un aspecto necrótico hasta que se marchita (Borboa et al., 2009).

En tomate encontramos también la *Xanthomonas campestris* (XC), bacteria responsable de la enfermedad de la mancha bacteriana; en las hojas, tallos y pedúnculos se forman lesiones o pústulas irregulares húmedas que en ocasiones tienen un halo amarillo, cuando la infección es fuerte se produce amarillamiento del follaje, seguido del completo marchitamiento foliar (Cermeño, 2009).

Por lo anterior descrito, es necesario encontrar tecnologías alternativas para incrementar la productividad y el uso de sistemas agrícolas “biosostenibles” (Mógor et al., 2018). En la actualidad los bioplaguicidas disponibles en el mercado proceden principalmente de extractos de plantas y algunos productos de fermentación, pero no existen productos derivados de cianobacterias y microalgas a pesar de que estos microorganismos han sido ampliamente referenciados como productores de bioplaguicidas frente a insectos, hongos y bacterias.

Las microalgas y cianobacterias producen diferentes compuestos biológicamente activos (hormonas vegetales y compuestos antimicrobianos) responsables de la actividad bioestimulante y bioplaguicida (Ranglová et al., 2021), son microorganismos unicelulares que cuentan con la capacidad de hacer fotosíntesis. Las microalgas son microorganismos eucariotas que pueden crecer de manera autotrófica o heterotrófica, mientras que las cianobacterias son procariontes Gramnegativos. En estos organismos se han identificado compuestos bioactivos con diversos usos potenciales en biotecnología, agricultura, cosmética y en investigaciones básicas (Colla et al., 2007).

Desde hace décadas las cianobacterias y las microalgas se han considerado agentes beneficiosos desde un punto de vista agronómico por contribuir a la mejora de la fertilidad del suelo, y con ello al mayor rendimiento de los cultivos (Singh et al., 2016). De entre los beneficios que aportan, destacan el aumento de la porosidad del suelo, el control del pH, el incremento en la disponibilidad de nutrientes o el aporte de nitrógeno (N) (en el caso de aquellas cianobacterias capaces de fijar N). Además del importante papel que juegan en los ciclos del carbono (C) y N, se conocen diferentes géneros de cianobacterias y microalgas que acumulan y excretan fitohormonas (Lu y Xy, 2015; Singh et al., 2016, 2017; Meena et al., 2017), vitaminas (especialmente la vitamina B12) y aminoácidos (Singh et al., 2016). Se conoce que la producción de algunas de estas fitohormonas puede implicar de forma indirecta a la activación de los mecanismos de resistencia vegetal (Meena et al., 2017). También se ha sugerido que las cianobacterias y microalgas pueden mejorar la biodisponibilidad del fósforo (P) en las plantas, al solubilizar y movilizar los fosfatos orgánicos insolubles presentes en el suelo, con la ayuda de enzimas fosfatasa.

Actualmente, el uso de cianobacterias y microalgas como agentes promotores del crecimiento vegetal en cultivos como el *Oryza sativa* (arroz), *Triticum* (trigo), *Gossypium* (algodón), leguminosas y hortalizas, se considera una alternativa al uso de fertilizantes químicos y plaguicidas, ya que estos últimos son perjudiciales desde el punto de vista ambiental y sanitario (Prasanna et al., 2015). En este sentido, se sabe de la capacidad de numerosas especies de cianobacterias y microalgas para producir metabolitos bioactivos que poseen un gran potencial antibacteriano, antifúngico, antialgal y antiviral (Swain et al., 2017). Estos compuestos antimicrobianos pueden producir modificaciones estructurales y funcionales, inactivación de enzimas, así como la inhibición de la síntesis de proteínas en muchos organismos patógenos afectando su metabolismo y actividad fisiológica. De este modo, algunas especies de cianobacterias y microalgas se han descrito como supresoras de la enfermedad provocada por *Botrytis cinerea* en *Fragaria* (fresas) o de *Erysiphe polygoni* causante de mildiu y *damping off*, además de reducir el crecimiento de hongos saprófitos del suelo, y de otros hongos fitopatógenos vasculares como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* o *Fusarium oxysporum* (Kulik, 1995; Singh, 2014; Singh et al., 2016; Renuka et al., 2018).

De acuerdo con lo expuesto, es evidente que la aplicación de este amplio y diverso grupo de microorganismos fotosintéticos podría desencadenar la producción de niveles más altos de compuestos relacionados con la defensa del huésped, proporcionando un papel “bioprotector” adicional en la lucha contra enfermedades vegetales. De este modo, los beneficios derivados de la aplicación de cianobacterias y microalgas como agentes de control biológico, que afectan positivamente al crecimiento y a la salud vegetal, son muy relevantes atendiendo al actual concepto de “biosostenibilidad”. Sin embargo, los resultados publicados al respecto proceden fundamentalmente de experimentos realizados bajo condiciones de laboratorio, pero muy pocos se corresponden con ensayos de campo.

Por tanto, es imprescindible profundizar en el estudio de los posibles mecanismos y estrategias útiles en la aplicación in vivo de ambos grupos microbianos como agentes de control biológico. El objetivo fundamental del trabajo fue evaluar la capacidad de cinco cepas de cianobacterias y microalgas seleccionadas en fases previas del proyecto, para suprimir los síntomas causados por los agentes fitopatógenos *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (FOM), *Xanthomonas campestris* (XC) y *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM) infectados de forma artificial y bajo condiciones controladas de cultivo.



## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Localización.

Estos ensayos se realizaron en la Estación Experimental Cajamar “Las Palmerillas”, localizada en el término Municipal de El Ejido (Almería) (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Imagen área de la Estación Experimental Cajamar.

Para realizar estos ensayos se dispuso de un invernadero multitúnel dedicado a semillero, con bancadas de 1,2 m de altura donde se colocaron las bandejas con las pequeñas macetas de plantas. El riego fue por aspersión y ventilación mecánica (fotografía 2). Las condiciones climáticas fueron las normales para cada estación sin que se modificará, para asemejarlo a las condiciones reales de producción.



**Fotografía 2.** Invernadero y disposición de los tratamientos.

### 2.2. Colección de agentes fitopatógenos.

La caracterización previa de las cepas como agentes potencialmente bioplaguicidas se llevó a cabo mediante la utilización de una colección de nueve agentes fitopatógenos procedentes de la Colección Española de Cultivos Tipo (CECT). Sin embargo, sólo tres de ellos fueron testados posteriormente: *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (FOM), *Xanthomonas campestris* (XC) y *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM).

### 2.3. Cepas de cianobacterias y microalgas seleccionadas.

A partir de diferentes ensayos preliminares realizados durante el año 2019, se llevó a cabo la selección de cinco cepas que mostraron mayor potencial para ser aplicadas como agentes bioplaguicidas. Se hizo un estudio cualitativo y cuantitativo de las diferentes microalgas y cianobacterias procedente de los suelos, sustratos y compost seleccionados. El criterio de selección a partir de cada uno de los materiales de partida fue el de recuento mayoritario, de modo que, tras el estudio cuantitativo de todos los morfotipos presentes, se seleccionaron las 3 cepas que mostraron los mayores recuentos por gramo de sustrato analizado.

Además de las 20 cepas aisladas a partir de sustratos naturales, se añadieron 3 cepas de microalgas y cianobacteria según los criterios bibliográficos que apoyaron el potencial de estas para ser aplicadas como agentes bioestimulantes del crecimiento vegetal o biopesticidas frente a patógenos vegetales.

Finalmente, de todas cepas analizadas se seleccionaron 5 de ellas por su capacidad bioestimulante y biopesticida en ensayo *in vitro*. Las cepas SA1-6, SA2-7 y SJ2-2B-2 mostraron el perfil más adecuado para ser aplicadas bajo condiciones de cultivo, en lo que se refiere a su capacidad para ser aplicadas frente a hongos y bacterias fitopatógenas. Además, otras dos cepas pertenecientes a las Colecciones de Cultivo de cianobacterias y microalgas de Mosonmagyaróvár, Hungría (MACC) también se incluyeron como potenciales agentes bioplaguicidas. La caracterización de las cinco cepas seleccionadas se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Cepas seleccionadas como agentes bioplaguicidas en ensayos preliminares.

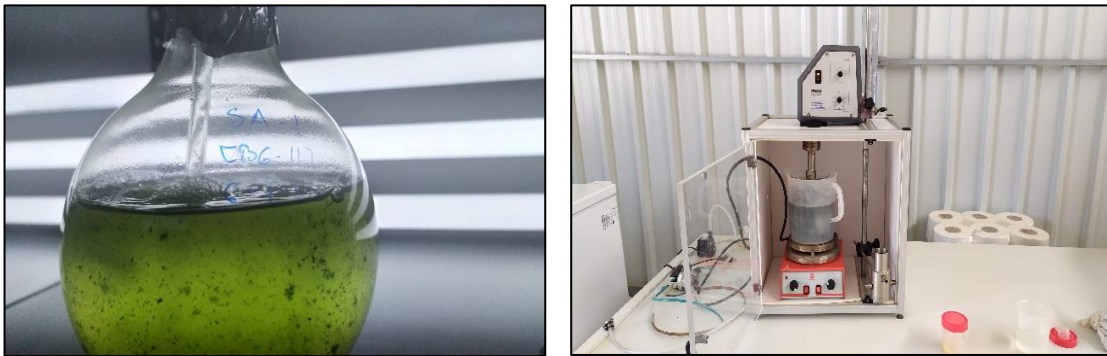
Cepa	% I vs <i>PU</i>	% I vs <i>RS</i>	% I vs <i>FOM</i>	% I vs <i>PCAP</i>	% I vs <i>BC</i>	% I vs <i>XC</i>	% I vs <i>CMM</i>
<b>SA-1-6</b> <b>cianobacteria</b>	38,10	27,62	6,90	26,36	9,36	15,00	18,33
<b>SA-2-7</b> <b>cianobacteria</b>	20,24	-	47,02	-	-	-	-
<b>SJ-2-2B</b> <b>microalga</b>	31,55	27,11	5,00	25,80	4,7	-	-
<b>MACC-612</b> <b>cianobacteria</b>	-	29,41	24,95	27,67	36,48	-	-
<b>MACC-1</b> <b>microalga</b>	54,12	25,64	30,00	19,40	-	13,89	-

-: no detectado. %I: Inhibición; *PU*: *Pythium ultimum*; *RS*: *Rhizoctonia solani*; *FOM*: *Fusarium oxysporum f.sp. melonis*; *PCAP*: *Phytophthora capsici*; *BC*: *Botrytis cinerea*; *XCC*: *Xanthomonas campestris*; *CMM*: *Clavibacter michiganensis michiganensis*.

### 2.4. Preparación de los extractos sonicados de microalgas y cianobacterias en plántulas.

Con el objetivo de evaluar la capacidad *in vivo* de la colección de cianobacterias y microalgas (Tabla 1) se procedió, en primer lugar, a la preparación de los extractos sonicados. Para ello, una vez cosechada la biomasa de los cinco microorganismos, la concentración fue ajustada a una concentración stock de 10 mg/mL de forma previa al proceso de sonicación (UP400S Hielscher). Posteriormente, las muestras fueron

sometidas a sonicación durante 3 min y una amplitud del 40%. Una vez obtenidos los extractos sonicados, fueron centrifugados a 5000 rpm durante 10 minutos y filtrados con filtro esterilizante de 0,45 micras de diámetro.



**Fotografía 3.** Cultivo de las diferentes microalgas y proceso de sonicación en laboratorio (UP400S Hielscher).

## 2.5. Ensayos y tratamientos.

Se evaluaron los efectos supresivos de las distintas cianobacterias y microalgas objeto de estudio frente a determinadas enfermedades fitopatógenas, así como el efecto en el desarrollo de las plantas de melón y tomate en pequeñas macetas. Los patógenos utilizados fueron; *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (FOM), *Xanthomonas campestris* (XC) y *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (CMM).

### 2.5.1. Características de los patógenos analizados y modo de infección de las plantas.

#### - *Fusarium oxysporum f.sp melonis* (FOM)

*Fusarium oxysporum* es un hongo que tiene numerosas formas especiales y distintas que son patógenas selectivas de un número limitado de cultivos. En este caso se ha seleccionado la forma especialidad *melonis*, para inocular plantas de melón. Uno de los primeros síntomas de este hongo en las plantas son amarilleamiento de las hojas. Las hojas bajas comienzan a perder turgencia y a “colgarse”. Además, esta enfermedad afecta el sistema vascular, y al cortar el tallo longitudinalmente podemos observar manchas de color marrón oscuro o café. Antes de que la planta madure, varias hojas se amarillean y marchitan, afectando el desarrollo de los frutos y el crecimiento de la planta en general (Seminis, 2017).

El primer paso para abordar la infección del sustrato con FOM fue la siembra del hongo en una placa de medio de cultivo Patata Dextrosa Agar (PDA), la cual fue incubada durante una semana en oscuridad a 24 C. A partir de dicho cultivo, se inoculó un matraz con 50 mL de medio Caldo de Patata Dextrosado (PDB), y se incubó a 24 C. Transcurrido el tiempo de incubación, se hizo un recuento de la cantidad de conidios mediante diluciones seriadas y siembras en placas Petri con medio PDA. La cantidad de conidios que se alcanzaron fueron de  $1 \times 10^6$  UFC/mL. La suspensión obtenida se diluyó con agua destilada 1/5 y se aplicó a razón de 5 mL por planta.

- *Xanthomonas campestris* (XC)

XC ocasiona la enfermedad de la mancha bacteriana en las plantas de tomate, ocasionando grandes pérdidas de producción. Esta especie de *Xanthomonas* son bacterias patogénicas aéreas que ingresan a la planta a través de heridas o aberturas naturales, como los estomas. Campoverde y Palmateer (2013), mencionan que una vez que las células de la bacteria ingresan a la planta, pueden moverse sistémicamente, causando manchas foliares severas. Los síntomas iniciales aparecen como pequeñas lesiones irregulares húmedas, cerca del borde de la hoja, además mencionan que después de 7 a 14 días de aparición de los primeros síntomas estas lesiones se agrandan y pueden cubrir grandes porciones del área foliar. Eventualmente, las lesiones se vuelven marrones con bordes de color amarillo-verdoso, causando la muerte prematura y caída de las hojas.

La preparación del cultivo de XC se llevó a cabo en un matraz de 250 mL de capacidad, con 50 mL de medio Caldo Nutritivo (CN). El matraz inoculado a partir de un cultivo fresco de XC fue incubado a una temperatura de 24 C durante 48-72 horas. Una vez transcurrido el tiempo de incubación se procedió al recuento de células de la bacteria patógena mediante diluciones seriadas con agua destilada autoclavada, y haciendo siembras en placas de Petri. La densidad celular fue aproximadamente a  $1 \times 10^7$  UFC/mL. El inóculo se aplicó vía foliar a razón de 1 mL de la suspensión bacteriana por planta.

- *Clavibacter michiganensis* (CMM)

CMM es una bacteria causante de la enfermedad conocida como chancro bacteriano o quema bacteriana del tomate. Es una enfermedad que ataca al sistema vascular y al tejido parenquimatoso, tiene una fácil diseminación por distintos factores como: el suelo, el agua de riego, prácticas culturales, nutrición y edad del cultivo e incluso las condiciones climáticas. En plántulas causa marchitez y enanismo, inicialmente aparece un marchitamiento en las hojas basales como pequeñas áreas húmedas de color verde claro, luego se necrosan y toman una apariencia de color pardo y se extienden en la planta hasta finalmente marchitarla por completo (García, Castillo y Salazar, 2014) (Bernal, 2010).

Uno de los principales síntomas en el follaje es la flacidez del último foliolo de la tercera o cuarta hoja del brote principal hacia abajo, estos síntomas son más evidentes en las horas más calurosas del día. Dentro de los tallos se pueden presentar bandas color café, las cuales se pueden romper y formar cavidades dando una apariencia de cancro. En determinado momento el daño causado al sistema vascular induce la marchitez de la planta y por tanto su muerte (Intagri S.C.,2016).

La obtención del inóculo de CMM se realizó de igual modo que con XC. La infección de las plántulas con el inóculo de CMM se realizó a nivel del cuello del tallo. Para ello, se aplicó en una suspensión en la zona de las raíces.

### 2.5.2. Ensayos realizados

Se realizaron tres ensayos en función de los tres patógenos mencionados y se probaron las cinco microalgas y cianobacterias seleccionadas.

**Ensayo N°1.** Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre FOM y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de melón.

**Ensayo N°2.** Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre XC y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate.

**Ensayo N°3.** Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre CMM y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate.

### 2.5.3. Tratamientos

Según lo mencionado en la tabla 1, las cepas seleccionadas en estos ensayos para realizar la evaluación en plantas fueron; - MACC 1 (microalga), MACC 612 (cianobacteria), SA-1-6 (cianobacteria), SA-2-7 (cianobacteria) y SJ-2-2B (microalga). Se evaluaron dos dosis de cada cianobacteria o microalga (2 mg/planta y 5 mg/planta), de modo que resultaron 10 tratamientos por patógeno, además se incluyeron dos tratamientos control o testigo, uno en que las plantas se infectaron con el patógeno y otro tratamiento sin ningún tipo de patógeno ni cianobacteria o microalga (Tabla 2).

**Tabla 2.** Diferentes tratamientos evaluados en cada ensayo y dosis de microalga o cianobacteria aplicada.

Tratamientos	Microalga/Cianobacteria	Dosis
T0	Testigo sin nada	
T1	MACC 1 2 mg	2 mg/planta
T2	MACC 1 5 mg	5 mg/planta
T3	MACC 612 2 mg	2 mg/planta
T4	MACC 612 5 mg	5 mg/planta
T5	SA-1-6 2 mg	2 mg/planta
T6	SA-1-6 5 mg	5 mg/planta
T7	SA-2-7 2 mg	2 mg/planta
T8	SA-2-7 5 mg	5 mg/planta
T9	SJ-2-2B 2 mg	2 mg/planta
T10	SJ-2-2B 5 mg	5 mg/planta
T11	Testigo con patógeno	

En cada ensayo se hicieron dos aplicaciones de las cianobacteria o microalga por planta, con el siguiente calendario (Tabla 3).

**Tabla 3.** Calendario de aplicación de las cianobacterias o microalgas, e inoculación del patógeno en cada ensayo.

Ensayo	Plantas	Patógeno	Siembra	1 <sup>a</sup> aplicación	In. patógeno	2 <sup>a</sup> aplicación
N°1	Melón	<i>FOM</i>	11/3/2020	13 dds	16 dds	23 dds
N°2	Tomate	<i>XC</i>	8/6/2020	25 dds	30 dds	37 dds
N°3	Tomate	<i>CMM</i>	8/6/2020	25 dds	30 dds	37 dds

DDS; días después de siembra. In. Patógeno; Inoculación del patógeno.

#### 2.5.4. Descripción de los ensayos.

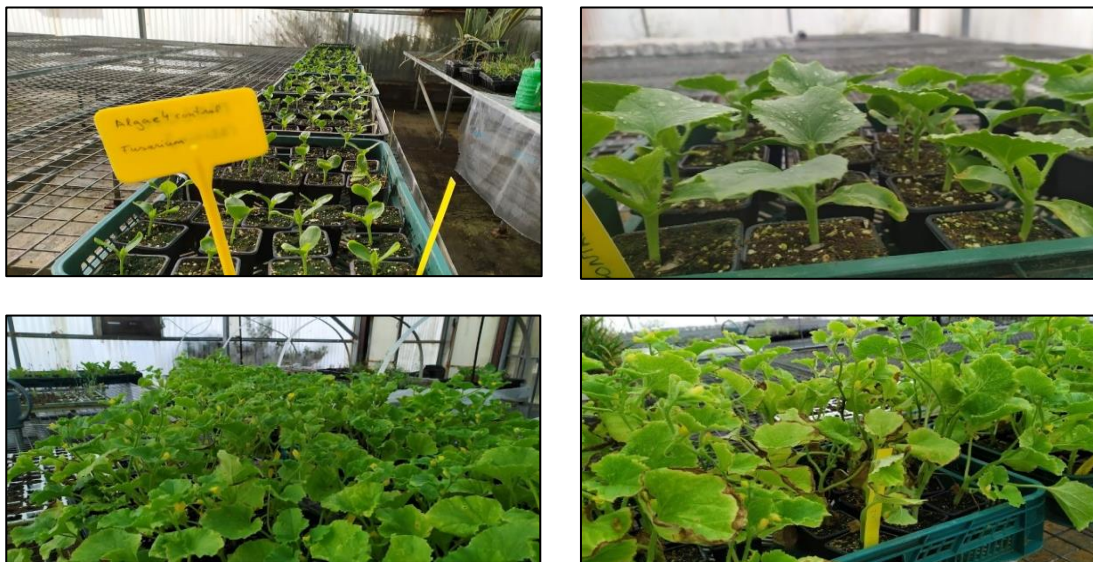
- **Ensayo N°1.** Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre FOM y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de melón.

Número de plantas por tratamiento: 13

La siembra de las semillas de melón tipo Galia LSL, variedad Brisa F1 de HM.Clause se realizó el 11 de marzo de 2020 en pequeñas macetas con sustrato (mezcla de turba y perlita) (Fotografía 4), transcurridos siete días aparecieron las primeras hojas (cotiledones) de las plantas, en aproximadamente la mitad de las plantas. El día 10 después de la siembra se observó que en la mayoría de las plantas han aparecido los cotiledones. Una vez que aparece la primera hoja verdadera se procedió a iniciar los tratamientos y realizar el control periódico del crecimiento de las plantas bajo los diferentes tratamientos.

El día 13 después de siembra se aplicó la primera dosis y el día 23 después de siembra se aplicó la segunda dosis de cianobacteria o microalga, cada tratamiento con su dosis correspondiente (2 mg/planta y 5 mg/planta).

Las plantas se infectaron con una solución de FOM a los 16 días tras la siembra (aplicado en el tiempo que se tuvo entre la 1ª y 2ª aplicación de las dos dosis de microalgas o cianobacterias). La concentración de FOM aplicada fue de  $1 \times 10^6$  UFC/ml, se aplicó 1 ml de esta suspensión a cada planta en medio acuoso. La segunda dosis de microalga o cianobacteria se aplicó a los 7 días tras la inoculación con el patógeno. Se les realizó un seguimiento a las plantas hasta el día 19 de mayo (69 días desde la siembra).



**Fotografía 4.** Disposición de las bandejas de plantas en el ensayo N°1 con FOM para los diferentes tratamientos.

- **Ensayos N°2 y N°3.** Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre XC y CMM, y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate.

Número de plantas por tratamiento y por ensayo: 10

La siembra de las semillas de tomate para los dos ensayos se realizó el 8 de junio de 2020 en pequeñas macetas con sustrato (mezcla de turba y perlita) (fotografía 5), transcurridos 10 días aparecieron las primeras hojas (cotiledones) de las plantas, de aproximadamente el 40% de las plantas. El día 20 desde la siembra han aparecido los cotiledones de la mayoría de las plantas. Una vez que aparece la primera hoja verdadera se procedió a iniciar los tratamientos y realizar el control periódico del crecimiento de las plantas en los diferentes tratamientos.

El día 25 después de siembra se aplicó la primera dosis de cada microalga o cianobacteria y 37 días después de siembra se aplicó la segunda dosis de cianobacteria o microalga, cada tratamiento con su dosis correspondiente (2 mg/planta y 5 mg/planta).

Las plantas del Ensayo N°2 y N°3, se infectaron con una solución de XC y CMM, respectivamente, a los 30 días tras la siembra (aplicado en el tiempo que se tuvo entre la 1ª y 2ª aplicación de las dos dosis de microalgas o cianobacterias). La concentración de patógeno en ambos casos fue de  $1 \times 10^7$  UFC/ml, se aplicó 1 ml de esta suspensión a cada planta en medio acuoso. La segunda dosis de microalga o cianobacteria se aplicó a los 7 días tras la inoculación con cada patógeno. Las plantas permanecieron en el ensayo N°2 hasta el 1 de agosto y en el ensayo N° 3 hasta el 5 de agosto (54 dds y 58/ dds respectivamente). CMM se aplicó en una suspensión en la zona de las raíces y XC se pulverizó la suspensión en la parte aérea.



**Fotografía 5.** Disposición de las bandejas de plantas de tomate para los ensayos con CMM y XC en los diferentes tratamientos.

## 2.6. Determinaciones

### 2.6.1. Crecimiento de la parte aérea

En cada ensayo y desde la primera aplicación de las diferentes microalgas o cianobacterias, se procedió a medir semanalmente la altura de la planta, número de hojas y flores, hasta la finalización de cada ensayo, además, se observaba el estado de la planta con posibles síntomas en las hojas y tallos de cada planta debido a la enfermedad objeto de estudio.

### 2.6.2. Medidas al final del ensayo

Al final del ciclo se realizó la biomasa final destructiva de todas las plántulas, donde se midió la altura de la planta, área foliar, peso fresco y seco de plantas, peso fresco y seco de raíces, estado de las raíces y longitud de las raíces. En los ensayos N°2 y N°3 además se midió el diámetro del tallo. La determinación del área foliar se midió con un planímetro electrónico (Delta-T Devices LTD, Cambridge, Reino Unido).

Para determinar el peso seco de cada parte de la planta se separó los tallos, hojas y raíces, pesando cada parte individualmente y secándose en una estufa de ventilación forzada a 80 °C hasta alcanzar un peso constante.



**Fotografía 6.-** Planímetro electrónico (Delta-T Devices LTD, Cambridge, Reino Unido).

## 2.7. Tratamiento de los datos

El análisis estadístico de los datos se hizo con el paquete informático STATGRAPHICS (Statgraphics Plus. Statistical Graphics Corp.). Cuando el análisis indicaba la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, la comparación de las medias se realizaba con el método de mínima diferencia significativa (MDS).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Ensayo N°1. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre FOM y sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de melón.

No se mostró un efecto claro de la infección de la enfermedad sobre las plantas de melón debida a FOM, ya que ambos tratamientos control (con y sin *Fusarium*) presentaron un crecimiento tanto vegetativo como radicular sin diferencias estadísticamente significativas en las plantas de ambos tratamientos (Tabla 4).

En general la aplicación de las cinco microalgas y cianobacterias para el control de FOM en plantas de melón no mostraron efectos relevantes con respecto a la supresión o



disminución de los síntomas de la enfermedad si lo comparamos con el tratamiento control con *Fusarium*. En la tabla 4, se puede observar que los valores de incremento de altura de planta en la mayoría de los tratamientos fueron semejantes entre ellos, exceptuando los tratamientos MACC 612 2 mg (25 cm) y SA-1 2 mg (21 cm), que presentaron el menor incremento de altura de las plantas con respecto a los otros tratamientos. Los tratamientos que mostraron valores superiores al tratamiento control con *Fusarium* fueron MACC 612 5 mg (36 cm) y SJ-2-2B 5 mg (37 cm), en el caso del incremento de altura significativamente mayor a las plantas de los dos tratamientos control (con y sin FOM) (Tabla 4 y Figura 1).

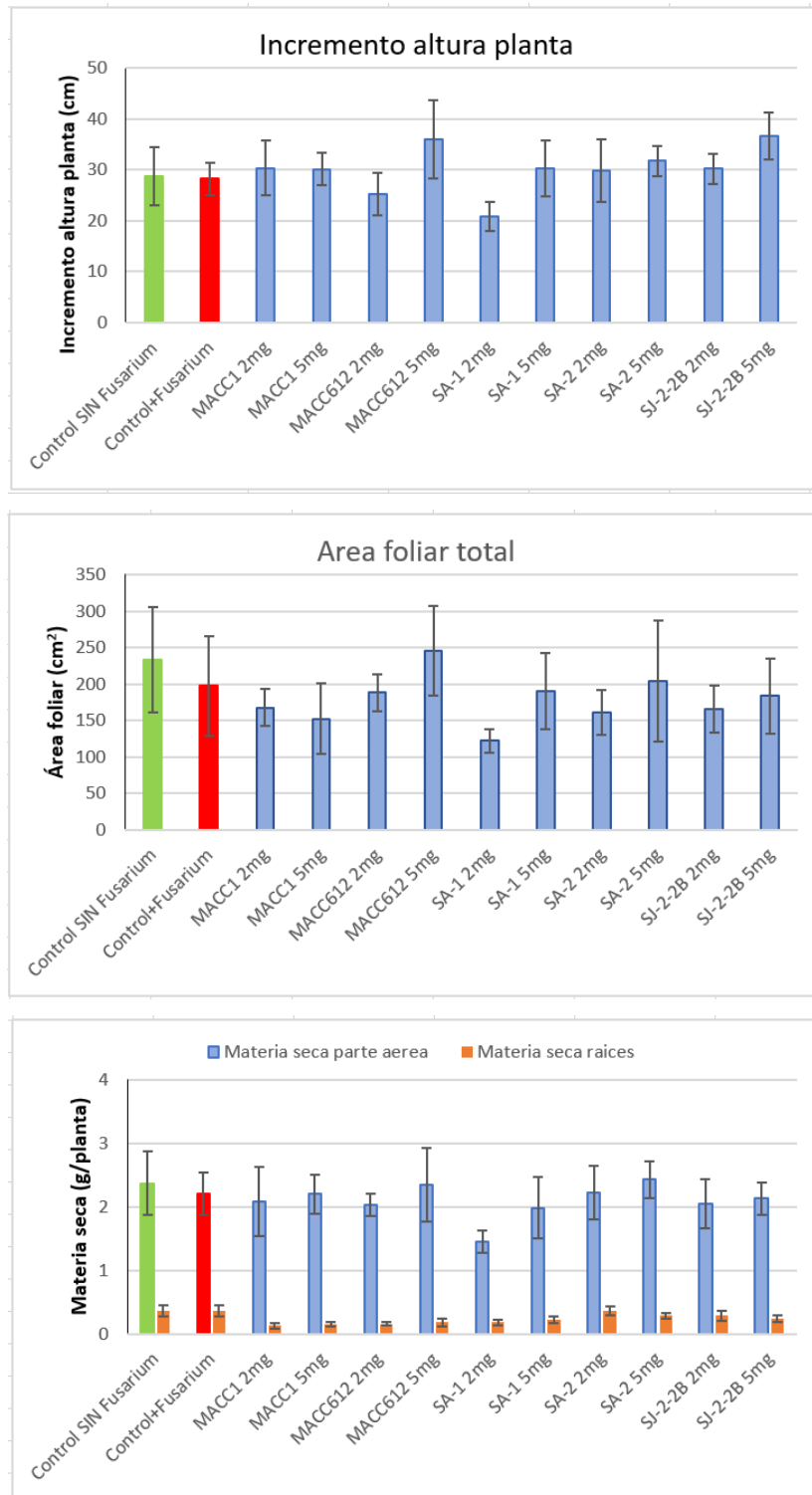
Aunque hubo diferencias entre tratamientos para los valores de incremento de altura, área foliar y materia seca de la parte aérea y raíces, observamos que, en cuanto a la comparación de los valores obtenidos de los tratamientos control con y sin *Fusarium* no hubo grandes diferencias, ya que no se mostraron efectos de la enfermedad en las plantas de control con *Fusarium* dando valores equivalentes a los de las plantas del tratamiento control sin *Fusarium*, por ejemplo, en cuanto al incremento de altura se obtuvieron valores de 28 cm y 29 cm, respectivamente. La aplicación de las diferentes microalgas y cianobacterias tuvo un ligero efecto bioestimulante evidenciado en los valores obtenidos al medir la altura de las plantas.

Posiblemente una razón de la falta de incidencia de la enfermedad puede ser debido al sustrato utilizado (turba), el cual contaba con alto contenido de materia orgánica y fertilizantes que pudieron dificultar el desarrollo del *Fusarium oxysporum* fsp. melonis, impidiendo detectar efectos adversos en las plantas y la falta de diferencias entre ambos tratamientos control. En general en todas la microalgas y cianobacterias analizadas a mayor dosis de cada una de ellas mejoró el crecimiento de las plantas, es decir, a mayor dosis de aplicación (5 mg) parece que hubo un mayor efecto positivo en el crecimiento de la planta respecto a la menor dosis (2 mg), en cambio parece que no afectó en el desarrollo radicular de las plantas (Tabla 4 y Figura 1).

**Tabla 4.** Valores de incremento de altura, materia seca aérea, materia seca de raíces y área foliar de las plantas de melón infectadas con FOM para los diferentes tratamientos de microalgas y cianobacterias evaluados.

Tratamiento	Dosis ml/planta	Incremento altura cm	Nº hojas	Materia seca aerea g/planta	Área cm <sup>2</sup> /planta	Materia seca raíces g/planta
Control Sin Fusarium		28,67±5,7 bc	9	2,37±0,5 ab	233,46±72,3 ab	0,36±0,09 a
Control+Fusarium		28,29±3,2 bc	9	2,21±0,3 ab	197,17±67,9 abc	0,37±0,09 a
MACC1 2mg	2	30,3±5,4 b	9	2,08±0,5 ab	167,78±24,8 cd	0,13±0,05 d
MACC1 5mg	5	30,1±3,2 bc	8	2,20±0,3 ab	151,98±48,7 cd	0,15±0,04 d
MACC612 2mg	2	25,2±4,2 cd	8	2,04±0,2 ab	187,87±25,6 bc	0,15±0,03 d
MACC612 5mg	5	35,99±7,7 a	8	2,35±0,6 ab	245,52±61,3 a	0,18±0,06 cd
SA-1 2mg	2	20,86±2,9 d	8	1,46±0,2 c	122,12±16,4 d	0,18±0,05 cd
SA-1 5mg	5	30,23±5,5 bc	9	1,99±0,5 b	189,76±52,7 bc	0,22±0,06 bc
SA-2 2mg	2	29,84±6,2 bc	8	2,22±0,4 ab	160,95±30,5 cd	0,36±0,07 a
SA-2 5mg	5	31,77±2,9 ab	9	2,43±0,3 a	204,41±83,2 abc	0,29±0,04 b
SJ-2-2B 2mg	2	30,17±3,0 bc	9	2,05±0,4 ab	165,89±32,1 cd	0,29±0,08 b
SJ-2-2B 5mg	5	36,7±4,6 a	9	2,13±0,3 ab	183,28±52,0 bc	0,24±0,05 bc
MDS		*	NS	*	*	*

MDS; Mínima diferencias significativas. \* Diferencias significativas al 95% de significación. NS; Diferencias no significativas. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.



**Figura 1.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para cada uno de los tratamientos evaluados.

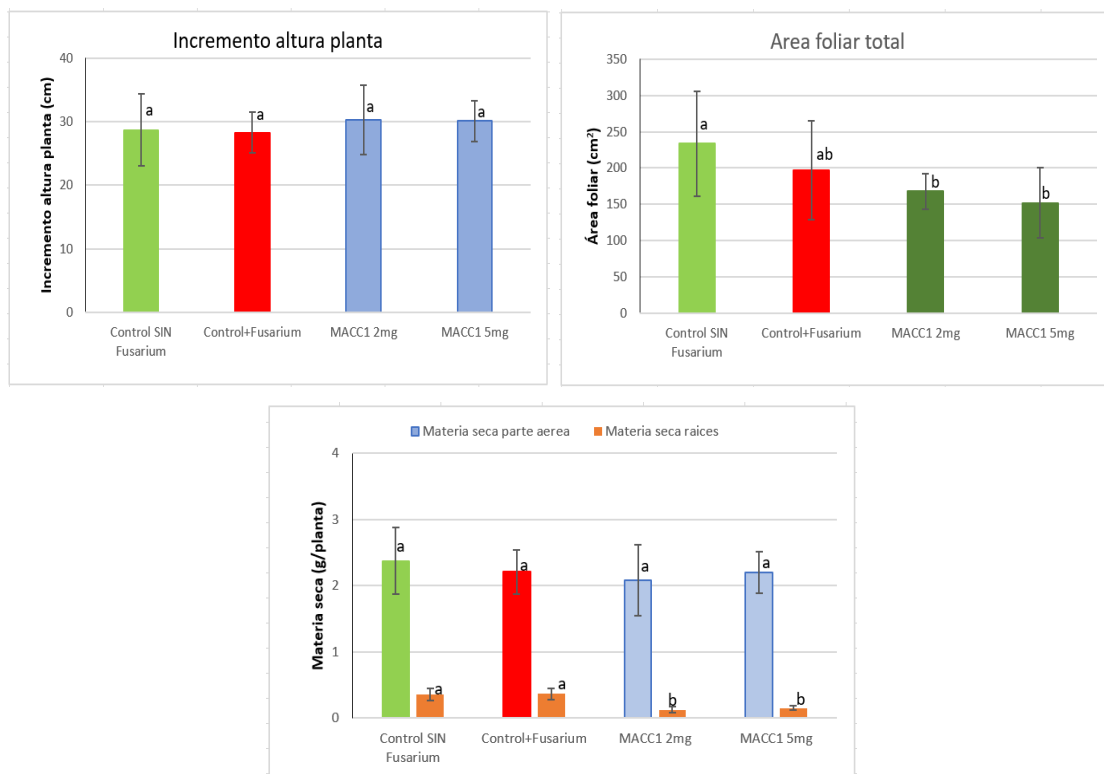
En los siguientes apartados se detallan los resultados para cada una de las microalgas y cianobacterias en comparación con los dos tratamientos control o testigo.

### 3.1.1. Cepa MACC-1

La aplicación de la microalga MACC 1 en las plantas de melón infectadas con *Fusarium*, mostraron valores estadísticamente iguales para las dos dosis aplicadas. El incremento de altura, respecto a los dos tratamientos control mostraron valores homogéneos, aunque con algo de mayor altura en los dos tratamientos con MACC 1 (30 cm) (Figura 2).

En cambio, los valores de área foliar de la parte aérea para las dos dosis (2mg y 5mg) de microalga fueron significativamente inferiores al tratamiento control sin *Fusarium* (233 cm<sup>2</sup>), presentando plantas con menor área (168 y 152 cm<sup>2</sup>, respectivamente). Algo similar se observó en la materia seca de raíces donde hubo un significativo menor desarrollo radicular (expresado como materia seca) en los dos tratamientos con la microalga MACC 1 (0,13 y 0,15 g materia seca raíces/planta) con respecto a los dos controles.

La aplicación de mayor dosis de microalga no mostró valores de crecimiento mayores respecto a la menor dosis, con valores sin diferencias significativas tanto en el crecimiento de la parte aérea de la planta como de las raíces (Figura 2).



**Figura 2.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 1 a ambas dosis.

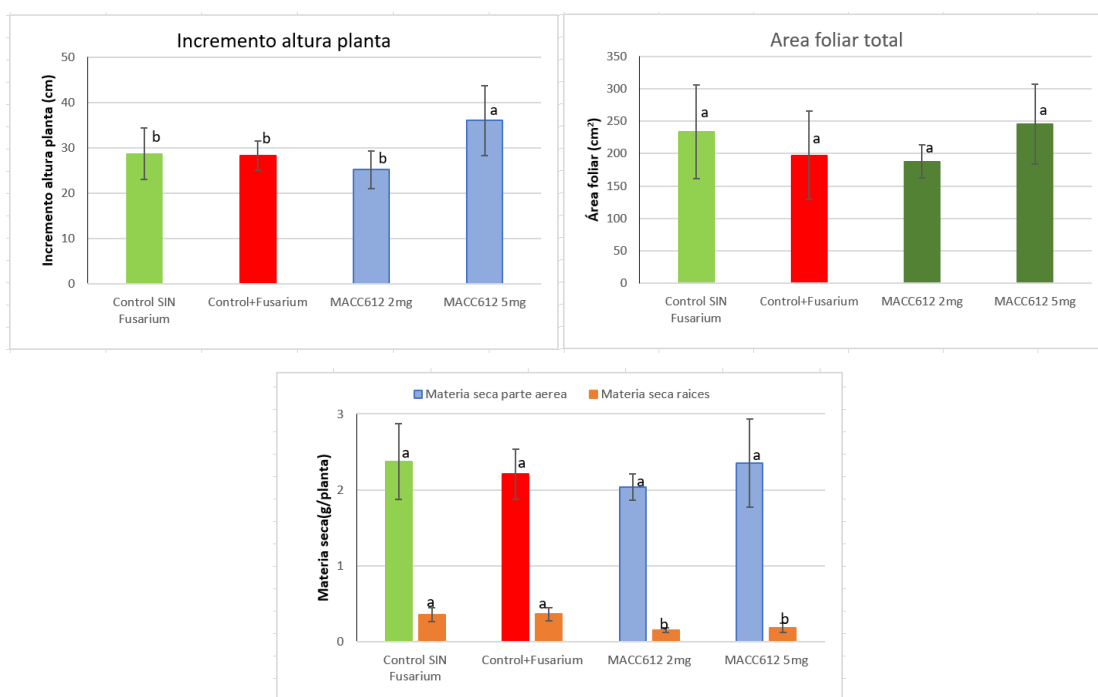
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.1.2. Cepa MACC 612

La aplicación de la cianobacteria MACC 612 en las plantas de melón infectadas con *Fusarium*, mostraron diferencias entre las dos dosis aplicadas. El tratamiento con la aplicación de MACC 612 con 5 mg mostro valores de incremento de altura significativamente mayor y un aumento en el área foliar (36 cm y 245 cm<sup>2</sup>, respectivamente) con respecto al tratamiento con menor dosis (MACC 612 2 mg). Además, el incremento de altura de las plantas del tratamiento MACC 612 5 mg fue significativamente mayor a las plantas de los dos tratamientos control con y sin *Fusarium* (Figura 3).

Los valores de materia seca de la parte aérea fueron estadísticamente iguales en las plantas de ambos tratamientos control y los tratamientos con MACC 612 para las dos dosis, en cambio hubo diferencias significativas en la materia seca de las raíces, presentando valores significativamente menores en ambos tratamientos con MACC 612 (0,15g y 0,18 g materia seca raíces/planta), respecto a los dos tratamientos control (con y sin *Fusarium*; 0,36 y 0,37 g materia seca raíces/planta) (Figura 3).

La aplicación de MACC 612 mostró valores positivos a mayor dosis de aplicación, con efecto sobre todo en el crecimiento de la parte aérea, no encontrando mejora en el desarrollo radicular.



**Figura 3.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 612 a ambas dosis.

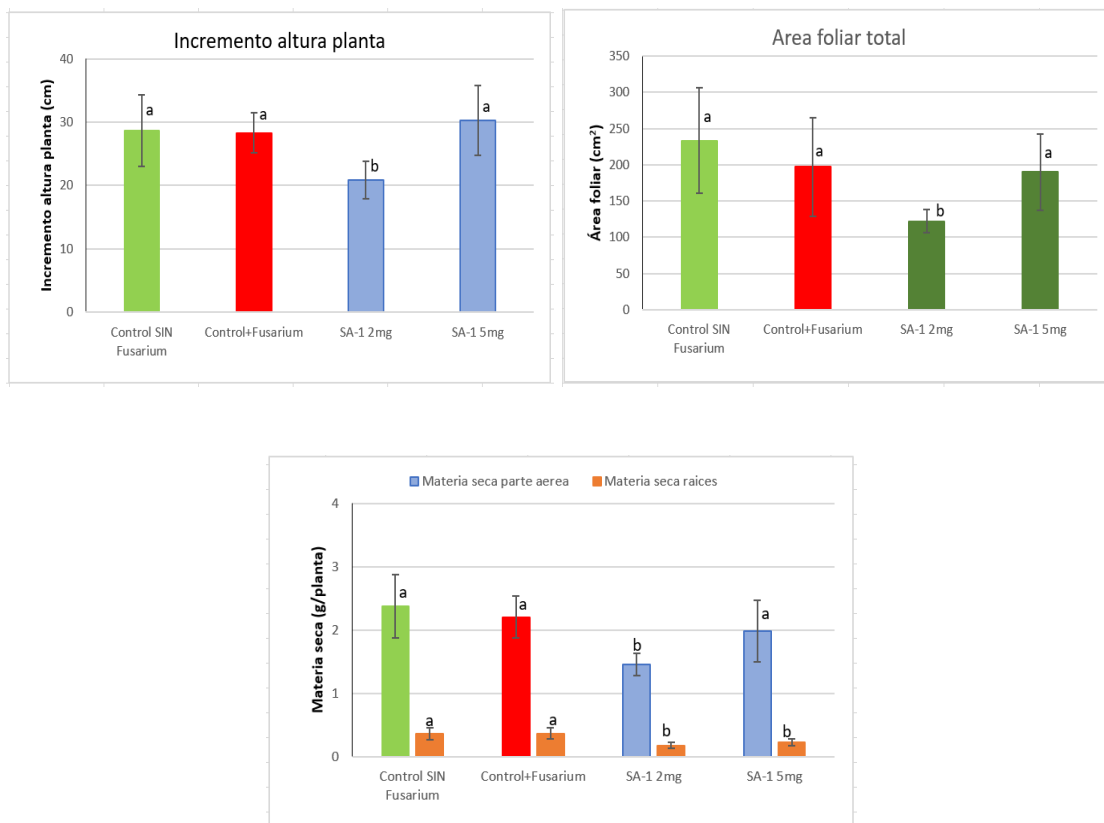
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.1.3. Cepa SA-1-6

La aplicación de la cianobacteria SA-1-6 en las plantas de melón infectadas con *Fusarium*, mostraron diferencias entre las dos dosis aplicadas. El tratamiento con la aplicación de SA-1-6 con 2 mg mostraron valores de incremento de altura (21 cm), materia seca aérea (1,5 g/planta) y área foliar (122 cm<sup>2</sup>) significativamente menores al tratamiento con mayor dosis (SA-1-6 5 mg).

Los parámetros evaluados; incremento de altura de planta, materia seca aérea, materia seca de raíces y área foliar fueron significativamente menores en las plantas del tratamiento SA-1-6 2 mg, respecto a los tratamientos control y la mayor dosis. La aplicación de esta cianobacteria a la menor dosis no mejoró el desarrollo de las plantas infectadas con *Fusarium*. Cuando se aplicó mayor dosis de SA-1-6 (5 mg) mejoró los parámetros de crecimiento de la planta, pero los valores de materia seca de las raíces fueron significativamente menores (0,22 g materia seca raíces/planta) con respecto a los tratamientos control (Figura 4).

La aplicación de SA-1-6 solo mostró valores más positivos a mayor dosis de aplicación, con valores estadísticamente iguales en el crecimiento de la planta a los tratamientos control, pero no hubo mejora en el desarrollo radicular, mostrando valores de materia seca de raíces significativamente menores a los tratamientos control (Figura 4).



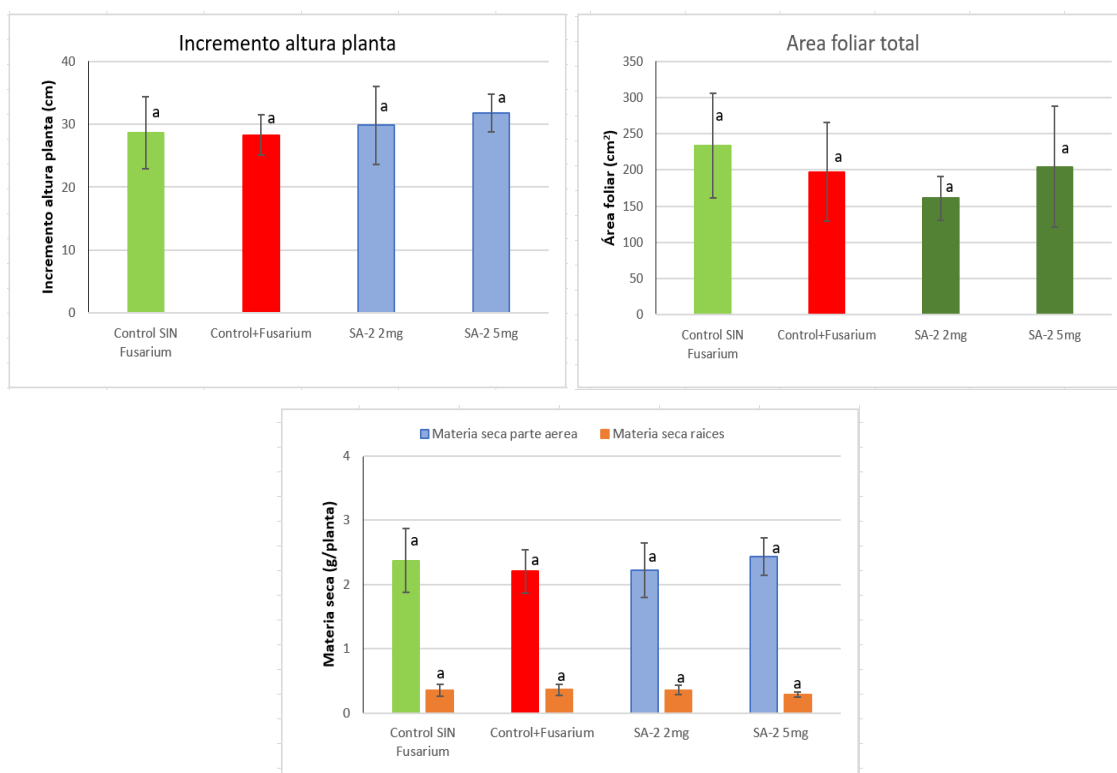
**Figura 4.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-1-6 a ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.1.4. Cepa SA-2-7

La aplicación de la cianobacteria SA-2-7 en las plantas de melón infectadas con *Fusarium*, mostraron valores sin diferencias estadísticamente significativas en los dos tratamientos con SA-2-7 comparado con los tratamientos control. El tratamiento con la aplicación de SA-2-7 con 2 mg mostró valores de área foliar menores ( $161 \text{ cm}^2$ ) al tratamiento control sin *Fusarium*, pero no fueron significativamente diferentes (Figura 5).

La aplicación de SA-2-7 en las plantas de melón con *Fusarium* mostraron parámetros sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas del tratamiento control sin *Fusarium*, de modo que atenuó el posible efecto negativo de *Fusarium* en el desarrollo de las plantas de melón. El estado de las plantas de melón con *Fusarium* mejoró con la mayor dosis de la cianobacteria (5 mg), con valores estadísticamente iguales a las plantas sin *Fusarium* (Figura 5).



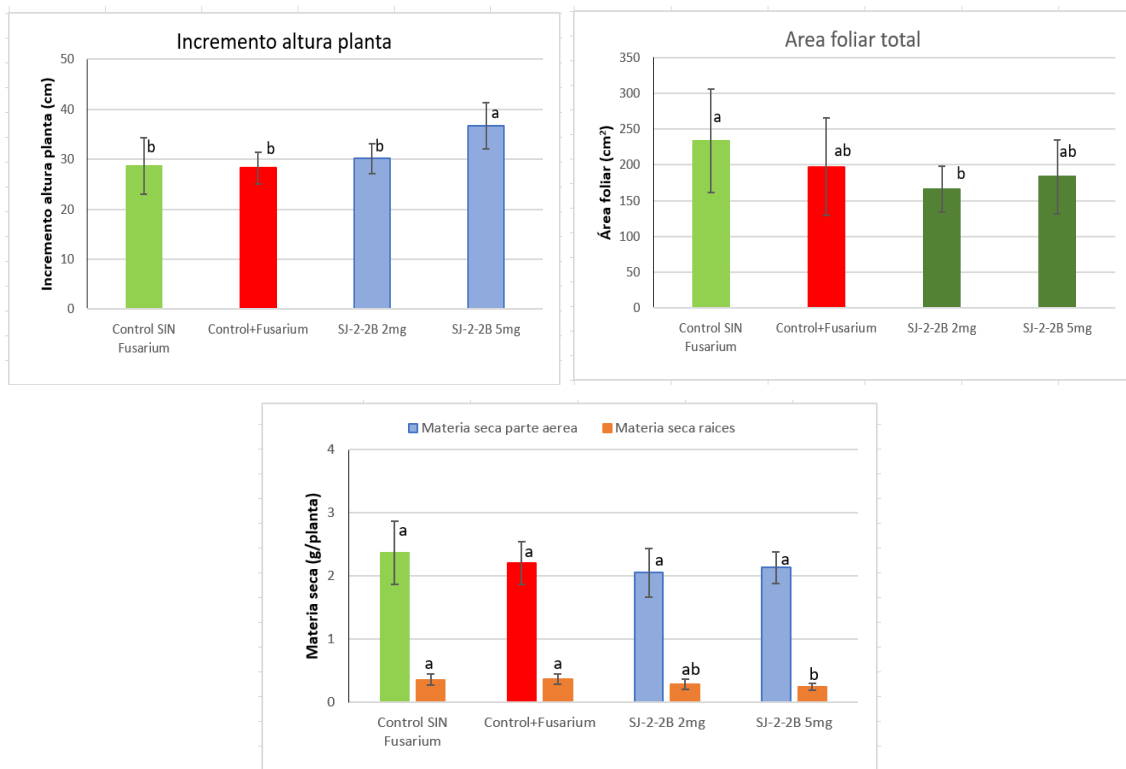
**Figura 5.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-2-7 a ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.1.5. Cepa SJ-2-2B

La aplicación de la microalga SJ-2-2B en las plantas de melón infectadas con *Fusarium*, mostraron valores sin diferencias estadísticamente significativas en los dos tratamientos con SJ-2-2B, con valores ligeramente mayores a mayor dosis de aplicación (5 mg). El tratamiento con la aplicación de SJ-2-2B con 5 mg mostró valores de incremento de altura de las plantas (37 cm) significativamente mayores al tratamiento con menor dosis SJ-2-2B 2 mg (30 cm) (Figura 6).

La aplicación de SJ-2-2B en las plantas de melón con *Fusarium* mostraron valores heterogéneos según los parámetros analizados. La aplicación de la microalga SJ-2-2B mejoró el crecimiento de la planta con valores significativamente mayores en el tratamiento SJ-2-2B 5 mg respecto a los dos tratamientos control y al tratamiento SJ-2-2B 2 mg, en cuanto al desarrollo de la parte aérea, área foliar y desarrollo de raíces, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se observaron valores más altos en el control sin *Fusarium* (Figura 6).



**Figura 6.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de melón infectadas con FOM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SJ-2-2B a ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### **3.2. Ensayos N° 2. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre XC, y efectos sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate.**

No se apreció síntomas de XC en las plantas de tomate en ninguno de los tratamientos analizados, por lo que nos centraremos en los diferentes parámetros de crecimiento analizados en las plantas de tomate de cada uno de los tratamientos y los posibles efectos en desarrollo de las plantas.

Si observamos la Figura 7 y las tablas 5 y 6, la mayoría de las microalgas y cianobacterias evaluadas mejoraron los parámetros de crecimiento analizados. Aunque no hubo síntomas visibles en las plantas debido a la enfermedad ocasionada por XC, en ningún tratamiento, si se observó un menor desarrollo de las plantas en los tratamientos con la bacteria XC, pero cabe resaltar que la mayoría de estos tratamientos tuvo un mejor desarrollo de las plantas con la aplicación de las cianobacterias y microalgas, excepto con la aplicación de MACC 1, en donde incluso algunos valores de crecimiento fueron menores al tratamiento control con XC.

Las plantas de tomate con los tratamientos SA-2-7 (ambas dosis), MACC 612 5 mg, SA-1-6 (ambas dosis) y SJ-2-2B (ambas dosis) presentaron mayor crecimiento vegetativo que las plantas control con XC, con mayor incremento de altura (de entre 10 a 13 cm respecto a 8 cm del tratamiento control), materia seca de la parte aérea (de entre 1,3 a 1,6 g/planta respecto a 1,0 g/planta del tratamiento control) y área foliar (181,6 a 195,8 cm<sup>2</sup> con respecto a 131,4 cm<sup>2</sup> del tratamiento control), aunque con diferencias significativas respecto al tratamientos control con XC, y valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas del tratamiento control sin XC. En el número de hojas no se encontraron diferencias entre tratamientos (Tabla 5).

Otro parámetro de crecimiento de la planta es el diámetro del tallo, medido en parte basal de la planta, donde se observó que el diámetro del tallo de las plantas con la aplicación de las microalgas y cianobacterias SA-1-6, SA-2-7 fueron las que presentaron mayores valores (4,7 a 5 mm) y estadísticamente iguales al control sin XC (4,6 mm), siendo significativamente mayores al tratamiento control con XC (4,2 mm) (Tabla 6).

El crecimiento radicular de las plantas de tomate, medido como materia seca y longitud, en general los mayores valores se alcanzaron en los tratamientos SA-1-6, SA-2-7 (para ambas dosis) y MACC 612 5 mg, con valores ligeramente superiores incluso al tratamiento control sin XC (Tabla 6 y Figura 7).

En general en todas la microalgas y cianobacterias analizadas a la mayor dosis de cada una de ellas mejoró el crecimiento de las plantas, es decir, a mayor dosis de aplicación (5 mg) se apreció un mayor efecto positivo en el crecimiento de la planta respecto a la menor dosis (2 mg). El desarrollo radicular también mejoró con la mayor cantidad de microalga y cianobacteria, mostrando un efecto positivo en todos los aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, con menor incidencia de las microalgas MACC 1 y SJ-2-2B.



**Tabla 5.** Valores de incremento de altura, materia seca aérea, área foliar, número de hojas y hojas con síntomas de las plantas de tomate con XC para los diferentes tratamientos de microalgas y cianobacterias evaluados.

Tratamiento	Dosis	Incremento altura	Materia seca aérea	Área foliar	Nº hojas	Síntomas hojas
	ml/planta	cm	g/planta	cm <sup>2</sup> /planta	nº	nº
Control sin Xanthomonas		14,25±2,90 a	1,42±0,25 ab	205,7±48,1 ab	6	1
Control+Xanthomonas		8,21±2,37 de	1,01±0,36 de	131,4±36,6 cd	6	2
MACC 1 2mg	2	5,21±2,47 f	0,78±0,36 e	99,4±33,1 d	5	1
MACC 1 5mg	5	7,76±1,74 e	0,99±0,13 de	158,7±33,3 bc	6	2
MACC 612 2mg	2	9,81±3,58 cde	1,04±0,19 cde	130,8±38,1 cd	6	2
MACC 612 5mg	5	11,91±2,39 bc	1,61±0,36 a	189,2±26,3 ab	6	2
SA-1 2mg	2	11,32±2,3 bc	1,52±0,17 ab	190,1±33,1 ab	7	2
SA-1 5mg	5	11,35±2,22 bc	1,45±0,30 ab	160,5±56,2 bc	7	2
SA-2 2mg	2	11,73±2,11 bc	1,46±0,11 ab	195,8±66,2 ab	7	2
SA-2 5mg	5	13,68±2,95 ab	1,53±0,37 ab	228,6±56,0 a	7	1
SJ-2-2B 2mg	2	10,34±3,16 cd	1,32±0,36 abc	181,6±18,6 b	6	2
SJ-2-2B 5mg	5	13,19±1,95 ab	1,29±0,27 bcd	183,5±24,8 b	7	2
<b>MDS</b>		*	*	*	<b>NS</b>	<b>NS</b>

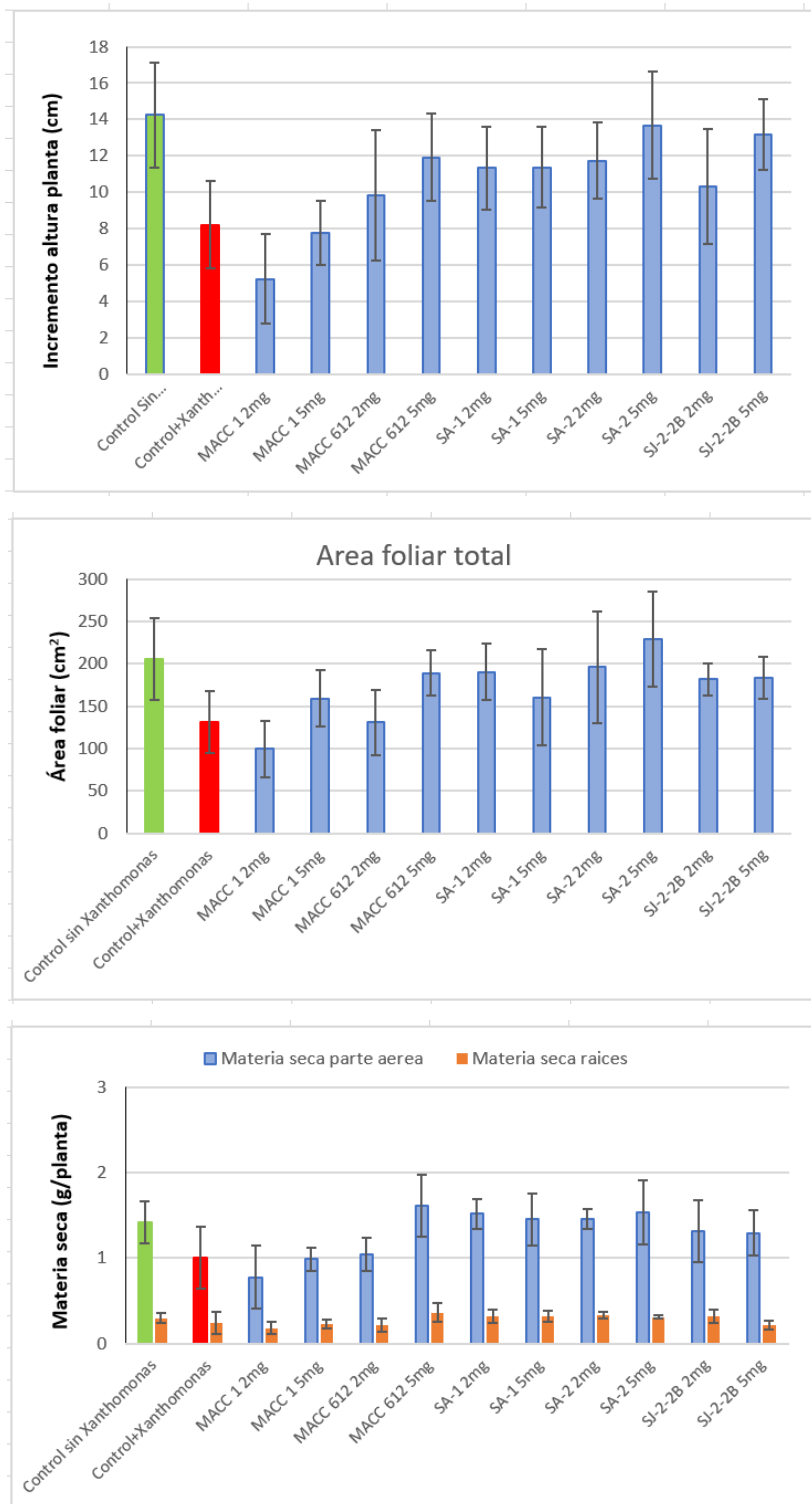
MDS; Mínima diferencias significativas. \* Diferencias significativas al 95% de significación. NS; Diferencias no significativas. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

**Tabla 6.** Valores de materia seca, longitud de raíces y calibre de tallo de las plantas de tomate con XC para los diferentes tratamientos de microalgas y cianobacterias evaluados.

Tratamiento	Dosis	Materia seca raíces	Longitud raíces	Calibre tallo
	ml/planta	g/planta	cm	mm
Control sin Xanthomonas		0,30±0,06 abc	11,63±1,51 def	4,56±0,29 abcd
Control+Xanthomonas		0,24±0,13 bcd	12,10±1,37 bcdef	4,23±0,78 cd
MACC 1 2mg	2	0,18±0,07 d	9,14±2,23 g	3,71±0,53 e
MACC 1 5mg	5	0,23±0,05 cd	10,62±1,94 efg	4,14±0,19 de
MACC 612 2mg	2	0,22±0,08 cd	10,24±1,63 fg	4,16±0,16 de
MACC 612 5mg	5	0,36±0,11 a	13,96±1,71 ab	4,60±0,44 abcd
SA-1 2mg	2	0,32±0,08 ab	13,29±2,16 abcd	5,00±0,53 a
SA-1 5mg	5	0,32±0,07 a	12,39±2,27 bcde	4,73±0,44 ab
SA-2 2mg	2	0,33±0,04 a	13,64±1,49 abc	4,79±0,34 ab
SA-2 5mg	5	0,31±0,02 ab	14,49±1,85 a	4,80±0,52 ab
SJ-2-2B 2mg	2	0,32±0,07 ab	12,50±1,29 bcde	4,47±0,45 bcd
SJ-2-2B 5mg	5	0,22±0,05 cd	11,79±1,75 cdef	4,70±0,43 abc
<b>MDS</b>		*	*	*

MDS; Mínima diferencias significativas. \* Diferencias significativas al 95% de significación. NS; Diferencias no significativas. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

EFFECTO DE LAS CIANOBACTERIAS Y MICROALGAS EN EL CONTROL DE ENFERMEDADES FITOPATÓGENAS A PARTIR DE SU ACTIVIDAD BIOESTIMULANTE EN CULTIVOS EN HORTÍCOLAS.



**Figura 7.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para cada uno de los tratamientos evaluados.

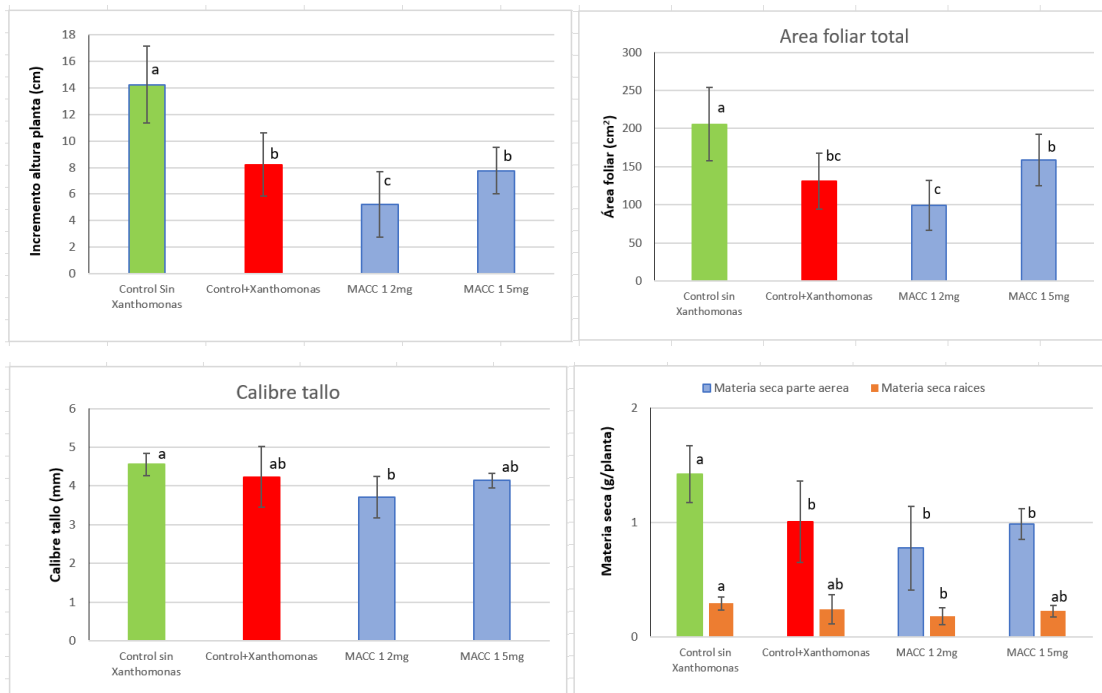
En los siguientes apartados se detallan los resultados para cada una de las microalgas y cianobacterias en comparación con los dos tratamientos control o testigo.

### 3.2.1. Cepa MACC 1

La aplicación de la microalga MACC 1 en las plantas de tomate infectadas con XC mostraron en general en todos los parámetros evaluados valores significativamente menores al tratamiento control sin XC para ambas dosis (2 mg y 5 mg), con valores sin diferencias estadísticamente significativas al tratamiento control con XC por lo que no se mostró un efecto positivo de la aplicación de la microalga MACC 1 en ambas dosis en crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate en presencia del hongo patógeno XC (Figura 8).

Los valores para ambas dosis (2 mg y 5 mg) de área foliar (99,4 y 158,7 cm<sup>2</sup>), diámetro de tallo (3,7 y 4,1 mm), materia seca de la parte aérea (0,78 y 0,99 g/planta) y raíces (0,18 y 0,23 g/planta) fueron significativamente menores al tratamiento control sin XC. En el caso del incremento de altura de plantas los valores fueron significativamente menores (5,2 y 7,8 cm) a los dos tratamientos control (con XC 14,2 y sin XC 8,2 cm), la aplicación de la microalga MACC 1 no mejoró ningún parámetro de crecimiento de las plantas de tomate y no atenuar el efecto de la enfermedad ocasionada por la bacteria XC (Figura 8).

La aplicación de mayor dosis de microalga mostró valores mayores de crecimiento de las plantas de tomate tanto en la parte aérea como en las raíces respecto al tratamiento con MACC 1 2 mg, pero los valores de crecimiento de estas plantas no presentaron diferencias estadísticamente significativas a los valores de las plantas control con XC.



**Figura 8.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 1 ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

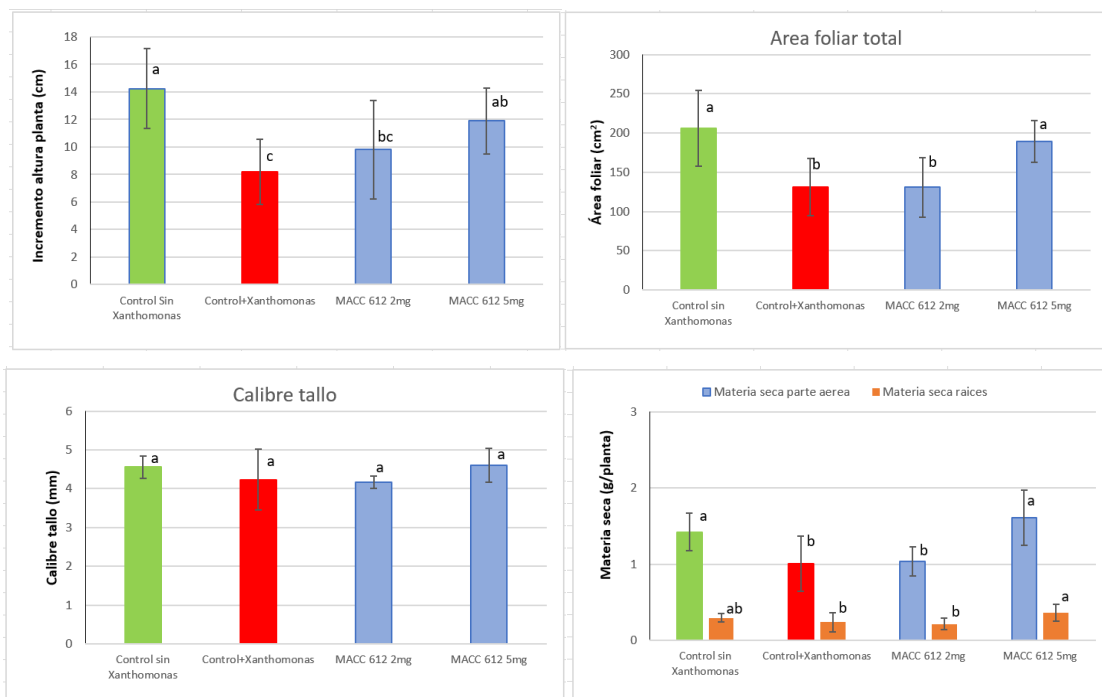
### 3.2.2. Cepa MACC 612

La aplicación de la cianobacteria MACC 612 en las plantas de tomate infectadas con XC mostraron diferencias entre las dos dosis aplicadas. El tratamiento con la aplicación de MACC 612 con 5 mg mostraron valores mayores en los diferentes parámetros de crecimiento evaluados respecto a la aplicación de la menor dosis, con valores semejantes a las plantas de tomate del tratamiento control sin XC y valores significativamente más elevados en la mayoría de los parámetros evaluados, respecto al tratamiento control con XC (Figura 9).

El incremento de altura de las plantas de tomate fue significativamente mayor en las plantas control sin XC (14 cm) al resto de tratamientos. En cambio, los demás parámetros no presentaron diferencias entre los tratamientos MACC 612 5 mg y control sin XC y significativamente mayores a los otros dos tratamientos MACC 612 2 mg y control con XC (Figura 9).

El desarrollo radicular de las plantas de tomate también se vio afectado sobre todo la materia seca, donde las plantas con el tratamiento MACC 612 5 mg (0,36 g/planta) fueron significativamente mayores a los tratamientos MACC 612 2 mg (0,22 g/planta) y control con XC (0,24 g/planta) (Figura 9).

En general al aplicar mayor cantidad de MACC 612 posiblemente redujeron los efectos negativos de la bacteria patógena XC estimulando el crecimiento de las plantas y mejorando todos los valores de crecimiento respecto al control con XC y con valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas sin esta bacteria patógena.



**Figura 9.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 612 ambas dosis.

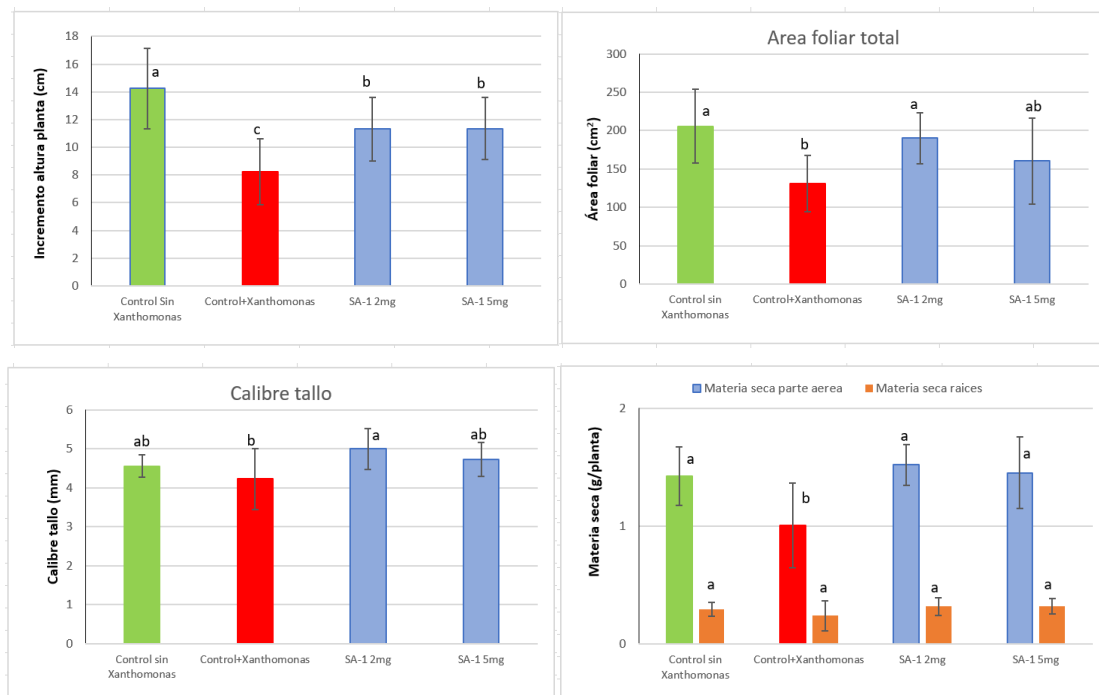
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.2.3. Cepa SA-1-6

La aplicación de la cianobacteria SA-1-6 en las plantas de tomate infectadas con XC mostraron valores sin diferencias en los parámetros evaluados para ambas dosis aplicadas, además mejoraron todos los valores de crecimiento de las plantas de tomate respecto a las plantas del tratamiento control con XC y valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas del tratamiento sin XC e incluso mejorando los valores de diámetro de tallo y desarrollo radicular (Figura 10).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate analizado con los parámetros de materia seca aérea (1,5 g/planta para ambas dosis), área foliar (para 2 mg 190 y 160 cm<sup>2</sup> con 5 mg) y diámetro de tallo (para 2 mg 5 y 4,7 mm para 5 mg) fueron mayores significativamente en las plantas de los tratamientos SA-1-6 2 mg y SA-1-6 5 mg respecto al tratamiento control con XC y con valores sin diferencias con las plantas del tratamiento control sin XC (Figura 10). Las plantas que alcanzaron mayor altura fueron las plantas del tratamiento control sin XC (14 cm), con valores significativamente mayores a los dos tratamientos con SA-1-6 y el tratamiento control con XC, aunque esto no determinó mayor desarrollo aérea de las plantas con este tratamiento (Figura 10).

El desarrollo radicular de las plantas de tomate también se vio afectado de modo positivo con la aplicación de SA-1-6 en ambas dosis, siendo mayor, aunque no hubo diferencias significativas respecto a las plantas de tomate con XC (Figura 10).



**Figura 10.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-1-6 ambas dosis.

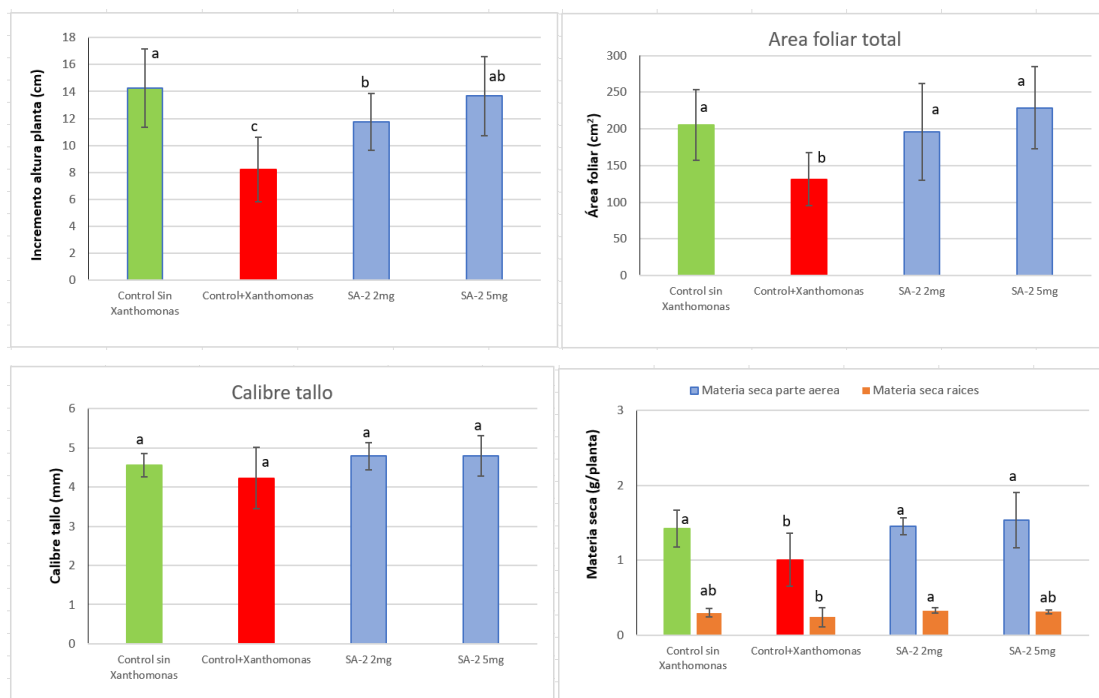
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.2.4. Cepa SA-2-7

La aplicación de la cianobacteria SA-2-7 en las plantas de tomate infectadas con XC mostraron valores sin diferencias estadísticamente significativas en los parámetros evaluados para ambas dosis aplicadas, con un mayor valor en el crecimiento aéreo de las plantas a las que se aplicaron más dosis (5 mg). Además, mejoraron todos los valores de crecimiento de las plantas de tomate respecto a las plantas del tratamiento control con XC y valores sin diferencias con las plantas del tratamiento sin XC e incluso mejorando los valores de diámetro de tallo y desarrollo radicular (Figura 11).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate analizado con los parámetros de materia seca aérea y área foliar fueron mayores significativamente en las plantas de los tratamientos SA-2-7 2 mg (1,5 g/planta; 195,8 cm<sup>2</sup>) y SA-2-7 5 mg (1,5 g/planta; 228,6 cm<sup>2</sup>) respecto al tratamiento control con XC (1 g/planta; 131,4 cm<sup>2</sup>) y valores sin diferencias significativas a las plantas del tratamiento control sin XC (1,4 g/planta; 205,7 cm<sup>2</sup>). La aplicación de SA-2-7 mejoró el desarrollo de las plantas atenuando los efectos negativos de XC, con crecimientos similares a las plantas sin la bacteria patógena.

El desarrollo radicular de las plantas de tomate también se vio afectado de modo positivo con la aplicación de SA-2-7 en ambas dosis, siendo significativamente mayor la materia seca y longitud de raíces en ambas dosis de SA-2-7 respecto a las plantas de tomate del tratamiento control con XC y con valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas de control sin XC (Tabla 6 y Figura 11).



**Figura 11.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-2-7 ambas dosis.

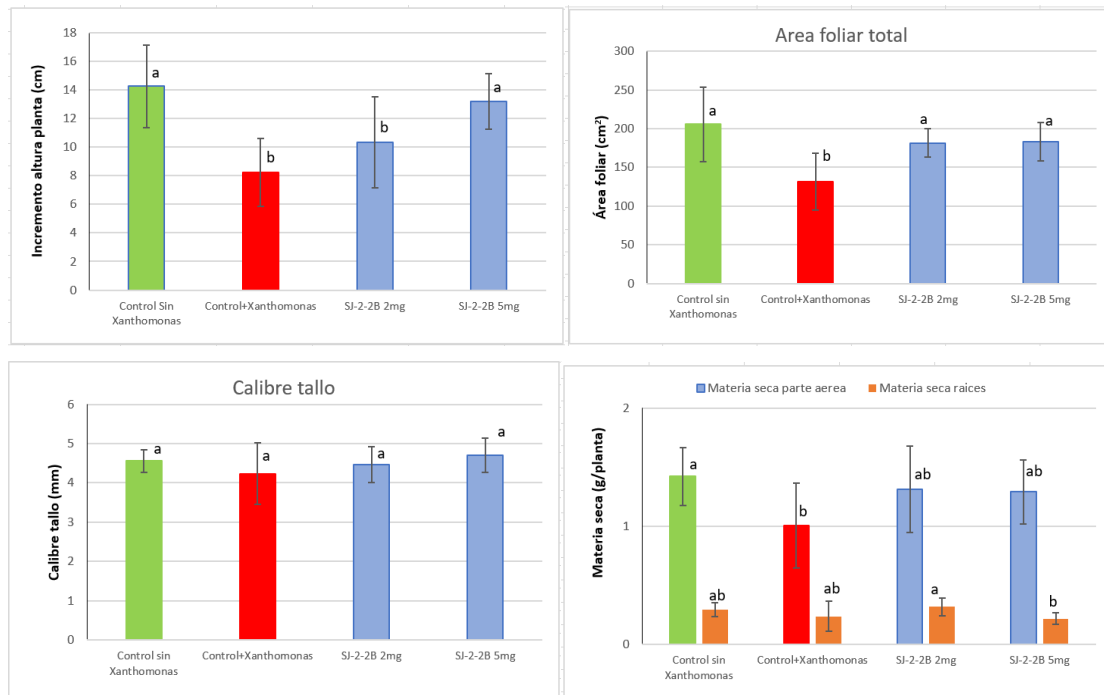
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.2.5. Cepa SJ-2-2B

La aplicación de la microalga SJ-2-2B en las plantas de tomate infectadas con XC, presentó valores diferentes según la dosis de aplicación. En general se mejoró todos los valores de crecimiento aérea de las plantas de tomate respecto a las plantas del tratamiento control con XC, con valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas del tratamiento sin XC sobre todo en las plantas de tomate con mayor dosis de aplicación (5 mg) que incluso mejoró los valores de diámetro de tallo (Figura 12).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate analizado con los parámetros de incremento de altura de planta y área foliar fueron mayores significativamente en las plantas del tratamiento SJ-2-2B 5 mg (13,2 cm; 183,5 cm<sup>2</sup>) respecto al tratamiento control con XC y con valores estadísticamente iguales a las plantas del tratamiento control sin XC. En el contenido de materia seca, las plantas de los dos tratamientos con SJ-2-2B (1,32 y 1,29 g/planta respectivamente para cada dosis) fueron significativamente mayores al tratamiento control con XC. En general los valores de los diferentes parámetros de crecimiento aéreo fueron mayores en las plantas del tratamiento SJ-2-2B 2 5mg, respecto a las plantas donde se aplicó solo 2 mg, mostrando un efecto más positivo sobre el crecimiento de las plantas a mayor dosis de la microalga (Figura 12).

Sin embargo, en el desarrollo radicular de las plantas de tomate solo se vio afectado de modo positivo con la aplicación de SJ-2-2B 2 mg, no encontrando efectos positivos con la dosis de 5 mg, esto difiere de los resultados de la parte aérea, pero al ser una bacteria patógena aérea los resultados en el crecimiento radicular no muestran valores relacionados con el patógeno (Figura 12).



**Figura 12.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con XC para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SJ-2-2B ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### **3.3. Ensayos N° 3. Efecto supresivo de las diferentes cianobacterias y microalgas objeto de estudio sobre CMM, y efectos sobre el crecimiento vegetativo y radicular de las plantas de tomate.**

No se apreció síntomas de CMM en las plantas de tomate en ninguno de los tratamientos analizados, por lo que nos centraremos en los diferentes parámetros de crecimiento analizados en las plantas de cada uno de los tratamientos y los posibles efectos en desarrollo de las plantas han tenido las diferentes microalgas y cianobacteria.

En la Figura 13 y las tablas 7 y 8 se observa que la mayoría de las microalgas y cianobacterias evaluadas mejoraron los parámetros de crecimiento analizados, respecto al tratamiento control con CMM (incremento altura 9,4 cm; materia seca 1,4 g/planta y área foliar 159,6 cm<sup>2</sup>), con valores que se aproximaron a las plantas de tomate a las que no se aplicó patógeno (incremento altura 14,6 cm; materia seca 1,8 g/planta y área foliar 192 cm<sup>2</sup>), e incluso en algunos tratamientos se mejoró los valores de crecimiento respecto al tratamientos control sin CMM.

El incremento de altura de las plantas de tomate para los diferentes tratamientos fue significativamente mayores al tratamiento control con CMM, con valores que oscilaron entre 13,6 cm para el tratamiento MACC 1 5 mg a 17,1 cm de las plantas del tratamiento SJ-2-2B 2 mg. La materia seca de la parte aérea y el área foliar fue significativamente mayor en todos los tratamientos con respecto al tratamiento control con CMM, con valores máximos de 2,4 g/planta y 240,8 cm<sup>2</sup> del tratamiento SJ-2-2B 2 mg a valores mínimos de 1,5 g/planta de MACC 1 2mg a 183,8 cm<sup>2</sup> de SA1 5 mg, respectivamente.

En el número de hojas no se encontraron diferencias entre tratamientos.

En este ensayo a mayor dosis de aplicación de cada microalga y cianobacteria no mostró mayores efectos positivos en el crecimiento de las plantas, presentando valores sin diferencias estadísticamente significativas en ambas dosis de aplicación para cada microalga y cianobacteria, e incluso en la microalga SJ-2-2B a la mayor dosis el desarrollo de la parte aérea y radicular (2,4 g materia seca aérea/planta y 0,4 g materia seca raíces/planta) fue incluso menor respecto a la menor dosis (1,9 g materia seca aérea/planta y 0,3 g materia seca raíces/planta) (Tablas 7 y 8).



**Tabla 7.** Valores de incremento de altura, materia seca aérea, área foliar, número de hojas y hojas con síntomas de las plantas de tomate con CMM para los diferentes tratamientos de microalgas y cianobacterias evaluados.

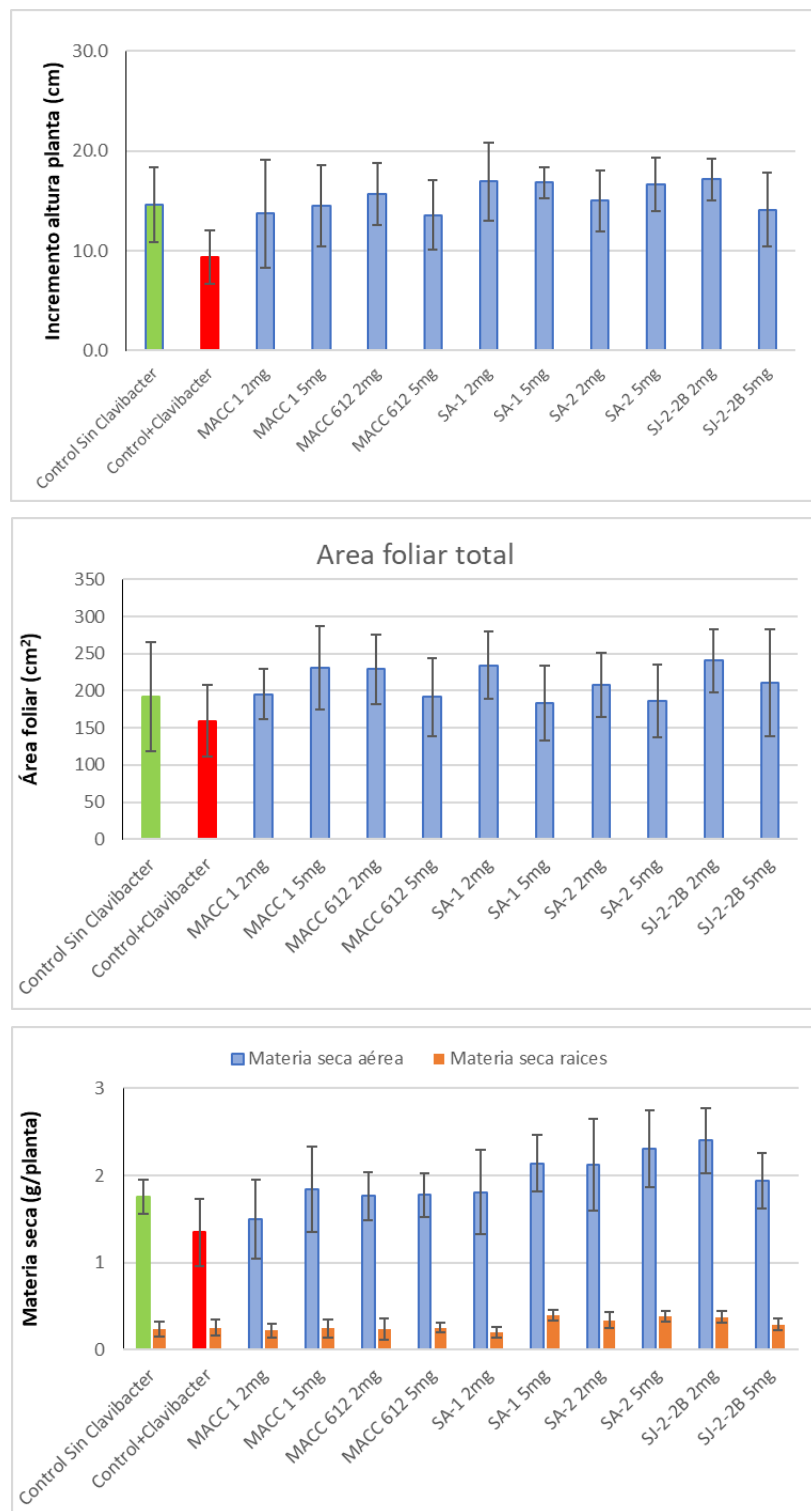
Tratamiento	dosis	incremento altura	peso seco total	area foliar	hojas total	síntomas hojas
	ml/planta	cm	g/planta	cm <sup>2</sup> /planta	nº	nº
Control Sin Clavibacter		14,60±3,8 abc	1,76±0,20 cde	192,0±72,8 abc	8	2
Control+Clavibacter		9,39±2,7 d	1,35 ±0,39 e	159,6±48,5 c	6	3
MACC 1 2mg	2	13,72±5,4 bc	1,50±0,45 de	195,3±33,4 abc	7	2
MACC 1 5mg	5	14,54±4,1 abc	1,84±0,49 cd	231,2±56,6 ab	7	2
MACC 612 2mg	2	15,68±3,1 abc	1,76±0,27 cde	228,7±46,3 ab	8	2
MACC 612 5mg	5	13,57±3,5 c	1,78±0,25 cd	191,8±52,6 abc	6	2
SA-1 2mg	2	16,95±3,9 a	1,81±0,49 cd	234,4±45,8 ab	8	2
SA-1 5mg	5	16,85±1,6 a	2,14±0,32 abc	183,8±50,6 bc	8	3
SA-2 2mg	2	15,04±3,1 abc	2,12±0,53 abc	208,0±43,1 abc	7	3
SA-2 5mg	5	16,70±2,7 ab	2,30±0,44 ab	186,1±49,5 abc	8	3
SJ-2-2B 2mg	2	17,14±2,1 a	2,40±0,38 a	240,8±42,6 a	8	3
SJ-2-2B 5mg	5	14,12±3,7 abc	1,94±0,32 bc	211,0±72,4 abc	7	3
<b>MDS</b>		*	*	*	NS	NS

MDS; Mínima diferencias significativas. \* Diferencias significativas al 95% de significación. NS; Diferencias no significativas. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

**Tabla 8.** Valores de materia seca y longitud de raíces y calibre de tallo de las plantas de tomate con CMM para los diferentes tratamientos de microalgas y cianobacterias evaluados.

Tratamiento	dosis	peso raíces	longitud raíces	calibre tallo
	ml/planta	g/planta	cm	mm
Control Sin Clavibacter		0,24±0,09 cd	12,6±2,2 abc	4,74±0,75 bcd
Control+Clavibacter		0,25±0,09 bcd	11,3±1,7 c	4,47±0,49 d
MACC 1 2mg	2	0,22±0,08 cd	12,7±1,8 abc	4,42±0,50 d
MACC 1 5mg	5	0,24±0,10 cd	12,1±2,0 bc	4,70±0,55 cd
MACC 612 2mg	2	0,24±0,12 cd	12,7±0,9 abc	5,02±0,68 abc
MACC 612 5mg	5	0,26±0,05 bcd	12,1±1,4 bc	4,76±0,33 cd
SA-1 2mg	2	0,20±0,07 d	10,9±1,3 c	4,68±0,61 cd
SA-1 5mg	5	0,40±0,06 a	13,9±2,0 ab	5,29±0,30 ab
SA-2 2mg	2	0,34±0,09 ab	12,5±1,8 bc	4,87±0,49 abcd
SA-2 5mg	5	0,38±0,06 a	14,6±2,5 a	5,12±0,23 abc
SJ-2-2B 2mg	2	0,38±0,06 a	14,6±2,9 a	5,33±0,42 a
SJ-2-2B 5mg	5	0,29±0,07 bc	12,4±1,2 bc	5,08±0,35 abc
<b>MDS</b>		*	*	*

MDS; Mínima diferencias significativas. \* Diferencias significativas al 95% de significación. NS; Diferencias no significativas. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.



**Figura 13.** Valores finales de incremento de altura, área foliar y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con CMM para cada uno de los tratamientos evaluados. Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

En los siguientes apartados se detallan los resultados para cada una de las microalgas y cianobacterias en comparación con los dos tratamientos control o testigo.

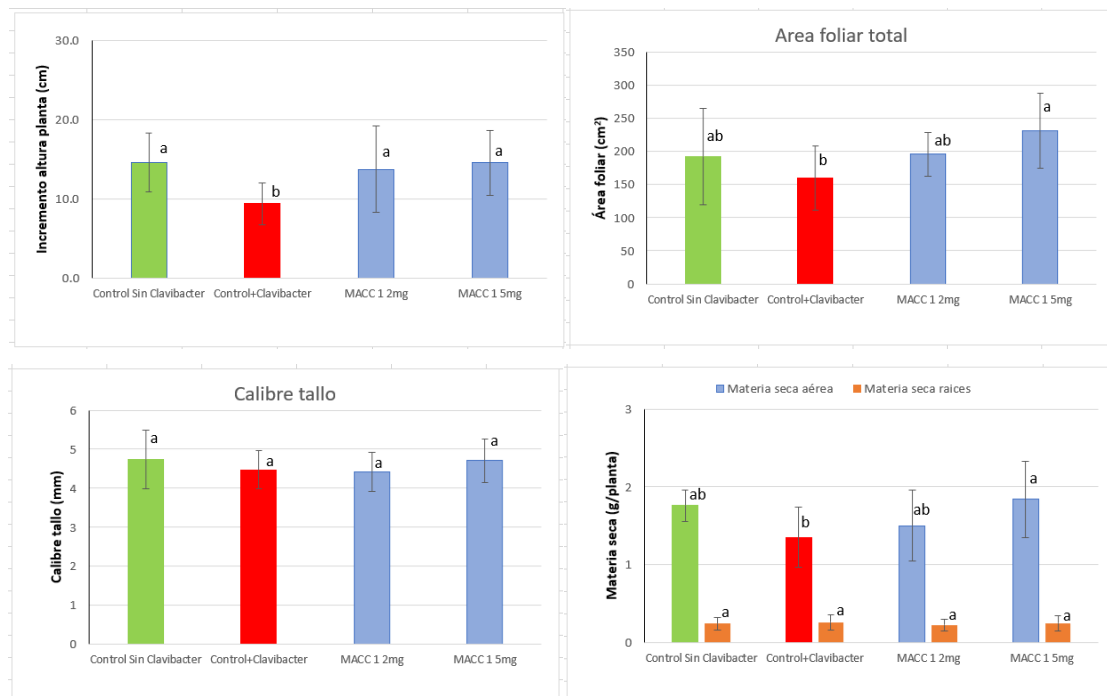
### 3.3.1. Cepa MACC 1

La aplicación de la microalga MACC 1 en las plantas de tomate infectadas con CMM, mostraron en general en todos los parámetros evaluados valores significativamente mayores al tratamiento control con CMM para ambas dosis, con valores sin diferencias estadísticamente significativas al tratamiento control sin CMM, por lo que hubo un efecto positivo en el crecimiento de las plantas, atenuando los efectos adversos de CMM (Figura 14).

Los valores respectivos para cada tratamiento (ambas dosis; 2 y 5 mg) de área foliar (195,3 y 231,2 cm<sup>2</sup>), incremento de altura (13,7 y 14,5 cm) y materia seca de la parte aérea (1,5 y 1,8 g/planta) fueron significativamente mayores al tratamiento control con CMM (159,6 cm<sup>2</sup>; 9,4 cm y 1,35 g/planta, respectivamente). No hubo diferencias significativas en el diámetro de tallo en los dos tratamientos control y los tratamientos con MACC 1.

En el caso del desarrollo radicular para cada dosis, medido como materia seca (0,22 y 0,24 g/planta) y longitud de raíces (12,7 y 12,1 cm) fueron estadísticamente iguales al tratamiento control sin CMM (0,24 g/planta; 12,6 cm) y ligeramente mayor al tratamiento control con CMM (0,25 g/planta; 11,3 cm), pero sin diferencias significativas entre tratamientos, por lo que la aplicación de MACC 1 en las plantas de tomate mejoró ligeramente el desarrollo radicular del cultivo en comparación al tratamiento con CMM (Figura 14).

La aplicación de mayor dosis de microalga mostró valores mayores de crecimiento de las plantas de tomate en la parte aérea respecto al tratamiento con menor dosis (Figura 14).



**Figura 14.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con *CMM* para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 1 ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

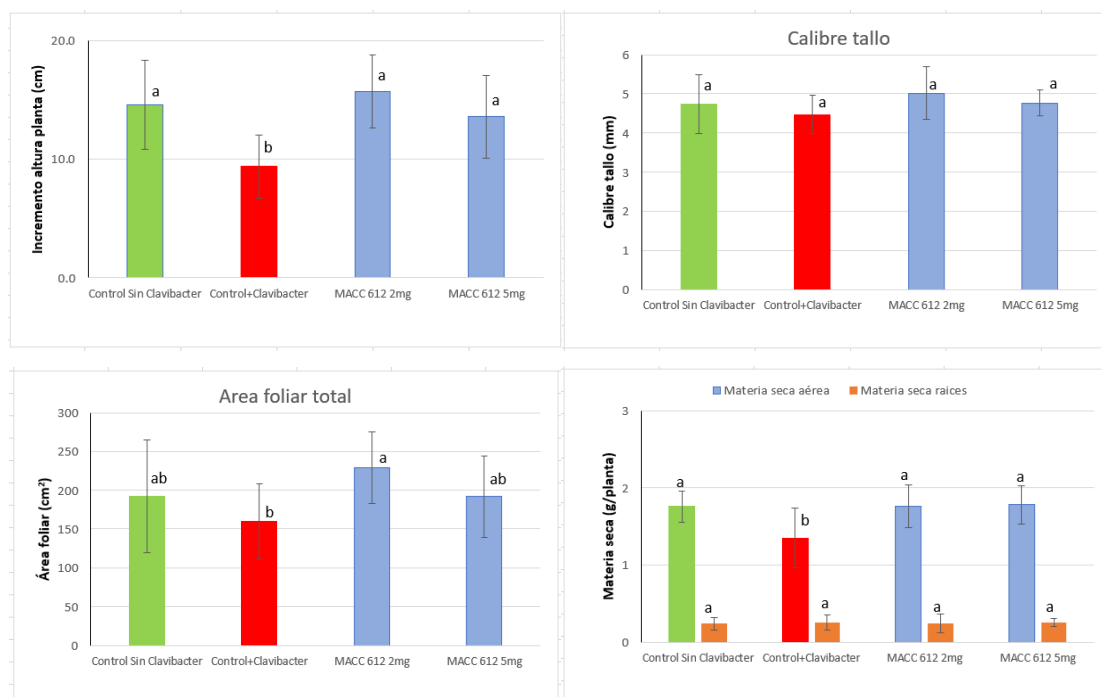
### 3.3.2. Cepa MACC 612

La aplicación de la cianobacteria MACC 612 en las plantas de tomate infectadas con CMM, presentaron valores muy positivos en el control de esta enfermedad, ya que hubo un mayor desarrollo de las plantas de tomate con esta cianobacteria respecto al tratamiento control con CMM, para ambas dosis, pero con mejores resultados en la menor dosis (2 mg).

El incremento de altura de las plantas de tomate para ambas dosis de MACC 612 (14,5 y 13,6 cm) fueron significativamente mayores con respecto a las plantas control con CMM (9,4 cm), con valores sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas de tomate del tratamiento control sin CMM (Figura 15). La materia seca de la parte aérea de las plantas fue significativamente menor en el tratamiento control con CMM respecto a los otros tres tratamientos. La mayor área foliar se obtuvo con el tratamiento con MACC 612 2 mg (228,7 cm<sup>2</sup>), siendo valores significativamente mayor a los valores obtenidos en el tratamiento control con CMM (159,6 cm<sup>2</sup>). El diámetro de tallo también se mejoró con la aplicación de MACC 612, sobre todo en el tratamiento MACC 612 2 mg, y con valores sin diferencias estadísticamente significativas al control sin CMM (Figura 15).

El desarrollo radicular no tuvo diferencias estadísticamente significativas en los dos tratamientos control y en los dos tratamientos con MACC 612, sin que se aprecie efectos negativos en las raíces de las plantas debido a CMM (Figura 15).

En general, la aplicación de los tratamientos con MACC 612 mostraron una posible reducción de los efectos de la bacteria patógena CMM, estimulando el crecimiento de las plantas y mejorando todos los valores de crecimiento respecto al control con CMM.



**Figura 15.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con CMM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con MACC 612 ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

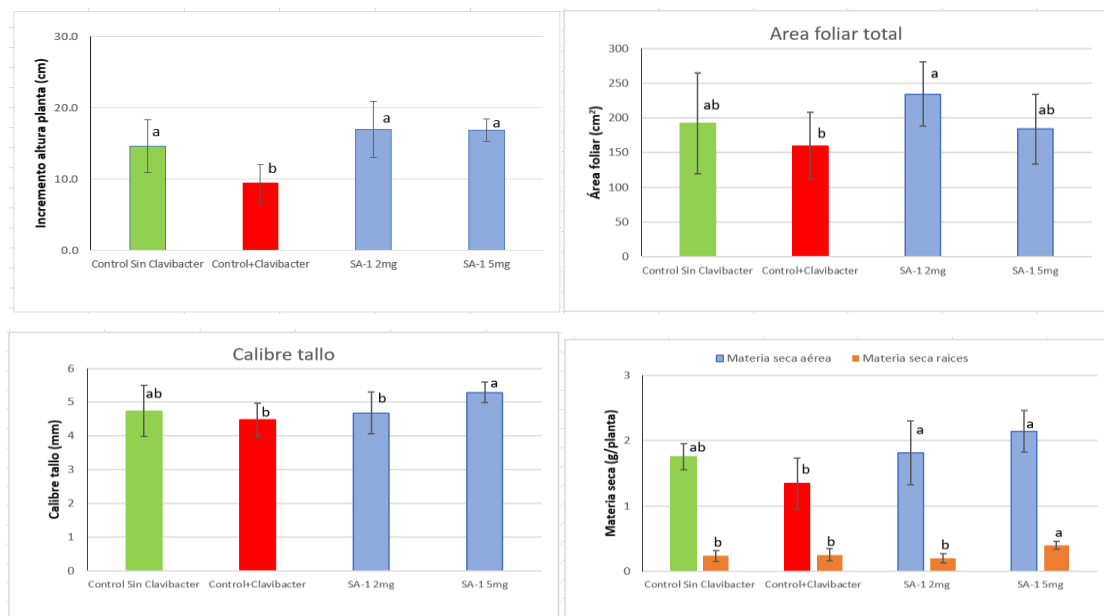
### 3.3.3. Cepa SA-1-6

La aplicación de la cianobacteria SA-1-6 en las plantas de tomate infectadas con CMM, mostraron valores sin diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento en cuanto al incremento de altura de las plantas, pero en los demás parámetros presentaron valores heterogéneos según los tratamientos, sin embargo, todos estos parámetros mejoraron con respecto al tratamiento control con CMM, y algo superiores a los valores del otro tratamiento control sin CMM, por lo que se vio un efecto bioestimulante en las plantas de tomate (Figura 16).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate analizado con los parámetros de materia seca aérea e incremento de altura de las plantas fueron mayores significativamente en las plantas de ambos tratamientos SA-1-6 2 mg (1,8 g/planta y 17 cm) y SA-1-6 5 mg (2,1 g/planta y 16,9 cm) respecto al tratamiento control con CMM (1,35 g/planta y 9,4 cm), con valores ligeramente superiores a las plantas del tratamiento control sin CMM (1,8 g/planta y 14,6 cm) (Figura 16).

En cuanto al área foliar de las plantas de tomate solo las plantas del tratamiento SA-1-6 2mg (234,4 cm<sup>2</sup>) fue mayor significativamente al tratamiento control con CMM (159,6 cm<sup>2</sup>), e incluso ligeramente superior al tratamiento control sin CMM (192 cm<sup>2</sup>). El diámetro de tallo fue mayor significativamente en las plantas del tratamiento SA-1-6 5 mg (5,3 mm) respecto al tratamiento control con CMM (4,5 mm) y ligeramente mayor al tratamiento control sin CMM (4,7 mm) (Figura 16).

El desarrollo radicular de las plantas de tomate también se vio afectado de modo positivo con la aplicación de SA-1-6 a mayor dosis (5 mg), siendo significativamente mayor la materia seca de raíces (0,4 g/planta y 13,9 cm longitud) respecto a las plantas de tomate del tratamiento control con CMM con un valor de 0,25 g/planta de materia seca de raíces y 11,3 cm de longitud de raíz (Tabla 8 y figura 16).



**Figura 16.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con CMM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-1-6 ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

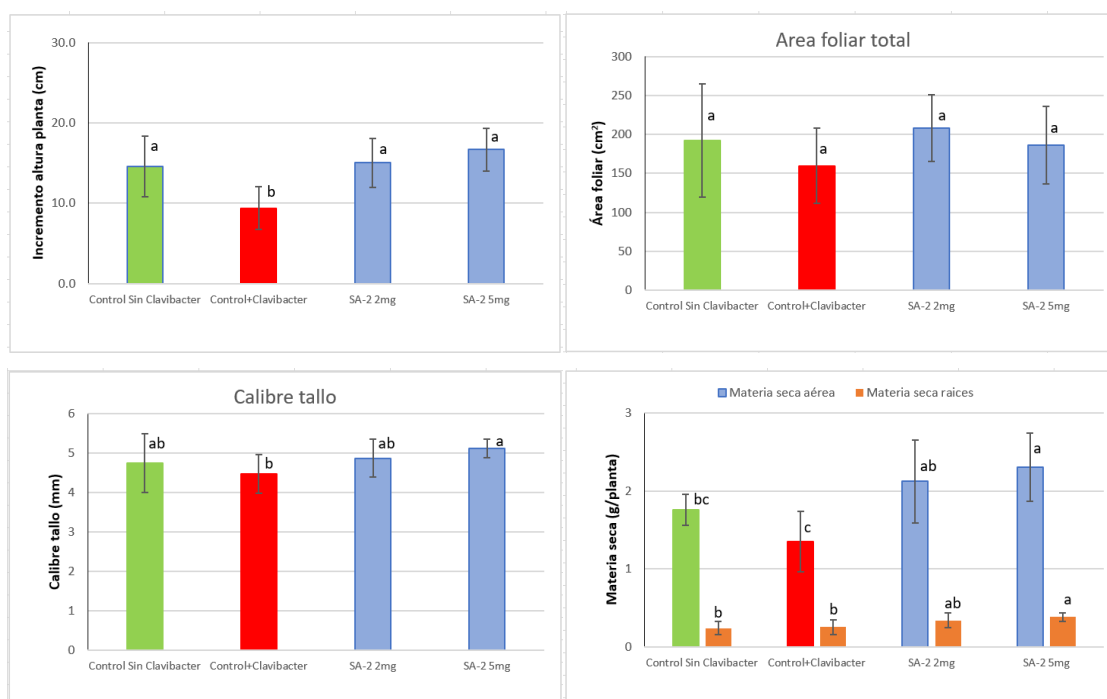
### 3.3.4. Cepa SA-2-7

La aplicación de la cianobacteria SA-2-7 en las plantas de tomate infectadas con CMM, mostraron en general valores más elevados a mayor dosis (excepto en el área foliar), mejorando ambos tratamientos los valores de las plantas de tomate con respecto al tratamiento control sin CMM, y significativamente mayores a los valores de las plantas del tratamiento control con CMM, determinando un efecto bioestimulante en las plantas de tomate (Figura 17).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate analizado con los parámetros de materia seca aérea, incremento de altura y diámetro de tallo fueron mayores significativamente en las plantas de ambos tratamientos con SA-2-7, a las dos dosis establecidas respecto al tratamiento control con CMM (1,35 g/planta; 9,4 cm y 4,47 mm), con valores para SA-2-7 2 mg de 2,12 g/planta, 15 cm y 4,9 mm respectivamente y para el tratamiento SA-2-7 5 mg de 2,3 g/planta, 16,7 cm y 5,12 mm.

En cuanto al área foliar de las plantas de tomate no se encontró diferencias significativas (Figura 17).

El desarrollo radicular de las plantas de tomate también se vio afectado de modo positivo con la aplicación de SA-2-7 en ambas dosis, siendo significativamente mayor la materia seca de raíces en ambos tratamientos (0,34 g/planta para 2 mg y 0,38 g/planta para 5 mg) a los dos tratamientos control, con valores de 0,24 g/planta para control sin CMM y 0,25 g/planta para el tratamiento control con CMM. En cuanto a longitud radicular fue mayor en el tratamiento SA-2-7 5 mg, respecto al resto de tratamientos (Figura 17).



**Figura 17.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con CMM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SA-2-7 ambas dosis.

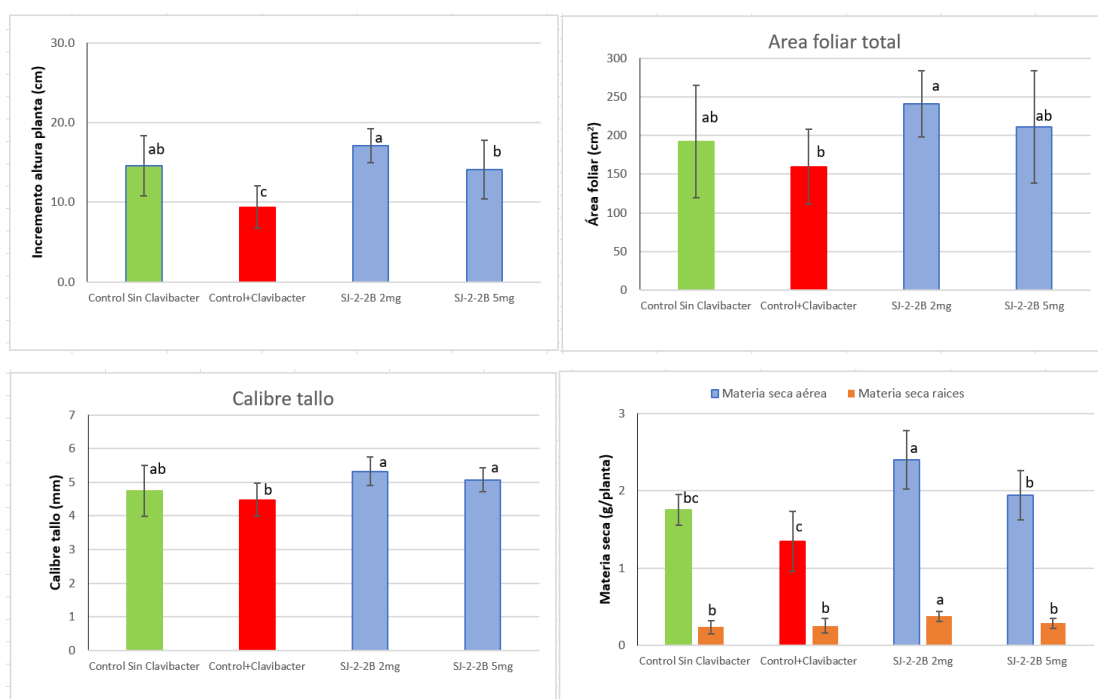
Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

### 3.3.5. Cepa SJ-2-2B

La aplicación de la microalga SJ-2-2B en las plantas de tomate infectadas con CMM, en general se mejoraron todos los valores de crecimiento aéreo de las plantas de tomate respecto a las plantas del tratamiento control con CMM, incluso el tratamiento SJ-2-2B 2 mg arrojó valores superiores a las plantas del tratamiento sin CMM, mientras a la dosis de 5 mg los valores no tuvieron diferencias estadísticamente significativas al tratamiento control sin CMM (Figura 18).

El desarrollo de la parte aérea de las plantas de tomate del tratamiento SJ-2-2B 2 mg, medido mediante los parámetros de materia seca aérea (2,4 g/planta), incremento de altura de planta (17,1 cm), área foliar (240,8 cm<sup>2</sup>) y calibre de tallo (5,33 mm) fueron mayores significativamente con respecto al tratamiento control con y sin CMM. A mayor dosis de la microalga SJ-2-2B, los valores de los diferentes parámetros de la planta fueron algo menores al tratamiento SJ-2-2B 2 mg, pero en general fueron mayores estadísticamente al tratamiento control con CMM y sin diferencias estadísticamente significativas a las plantas del tratamiento control sin CMM (Figura 18), mostrando un efecto bioestimulante en las plantas de tomate reduciendo los efectos de la bacteria patógena CMM, aunque se debe tener en cuenta que la mejor respuesta obtenida fue a la menor dosis aplicada la microalga SJ-2-2B.

El desarrollo radicular de las plantas de tomate solo se vio afectado de modo más positivo con la aplicación de SJ-2-2B 2 mg (0,38 g raíces/planta y 14,6 cm de raíz), y ligeramente efectos positivos con la dosis de 5 mg (0,29 g raíces/planta y 12,4 cm de raíz), con respecto al tratamiento control con CMM (0,25 g de raíces/planta y 11,3 cm de raíz) (Tabla 8).



**Figura 18.** Valores finales de incremento de altura, área foliar, calibre de tallo y materia seca de parte aérea y raíces de las plantas de tomate con CMM para los dos tratamientos control y los dos tratamientos con SJ-2-2B ambas dosis.

Los valores seguidos de letras diferentes muestran diferencias significativas al 95% de significación.

#### 4. DISCUSIÓN

Cada vez hay mayor preocupación por la producción de alimentos lo más sanos posible, libres de materias activas de fitosanitarios, lo que ha llevado a que los productores necesiten nuevos métodos ecológicos para reemplazar, o al menos complementar, las actuales prácticas basadas en productos químicos. El uso de bioplaguicidas ha surgido como una alternativa prometedora a los pesticidas químicos. Si bien su uso no es demasiado complicado, la aplicación de algunos bioplaguicidas puede requerir un alto nivel de conocimiento de las enfermedades y los patógenos que están diseñados para controlar. Al igual que con cualquier programa de control de enfermedades, el momento adecuado y la aplicación son esenciales para garantizar la eficacia. Los bioplaguicidas pueden no funcionar tan rápido como algunos pesticidas químicos sintéticos. Sin embargo, los bioplaguicidas generalmente son menos tóxicos para el usuario y son más suaves para los organismos no-objetivo, lo que los convierte en herramientas deseables y sostenibles para el manejo de enfermedades.

En general la aplicación de las cinco microalgas o cianobacterias para el control de FOM en plantas de melón no mostraron efectos relevantes con respecto al control de la enfermedad, puede deberse a que actualmente la mayoría de las semillas de plantas hortícolas comerciales son seleccionadas por su tolerancia a enfermedades como *Fusarium oxysporum*. Algunas microalgas y cianobacterias mostraron efectos positivos en el crecimiento de las plantas de melón como fue MACC 612, SJ-2-2B y SA-2-7 a mayor dosis (5 mg/planta). Además, la mayor dosis de cada microalga y cianobacteria mejoró el crecimiento de las plantas, es decir, a mayor dosis de aplicación parece que hubo un mayor efecto positivo en el crecimiento de la planta respecto a la menor dosis (2 mg/planta).

En el caso del ensayo con XC en plantas de tomate, las microalgas y cianobacterias que mostraron mayor efecto en el desarrollo de las plantas y sin apreciables síntomas de la enfermedad fueron SA-1-6 y SA-2-7 (ambas dosis), MACC 612 y SJ-2-2B a mayor dosis, tanto en el desarrollo aéreo como radicular. En general en todas la microalgas y cianobacterias analizadas a la mayor dosis de cada una de ellas mejoró el crecimiento de las plantas, es decir, a mayor dosis de aplicación se apreció un mayor efecto positivo en el crecimiento de la planta respecto a la menor dosis.

Los resultados en el ensayo con CMM mostraron que las microalgas y cianobacterias evaluadas mejoraron los parámetros de crecimiento analizados, respecto al tratamiento control con *Clavibacter*, con valores que se aproximaron a las plantas de tomate a las que no se aplicó el patógeno. Los mayores efectos sobre el desarrollo de plantas se encontraron con las cepas SA-2-7 y SJ-2-2B ambas dosis. Además, la mayor dosis de cada microalga y cianobacteria no mostró mayores efectos positivos en el crecimiento de las plantas, presentando valores sin diferencias estadísticamente significativas en ambas dosis de aplicación para cada microalga y cianobacteria.

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos utilizando determinadas microalgas y cianobacterias como control de ciertas enfermedades en los cultivos hortícolas, mostraron que en general hubo un claro efecto bioestimulantes sobre las plantas, atenuando, con el mayor desarrollo de las plantas, los posibles efectos adversos de las diferentes enfermedades fitopatógenas analizadas.

Los bioestimulantes agrícolas son una sustancia, mezcla de varias o un microorganismo, que aplicado solo o en mezcla sobre plantas, semillas o raíces (rizosfera) actúan sobre la fisiología de la planta de diferentes formas y por diferentes vías para mejorar el vigor del cultivo, el rendimiento y calidad de la cosecha, bien mejorando la disponibilidad de



nutrientes, optimizando su absorción, o incrementando la tolerancia a estreses abióticos, sin importar su contenido nutricional (Du lardin et al., 2015).

La biomasa seca de microalgas contiene aproximadamente un 50% de proteína. Los hidrolizados de proteínas de microalgas demuestran también un efecto bioestimulante de las plantas debido a su contenido de aminoácidos o dipéptidos y tripéptidos (Mógor et al., 2018). Hay determinadas microalgas y cianobacterias que contienen hormonas estimuladores o reguladoras del crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas. Según Collahuazo y Araujo (2019) las microalgas poseen la capacidad de potenciar el desarrollo de los cultivos por medio estos reguladores y con ayuda de altos niveles de macro y micronutrientes, indispensables para las plantas. Los compuestos y bioproductos obtenidos a partir de estos microorganismos son preferidos no solo por su contenido de nitrógeno y fósforo, sino también por la presencia de oligoelementos y metabolitos similares a los ya mencionados reguladores del crecimiento de las plantas (Nedumaran, 2017).

Una vez agregamos estos microorganismos a los cultivos, se promueve la generación de enzimas de defensa, transportadores y agentes quelantes entre otras sustancias que permiten a las plantas incrementar el crecimiento, rendimiento de los cultivos y la inmunidad de la planta a patógenos (Tarakhovskaya, 2007; Gupta et al., 2013). Cuando se aplican este tipo de bioestimulantes se provee a la planta de proteínas que generan un ahorro de energía, ya que la planta no requiere sintetizarlas y de esta manera dirige por completo su metabolismo hacia otros procesos, como, la floración, cuajado y producción de frutos. Este ahorro de energía se convierte en un proceso crucial en el momento en que la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico, heladas, ataques de plagas o enfermedades (Saborío, 2002).

Los extractos obtenidos de la biomasa de microalgas y cianobacterias tienen la capacidad de mejorar el rendimiento de las plantas y la calidad de cultivos de hortalizas y otros alimentos como lo pudimos ver en el presente trabajo. Se ha comprobado que determinadas biomasas de microalgas y cianobacterias (como *Scenedesmus subspicatus*) por sí mismas o mezcladas con ácidos húmicos en bioensayos con plántulas de cebolla mostró efectos promotores del crecimiento en las primeras etapas, mejor calibre del bulbo y rendimiento del cultivar híbrido y aumento del contenido de azúcares y proteínas en los bulbos. La ganancia de rendimiento no estuvo relacionada con los estímulos de absorción de nutrientes (Germin, et al., 2019).

Los resultados obtenidos en la mayoría de las microalgas y cianobacterias evaluadas frente al control de patógenos de suelo como *Fusarium oxysporum* y *Clavibacter michiganensis* y bacterias aéreas como *Xanthomonas campestris* mostraron en general que en el control de estas enfermedades se debió principalmente a un mayor desarrollo aéreo y radicular de las plantas de tomate y melón, posiblemente atenuando los efectos adversos de estas enfermedades. En estudios realizados con la aplicación de *Chlorella vulgaris* en polvo sobre el suelo de un cultivo de lechuga se observó un notable aumento en el rendimiento del cultivo, además, de que algunos compuestos de la biomasa de esta microalga permitieron que la planta se protegiera contra diferentes patógenos (Das et al., 2019). En otro ensayo, donde se aplicó la microalga *Chlorella vulgaris* en macetas con suelo agrícola en plantas de tomate, iluminadas con luz artificial con fotoperiodos de 16 horas, mostraron un aumento significativo en el crecimiento de las plantas entre 3,5 y 4,3 cm (Barone et al., 2019). Otros autores como García y Sommerfeld (2016) utilizaron el extracto de *Acutodesmus dimorphus* por aplicación foliar a 3,75 g L<sup>-1</sup> mostrando un

mayor crecimiento de las plantas de tomate, registrando una mayor altura, aumento del número de flores y ramas por planta.

La aplicación de *Nannochloris* spp. en plantas de tomate mejoró la longitud de la raíz, un mayor número de hojas y área foliar en comparación con el control (Oancea et al., 2013). La utilización de microorganismos, como las microalgas, puede mejorar el crecimiento en general en todas las plantas de cualquier cultivo que sean tratadas, pues se mostró que hay diferencias significativas respecto al testigo; en la altura de la planta, longitud de la raíz, número de hojas, peso fresco y seco de raíz, hoja y tallo (Reyes, 2009).

La actividad antifúngica de las microalgas y cianobacterias podría atribuirse a su contenido en fenol y/o en polisacáridos. En condiciones in vitro realizados en etapas previas a estos ensayos si hubo un claro efecto inhibitorio de todas las cepas de microalgas y cianobacterias evaluadas con respecto a determinadas enfermedades fitopatógenas (datos no presentados), coincidiendo con otros autores donde encontraron una reducción del 60% en el control de *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* utilizando *Nostoc muscorum* (Tantawy, 2011). La utilización de diferentes microalgas y cianobacterias como *Anabaena*, *Phormidium* y *Synechococcus* fueron la mitad de ellos efectivos contra al menos un patógeno, incluido *Fusarium oxysporum* (Pawar y Puranik, 2008).

Osman et al. (2011) investigaron sobre el contenido de sustancias como el fenol y polisacáridos en las cianobacterias, evaluaron su efecto antifúngico, y vieron que se incrementó a medida que aumentaba su contenido de polisacáridos y/o fenol. También, De Cano et al. (1990) encontraron que los compuestos fenólicos en extractos de células de *N. muscorum* inhibían significativamente el crecimiento de *Candida albicans* y *Staphylococcus aureus*. La actividad antifúngica del extracto de *C. vulgaris* se relacionó con compuestos antioxidantes, como fenoles y flavonoides que son muy abundantes en esta microalga (Ahmed, 2016). Por último, los autores Samapundo et al. (2007) observaron que los compuestos fenólicos, por ejemplo, los tratamientos con ácido vainílico y cafeico, provocaron una reducción en el crecimiento de *F. verticillioides* y *F. proliferatum*.

Hay autores que han encontrado efectos inhibitorios en determinadas enfermedades de plantas cuando se aplicaba ciertas microalgas o cianobacterias en los cultivos. En plantas de tomate se protegieron con *Anabaena laxa* mezclada en el compost para el control de *Fusarium oxysporum* y *Fusarium moniliforme* (Burja et al., 2001).

Por tanto, existen evidencias contrastadas de que estas cianobacterias y microalgas pueden usarse como agentes de control biológico para asegurar un mayor rendimiento agrícola, favoreciendo el desarrollo de los cultivos tanto en la parte aérea como radicular, mejorando los rendimientos.

## 5. CONCLUSIONES

Según los resultados del ensayo con diferentes dosis (2 mg y 5 mg por planta) de aplicación de cada cianobacteria y microalga utilizados como agentes de biocontrol de determinadas enfermedades en los cultivos, se puede concretar las siguientes conclusiones:

1. En general no se encontró un efecto visible de la afeción de cada patógeno en los cultivos evaluados, mostrando efectos positivos sobre el desarrollo de las plantas, y mostrando las plantas cierta defensa inducida determinada por el posible efecto bioestimulante de cada microalga y cianobacteria.
2. A mayor dosis de aplicación de las diferentes microalgas y cianobacteria (5 mg/planta) hubo en general un mayor efecto positivo en el crecimiento de la planta respecto a la menor dosis (2 mg/planta).
3. Las cepas que mostraron mayores efectos positivos en el desarrollo de las plantas, tanto en crecimiento aéreo como radicular fueron; la cepa SA-2-7 que mostro los mejores resultados en los tres patógenos donde se aplicó, junto con la cepa SJ-2-2B, y finalmente la cepa MACC 612 que mostro efectos positivos con respecto a dos de los patógenos evaluados (FOM y XC).
4. Se puede concluir, a la vista de los resultados obtenidos que, la aplicación de extractos de cianobacterias y microalgas en los diferentes cultivos puede suponer una alternativa útil frente al uso de plaguicidas químicos, los cuales son más contaminantes ambientalmente y perjudiciales desde el punto de vista sanitario. El desafío de producir alimentos con recursos limitados hace que las microalgas sean una alternativa adecuada para mejorar y proteger la producción agrícola. El uso de estos microorganismos y la explotación de interacciones beneficiosas con las plantas, ofrecen estrategias prometedoras y además respetuosas con el medio ambiente para la agricultura convencional y orgánica en todo el mundo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmed, E. A. (2016). *Antimicrobial activity of microalgal extracts isolated from Baharia Oasis, Egypt*. Glob Adv Res J Microbiol, 5, 033-041.
2. Barone, V., Puglisi, I., Fragalà, F., Stevanato, P., & Baglieri, A. (2019). *Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities*. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(5), 712-726.
3. Bernal, R. (2010). *Enfermedades de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) en invernadero en las zonas de Salto y Bella Unión*. Serie Técnica. INIA. Montevideo, Editorial Hemisferio Sur SRL, 181, 1-71.
4. Borboa Flores, J., Rueda Puente, E. O., Acedo Félix, E., Ponce, J. F., Cruz, M., Grimaldo Juárez, O., & García Ortega, A. M. (2009). *Detección de Clavibacter michiganensis subespecie michiganensis en el tomate del estado de Sonora, México*. Revista fitotecnia mexicana, 32(4), 319-326.
5. Burja AM, Banaigs, B., Abou-Mansour, MI., Burgess, JG, Wright, PC (2001). *Marine cyanobacterias - una prolifuyente ic de productos naturales*. Tetraedro, 57, 9347-9377.
6. Campoverde, E. V., & Palmateer, A. J. (2013). *Bacterial Blight of Ficus elastica Caused by Xanthomonas*. EDIS, 2013(5).
7. Cermeño, Z. S. (2009). *Prontuario del cultivo de tomate*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
8. Colla, L. M., Reinehr, C. O., Reichert, C., & Costa, J. A. V. (2007). *Production of biomass and nutraceutical compounds by Spirulina platensis under different temperature and nitrogen regimes*. Bioresource technology, 98(7), 1489-1493.
9. Collahuazo-Reinoso, Y., & Araujo-Abad, S. (2019). *Producción de biofertilizantes a partir de microalgas*. CEDAMAZ, 9(2), 81-87.
10. Das, P., Khan, S., Chaudhary, A. K., AbdulQuadir, M., Thaher, M. I., & Al-Jabri, H. (2019). *Potential applications of algae-based bio-fertilizer*. In Biofertilizers for sustainable agriculture and environment (pp. 41-65). Springer, Cham.
11. de Cano, M. M., De Mule, M. C., de Caire, G. Z., & de Halperin, D. R. (1990). *Inhibition of Candida albicans and Staphylococcus aureus by phenolic compounds from the terrestrial cyanobacterium Nostoc muscorum*. Journal of Applied Phycology, 2(1), 79-81.
12. Du Jardin Patrick. (2015). *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation*. Scientia Horticulturae, Vol. 196, 3-14.
13. García Castellanos, T., Castillo Marshal, A., & Salazar Rodríguez, D. (2014). *Mecanismos de resistencia a betalactámicos en bacterias gramnegativas*. Revista Cubana de Salud Pública, 40(1), 129-135.
14. Garcia-Gonzalez, J., & Sommerfeld, M. (2016). *Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga Acutodesmus dimorphus*. Journal of applied phycology, 28(2), 1051-1061.
15. Gómez Vázquez, J., & Tello Marquina, J. C. (2000). *The seeds of melon (Cucumis melo L.) carry diverse pathotypes of Fusarium oxysporum f. sp. melonis*. Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas, 26(1), 35-45.

16. Germin, L.G., Mógor, A.F., De Oliveira Amatussi, J., Mógor, G. (2019). *Microalgae associated with humic acid as a novel biostimulant that improves onion growth and yield*. *Scientia Horticulturae*, 256.
17. Gupta, V., Kumar, S., Sood, A., Chaudhary, V., y Prasanna,R. (2013). *New insights into the biodiversity and applications of cyanobacteria (blue-green algae) — Pros-pects and challenges*. *Algal Research*,2(2), 79–97.
18. Intagri S.C. (2016). *Control de Cáncer Bacteriano (Clavibacter michiganensis) en el Cultivo de Tomate*. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/control-de-cancer-bacteriano-en-el-cultivo-de-tomate>.
19. Kulik, M.M. (1995). *The potential for using cyanobacteria (blue-green algae) and Algae in the cyanobacterial control of plant pathogenic bacteria and fungi*. *European Journal of Plant Pathology*, 101, 585–599.
20. Lastres, L., Soza, F. (2009). *Manual de Sanidad Vegetal. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central*. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 30 p.
21. Lu, Y. y Xu, J. (2015). *Phytohormones in microalgae: A new opportunity for microalgal biotechnology*. *Trends in Plant Science* 20(5), 273-282.
22. Meena, M., Swapnil, P., Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M.K., Goutam, J. y Upadhyay, R.S. (2017). *Beneficial microbes for disease suppression and plant growth promotion*. En D.P. Singh, H.B. Singh y R. Prabha (eds.). *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*. Springer Nature, Singapore, 395-432.
23. Mógor, Á. F., Ördög, V., Lima, G. P. P., Molnár, Z., & Mógor, G. (2018). *Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines*. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 453-460.
24. Nedumaran, T. (2017). *Seaweed: A Fertilizer for Sustainable Agriculture*. Obtenido de Scopus: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-6647-4\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-6647-4_9).
25. Oancea, F., Velea, S., Fătu, V., Mincea, C., & Ilie, L. (2013). *Micro-algae based plant biostimulant and its effect on water stressed tomato plants*. *Rom. J. Plant Prot*, 6, 104-117.
26. Osman, M. E. H., El-Sheekh, M. M., Metwally, M. A., Ismail, A. E. A., & Ismail, M. M. (2011). *Antagonistic activity of some fungi and cyanobacteria species against Rhizoctonia solani*. *International Journal of Plant Pathology*, 2(3), 101-114.
27. Pawar, S.T., Puranik, P. (2008). *Screening of terrestrial and freshwater halotolerant cyanobacteria for antifungal activities*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24(7): 1019-1025.
28. Prasanna, R., Babu, S., Bidyarani, N., Kumar, A., Triveni, S., Monga, D., Mukherjee, A. K., Kranthi, S., Narkhedkar, N. K., Adak, A., Yadav, K., Nain, L. y Saxena, A. K. (2015). *Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton*. *Experimental Agriculture* 51(1), 42-65.

29. Ranglová, K., Lakatos, G. E., Manoel, J. A. C., Grivalský, T., Estrella, F. S., Fernández, F. G. A., ... & Masojídek, J. (2021). *Growth, biostimulant and biopesticide activity of the MACC-1 Chlorella strain cultivated outdoors in inorganic medium and wastewater*. *Algal Research*, 53, 102136.
30. Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P. y Bux, F. (2018). *Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: Current trends, prospects and challenges*. *Biotechnology Advances* 36(4), 1255-1273.
31. Reyes, C. (2009). *Evaluación de híbridos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) en hidroponía aplicando bioestimulante Jisamar en el cantón La Libertad*. Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 103p.
32. Saborío Pozuelo, F. (2002). *Bioestimulantes en fertilización foliar: Fertilización foliar: Principios y aplicaciones*. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas.
33. Samapundo, S., De Meulenaer, B., Osei-Nimoh, D., Lamboni, Y., Debevere, J., & Devlieghere, F. (2007). *Can phenolic compounds be used for the protection of corn from fungal invasion and mycotoxin contamination during storage?*. *Food Microbiology*, 24(5), 465-473.
34. Seminis. (12 de junio 2017). *Qué es y cómo ataca el Fusarium*. Extraído de <https://www.seminis.mx/blog-que-es-y-como-ataca-el-fusarium/>.
35. Singh, J. S. (2014). *Cyanobacteria: A vital bio-agent in eco-restoration of degraded lands and sustainable agriculture*. *Climate Change and Environmental Sustainability* 2(2), 133-137.
36. Singh, J. S., Kumar, A., Rai, A. N. y Singh, D. P. (2016). *Cyanobacteria: A precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability*. *Frontiers in Microbiology* 7, 529.
37. Singh, R., Parihar, P., Singh, M., Bajguz, A., Kumar, J., Singh, S., Singh V.P. y Prasad, S.M. (2017). *Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: current status and future prospects*. *Frontiers in Microbiology*, 8, 515.
38. Swain, S. S., Paidasetty, S. K. y Padhy, R. N. (2017). *Antibacterial, antifungal and antimycobacterial compounds from cyanobacteria*. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 90, 760-776.
39. Tarakhovskaya, E. R., Maslov, Y. I., & Shishova, M. F. (2007). *Phytohormones in algae*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 54(2), 163-170.
40. Tantawy ST. (2011). *Biological potential of cyanobacterial metabolites against some soil pathogenic fungi*. *J. Food, Agric. Environ.* 9:663 – 666.
41. Vázquez, J. G., & Marquina, J. T. (2000). *Presencia de la raza 1-2 de Fusarium oxysporum f. sp. melonis en Almería*. *Bol San Veg Plagas*, 26, 27-33.