

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

**“Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate”**

**Mención:** Hortofruticultura y Jardinería

**Modalidad:** Trabajo Técnico-Experimental

**Curso 2020/2021**

**Alumno/a:**

José Carlos Nieto García

**Director/es:**

Isabel Miralles Mellado

Raúl Ortega Pérez

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**TRABAJO TÉCNICO-EXPERIMENTAL**

**“Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate”**

Titulación: Grado en Ingeniería Agrícola

Especialidad: Hortofruticultura y Jardinería

Autor: José Carlos Nieto García

Directora: Isabel Miralles Mellado

Codirector: Raúl Ortega Pérez

Año: 2020/2021

ALMERÍA, ESPAÑA, julio del 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

Tras un largo recorrido universitario, he comprendido y reconozco, que no ha sido un camino solitario; son muchos los que a lo largo del mismo me han apoyado y ayudado. Reconociendo en primer lugar el sustento y apoyo ofrecido por mi familia, padres y hermano. Que no solo me han permitido estudiar aquello que adoro, sino que me han impulsado y me han ayudado a superar mis mayores obstáculos.

Por otro lado, agradecer a mi pareja y amigos su incesante apoyo y golpes de realidad que han permitido mantener mis pies en el suelo, al mismo tiempo que me han ayudado a despejar mi mente.

Y, por último, pero no menos importante, a mi tutora y cotutor, Isabel Miralles Mellado y Raúl Ortega Pérez, además del personal investigador como Víctor M. Gallegos y al orgulloso propietario y agricultor de la finca Miguel Ángel, por darme la oportunidad de poner el broche final a este largo camino que ha sido mi etapa universitaria.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

# ÍNDICE

1.	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	1
<b>1.1.</b>	<b>Introducción al trabajo.</b> .....	1
1.1.1.	<i>Agricultura sostenible.</i> .....	2
1.1.2.	<i>Cultivo de tomate.</i> .....	5
1.1.3.	<i>Suelo</i> .....	13
1.1.4.	<i>Fertilidad de los suelos de cultivos intensivos de Almería.</i> .....	13
<b>1.2.</b>	<b>Interés investigativo.</b> .....	17
<b>1.3.</b>	<b>Objetivos</b> .....	18
2.	FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG Y SU CRONOGRAMA ASOCIADO.	19
3.	COMPETENCIAS ADQUIRIDAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO.	20
4.	ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....	21
<b>4.1.</b>	<b>Localización.</b> .....	21
<b>4.2.</b>	<b>Material vegetal del cultivo.</b> .....	22
<b>4.3.</b>	<b>Sistema de fertilización química y biofertilización.</b> .....	23
<b>4.4.</b>	<b>Diseño del ensayo.</b> .....	25
<b>4.5.</b>	<b>Parámetros y medidas.</b> .....	27
4.5.1.	<i>Análisis microbiológicos.</i> .....	27
4.5.2.	<i>Estudio morfométrico de plantas en etapa vegetativa.</i> .....	28
4.5.3.	<i>Análisis de nutrientes NPK en suelos, hojas y frutos.</i> .....	29
4.5.4.	<i>Parámetros de calidad medidos.</i> .....	30
4.5.5.	<i>Medidas rendimiento de cosecha.</i> .....	33
4.5.6.	<i>Análisis económico.</i> .....	34
4.5.7.	<i>Análisis estadístico.</i> .....	34
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
<b>5.1.</b>	<b>Resultados análisis microbiológicos.</b> .....	35

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

<b>5.2. Resultados de las medidas morfométricas.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3. Resultados del análisis del suelo. ....</b>	<b>45</b>
<b>5.4. Resultados de los análisis NPK de hojas y frutos.....</b>	<b>48</b>
<b>5.5. Resultados de la medición de parámetros de calidad.....</b>	<b>53</b>
<b>5.6. Productividad de la cosecha.....</b>	<b>55</b>
<b>5.7. Rendimiento económico. ....</b>	<b>62</b>
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cronograma con las fases de la investigación (Elaboración propia).....	19
<b>Tabla 2.</b> Distribución de porcentajes de uso de los tanques de riego según la fase del cultivo.....	23
<b>Tabla 3.</b> Análisis microbiológico Gheom.....	39
<b>Tabla 4.</b> Variables morfométricas medidas en la época de crecimiento vegetativo.....	41
<b>Tabla 5.</b> Porcentajes foliares de NPK.....	48
<b>Tabla 6.</b> Contenido NPK en frutos.....	51
<b>Tabla 7.</b> Variables de calidad analizadas.....	53
<b>Tabla 8.</b> Extracciones de macronutrientes por los frutos por m <sup>2</sup> .....	61
<b>Tabla 9.</b> Extracciones de macronutrientes en porcentaje respecto a tratamiento T0.....	61



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Evolución de la superficie de tomate en España (INE, 2018). .....	5
<b>Figura 2.</b> Evolución de la producción de tomate en España (INE, 2018). .....	5
<b>Figura 3.</b> Evolución del valor de tomate en España (INE, 2018). .....	6
<b>Figura 4.</b> Frutos de tomate y flor (Roselló y Porcuna, 2012). .....	7
<b>Figura 5.</b> Escala de firmeza en frutos de tomate. ....	12
<b>Figura 7.</b> Tomate Rebelión (Elaboración propia). .....	22
<b>Figura 8.</b> Cabezal de riego (verde) y tuberías (amarillo) (Elaboración propia). .....	24
<b>Figura 9.</b> Productos biofertilizantes proporcionados por la empresa Nostoc Biotechnologies S.L. ....	25
<b>Figura 10.</b> Esquema disposición de tratamientos en el invernadero (Elaboración propia). .....	25
<b>Figura 11.</b> Vista de los diferentes sectores del experimento T0 (azul), T1 (blanco) y T2 (rojo) (Elaboración propia). .....	26
<b>Figura 12.</b> Esquema disposición de puntos de análisis (Elaboración propia). .....	27
<b>Figura 13.</b> Esquema planta de tomate (Elaboración propia). .....	29
<b>Figura 14.</b> Penetrómetro utilizado (Elaboración propia). .....	30
<b>Figura 15.</b> Refractómetro y detalle de lectura de °Brix (Elaboración propia). .....	31
<b>Figura 16.</b> pH-metro (Elaboración propia). .....	32
<b>Figura 17.</b> Elementos para la valoración ácido-base (Elaboración propia). .....	33
<b>Figura 18.</b> Clasificación de los frutos por calibres comerciales (Elaboración propia)...	34
<b>Figura 19.</b> Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 0.	35
<b>Figura 20.</b> Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 1.	36
<b>Figura 21.</b> Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 2.	37
<b>Figura 22.</b> Abundancias relativas de géneros bacterianos en los suelos de los diferentes tratamientos del ensayo. ....	38

<b>Figura 23.</b> Representación gráfica de los resultados del diámetro de la primera bifurcación.....	42
<b>Figura 24.</b> Representación gráfica de los resultados del número medio de entrenudos.	43
<b>Figura 25.</b> Representación gráfica de los resultados de altura/diámetro de la primera bifurcación.....	44
<b>Figura 26.</b> Representación gráfica de la tendencia en contenido de nitrógeno del suelo.....	45
<b>Figura 27.</b> Representación gráfica de la tendencia en contenido de fósforo del suelo..	46
<b>Figura 28.</b> Representación gráfica de la tendencia en contenido de potasio del suelo..	47
<b>Figura 29.</b> Representación gráfica del porcentaje de nitrógeno en hojas.....	48
<b>Figura 30.</b> Representación gráfica del porcentaje de fósforo en hojas.....	49
<b>Figura 31.</b> Representación gráfica del porcentaje de potasio en hojas.....	50
<b>Figura 32.</b> Representación gráfica del porcentaje de nitrógeno en frutos.....	51
<b>Figura 33.</b> Representación gráfica del porcentaje de potasio en frutos.....	52
<b>Figura 34.</b> Representación gráfica del pH en frutos.....	54
<b>Figura 35.</b> Representación gráfica del rendimiento total acumulado.....	55
<b>Figura 36.</b> Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre GGG.....	56
<b>Figura 37.</b> Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre GG.....	57
<b>Figura 38.</b> Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre G.....	58
<b>Figura 39.</b> Representación gráfica del rendimiento acumulado categorías inferiores...	59
<b>Figura 40.</b> Representación gráfica del peso medio de los frutos por tratamientos y categorías.....	60
<b>Figura 41.</b> Rendimiento económico en porcentaje por tratamientos.....	62

## RESUMEN

La investigación es la mejor herramienta de la que dispone la agricultura para hacer frente a los retos a los que se enfrenta, permitiendo la transformación de los medios y técnicas de producción convencionales hacia unos más sostenibles, mediante la mejora del control de los cultivos, una gestión más racional y disminución de la cantidad de insumos, al mismo tiempo que se reduce la contaminación del medio y el gasto económico del agricultor.

El objetivo principal del ensayo es estudiar el poder biofertilizante de unas fórmulas comerciales basadas en bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCP) en un cultivo intensivo de tomate bajo plástico, con el fin de poder reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos e inorgánicos de un sistema de fertirriego convencional.

A lo largo de un ciclo de cultivo del tomate larga vida *Rebelión* aplicamos periódicamente unos biofertilizantes basados en bacterias de la casa comercial Nostoc Biotech S.L. Estas bacterias tenían el objetivo de fijar N atmosférico y solubilizar P y K que se encuentran en el suelo de forma no disponible para las plantas. Además, se redujo en un 20% la cantidad de fertilizante sintético convencional utilizado normalmente en este tipo de cultivo.

Para estudiar el efecto de los biofertilizantes se realizaron análisis microbiológicos, de nutrientes NPK en suelos, hojas y frutos, estudio morfométrico de plantas en la etapa vegetativa y parámetros de calidad del fruto, además de controlar la producción de la cosecha y el rendimiento económico de la misma. Los resultados obtenidos de la investigación demostraron que los tratamientos con BPCP favorecieron la fertilidad de suelos y plantas, además de mejorar la producción de la cosecha y por tanto los ingresos para el agricultor, además de ahorrar costes en el uso de fertilizantes sintéticos inorgánicos.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

Palabras clave: Bacterias promotoras del crecimiento, tomate, cultivo intensivo, biofertilizantes.

## **ABSTRACT**

Research is the best tool available to face the current challenges of the agriculture, allowing the transformation of a conventional production system towards a more sustainable one, by improving the control of crops, a more rational management of inputs, avoiding contamination of the environment and reducing economical to the farmer.

The main objective of this trial is to study the biofertilizing power of commercial formulas based on plant growth-promoting bacteria (PGPB) in an intensive tomato crop under plastic, in order to reduce the amount of synthetic and inorganic fertilizers used in a conventional fertigation system.

During a long life tomato (Rebelión variety) cultivation cycle we periodically applied biofertilizers based on commercial formulae obtained by Nostoc Biotech S.L. These biofertilizers contained bacteria that had the properties of fixing atmospheric N and solubilizing P and K that are found in the soil in forms that are not available to plants. In addition, the amount of conventional synthetic fertilizer usually used in this type of crop was reduced up to 20%.

To study the effect of these biofertilizers microbiological analyzes were carried out, together with quantification of NPK nutrients in soils, leaves and fruits. Besides, a morphometric study of plants in the vegetative stage and fruit quality parameters were performed, and finally the harvest yield and the economic incomes were analyzed. The results obtained from the research showed that the treatments with PGPB favored the fertility of soils and plants, and also improved the production of the crop and therefore the income for the farmer, in addition to saving costs in the use of inorganic synthetic fertilizers.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

**Keywords:** Plant Growth-promoting bacteria, tomato, intensive cultivation, biofertilizers

# **1. MEMORIA DESCRIPTIVA.**

## **1.1. Introducción al trabajo.**

El concepto de agricultura posee múltiples definiciones, según el diccionario de la RAE la agricultura se puede definir como conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de la tierra, sin embargo, instituciones como FAO hacen hincapié en la estrecha relación entre agricultura y humanidad, definiendo este término como actividad llevada a cabo por el hombre que a través de cultivar la tierra produce alimentos para la población humana. Esta dificultad para dar una única definición para este concepto viene dada por el estado en constante evolución de la propia agricultura.

Inicialmente la agricultura fue ideada como un conjunto de actividades llevadas a cabo por las personas para cultivar la tierra y de esta forma obtener una fuente de alimentos constante. La actividad agrícola no se ha mantenido estática, al igual que la sociedad ha ido avanzando, se han ido perfeccionando sus técnicas y conocimientos sobre la tierra y los cultivos dando lugar, a una productividad que ya no solo es capaz de abastecer a las personas sino también a un sector muy exigente como el industrial.

El progreso de la agricultura se ha enfocado mayoritariamente en obtener una gran productividad, lo que ha dado lugar a que en la actualidad surjan nuevas líneas de mejora de la agricultura, con un enfoque más sostenible que hagan que esta actividad pueda satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos necesarios para el futuro. Para ello es necesario tener un conocimiento profundo de la agricultura que se ha ido desarrollando hasta la actualidad (FAO, 1993; De la Puente, 2014).

### 1.1.1. *Agricultura sostenible.*

Las bases de la agricultura moderna actual se asientan a mediados del XIX, cuando los costes del transporte de mercancías comenzaron a ser más asequibles y se empezó a desarrollar métodos más efectivos para la conservación de los alimentos durante su travesía. Hasta estos años, las altas tasas de transporte y la imposibilidad de conservar adecuadamente los productos llevaban a los países a mantener una producción agrícola de autoconsumo o consumo regional, destinando tan solo 1% de los cereales a la exportación fuera del territorio. Fue a partir de la revolución industrial del Reino Unido, y su impulso del libre comercio de productos agrícolas no elaborados lo que propicio la transformación que marcaría la agricultura, pasando de ser una práctica regional a abrirse al mundo e internacionalizar su producción.

Durante la primera parte del siglo XX, el nuevo sistema agrícola comienza a tambalearse con las sucesivas guerras y sobre todo con la crisis del 29. Sin embargo, fue la decisión de Estados Unidos de cerrar su mercado y conseguir una industria agroalimentaria capaz de abastecer su extensa red industrial, la que daría un nuevo impulso a la agricultura mundial, comenzado por la suya propia. EE. UU. revoluciono la manera en que hasta el momento se conocía la agricultura, mediante el uso de inputs industriales, maquinaria y productos químicos dentro de la producción agrícola, además, llego a integrar la agricultura con los procesos industriales, comenzando a percibirse lo que se denominarían complejos agroindustriales o cadenas alimentarias. Este nuevo sistema, aumentó la producción y productividad masivamente de los productos agrícolas, con el objetivo de disponer de ellos para un uso comercial, es lo que en la actualidad se conoce como sistema de agricultura intensivo.

La implantación del modelo de grandes empresas agroindustriales y el aumento de las transacciones exteriores de las comercializadoras agrícolas de EE.UU., forzó al resto de países y más concretamente a los países europeos como España, a modernizar y seguir fielmente el modelo desarrollado por el país norteamericano. Así fue, como se introdujo la agricultura intensiva en el territorio español, la cual alcanzó sus mayores cuotas de producción en la década de los noventa, con un modelo de agricultura intensiva bajo plástico característico del litoral mediterráneo (Etxezarreta, 2006).

El modelo de agricultura bajo plástico desarrollado en el litoral almeriense desde la década de los sesenta ha permitido en un territorio tradicionalmente deprimido un gran progreso económico, mediante el aprovechamiento de condiciones agronómicas desfavorables en un principio. Para ello, se comenzó cambiando las condiciones del suelo empobrecido del litoral, mediante su cubrición con arena. Esta técnica mejoraba las condiciones que el suelo poseía, obteniendo mejoras como la disminución del agua evaporada, mayor temperatura del suelo para el desarrollo radicular, baja concentración salina en la disolución del suelo (Jiménez y Lao, 2002a).

Tras los buenos resultados obtenidos por el enarenado en el cultivo de hortalizas, la técnica se popularizó, sin embargo, los agricultores tenían que seguir enfrentándose a otras condiciones desfavorables del medio, como eran los fuertes vientos del litoral que dañaban a los cultivos. Paralelamente, cultivos más tradicionales como el cultivo de la uva, comenzaron a experimentar su propia crisis. Estos condicionantes dieron lugar a la aparición de los primeros prototipos de invernaderos, que fueron resultado de la adaptación de estructuras que originalmente servían de soporte para los parrales a una estructura de abrigo de cultivo, a partir de la colocación y sujeción de una lámina de plástico transparente. Estos primeros prototipos de invernadero poseían un control del ambiente atmosférico rudimentario, basado principalmente en la orientación del invernadero y la apertura o cierre de las bandas laterales.

Desde la aparición de forma experimental de un invernadero en el litoral almeriense en la década de los sesenta, este sistema de cultivo intensivo ha crecido de forma exponencial extendiéndose a otras zonas del litoral mediterráneo, pasando a ser actualmente 70.000 ha a nivel nacional y 34.000 ha a nivel provincial. Sin embargo, con el paso del tiempo y la aplicación de esta forma de cultivar, se han reconocido graves problemas de ámbito medioambiental derivados de su empleo, tales como: afección de ecosistemas por agotamiento, salinización de acuíferos y contaminación de suelos; generación de residuos derivados del uso intensivos de abonos y tratamientos fitosanitarios (García, 1999; van Rijswijk, 2018). Esto está conllevando que en la actualidad surjan nuevas líneas de investigación que permitan un cultivo bajo plástico más sostenible.



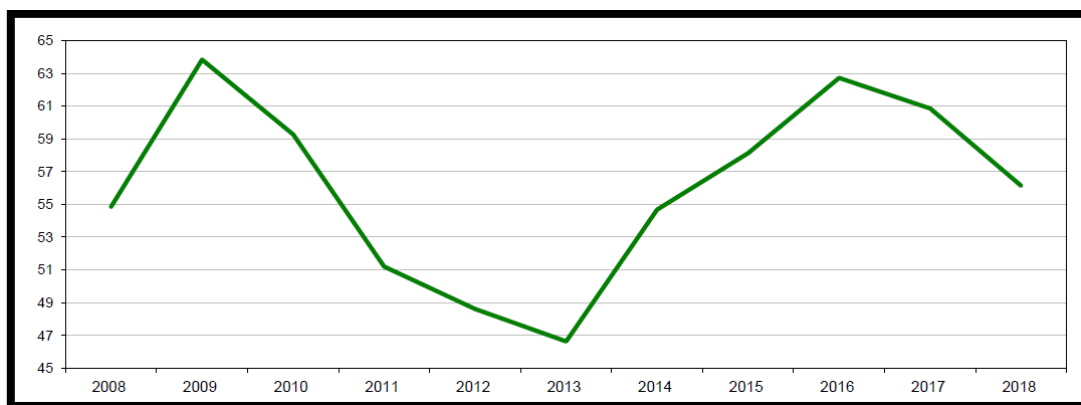
Eldor Paul define la agricultura sostenible como un sistema de producción agraria conservador de recursos, ambientalmente sostenible y económicamente viable. Al mismo tiempo reconociendo los valores humanos, suministrando alimentos de alta calidad y manteniendo a la familia agricultora y a las comunidades rurales como parte de un sistema saludable (Villalva y Fuentes, 2006).

El sector agrícola en España puede considerarse un sector generador de riqueza gracias a su fuerte interrelación y capacidad de integración con otros sectores. Su contribución puede identificarse a través de datos como, producción de 50.637 millones de euros y saldo comercial de 17.600 millones de euros. La relevancia de la agricultura en España se ve reflejada en la proporción de superficie utilizada de la cual 17 millones de hectáreas, entorno a un tercio de la superficie total del país se ve dedicada al cultivo, convirtiendo a España en el segundo país de la Unión Europea (UE) con mayor superficie dedicada al sector agrario y el cuarto en términos de producción (Ministerio agricultura y pesca alimentación y medio ambiente, 2019a).

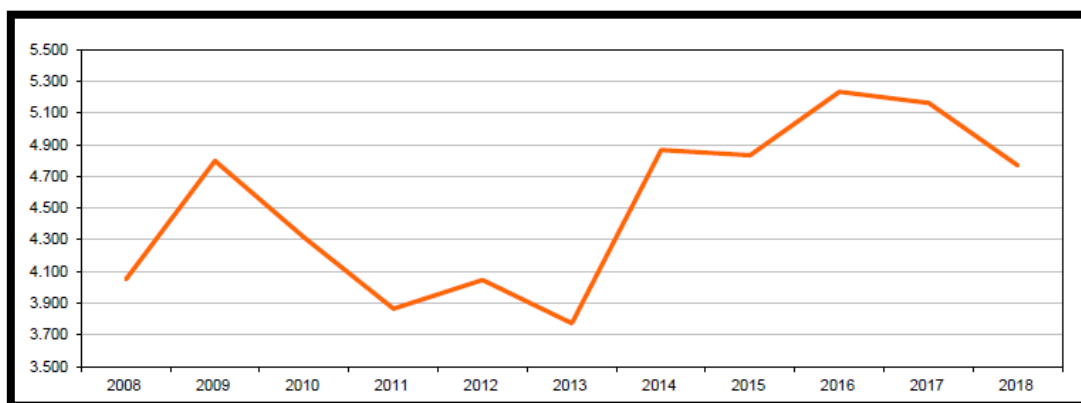
Los cultivos más relevantes presentes en el territorio español son el cultivo de herbáceos que representan un 52%, seguido de un 28% de superficie cultivada como pastos permanentes y un 20% de cultivos leñosos. De los diferentes grupos de cultivo en la producción agrícola nacional, el cultivo de hortalizas frescas representa el 32,8% de la producción agrícola siendo el tipo de cultivo que mayor representatividad posee en nuestro país. Los principales productos exportados de España son los cítricos con un valor de 3.600 millones de euros, pimientos 1.178 millones de euros y tomates 922 millones de euros. Estos datos muestran como la agricultura en España, presenta una posición privilegiada en términos de superficie, producción y empleo que permite al país competir exitosamente en los mercados internacionales, sin embargo, el sector debe de enfrentarse en los próximos años a una serie de amenazas derivadas de la escasez de innovación e investigación, nuevos competidores y el cambio climático cada vez más acusado (Ministerio agricultura y pesca alimentación y medio ambiente, 2019b).

### 1.1.2. Cultivo de tomate.

Como especie hortofrutícola el tomate (*Solanum Lycopersicum*) presenta gran valor económico, por su versatilidad culinaria y popularidad internacional. El valor, la producción y la superficie cultivada con tomate en España ha variado durante los últimos años (Figura 1, 2 y 3), presentando un descenso desde 2017 a 2018, sin embargo, sigue siendo la especie hortofrutícola con más superficie cultivada en el país, concretamente 56.128 ha en el año 2018.

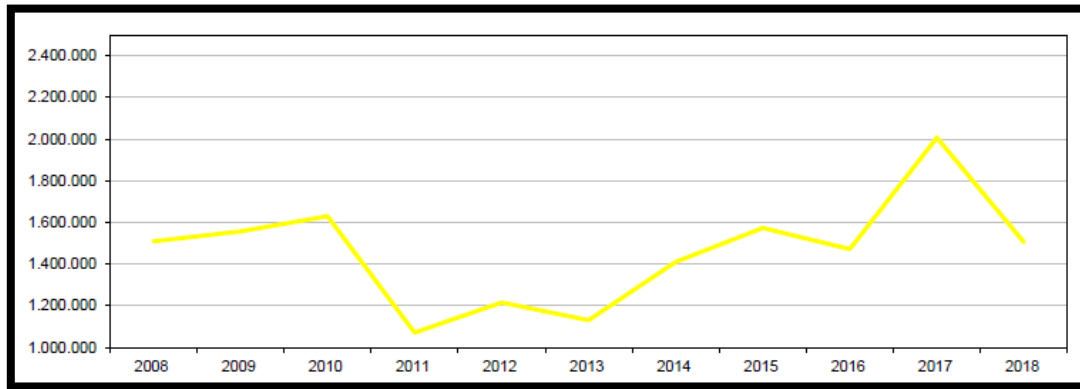


**Figura 1.** Evolución de la superficie de tomate en España (INE, 2018).



**Figura 2.** Evolución de la producción de tomate en España (INE, 2018).

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate



**Figura 3.** Evolución del valor de tomate en España (INE, 2018).

Las comunidades autónomas con mayor superficie cultivada de tomate fueron; Andalucía con un 43% de la superficie total destinada a cultivo, es decir, 22.234 ha de cultivo de tomate y Extremadura con 22.294 ha, es decir, un 41% de la superficie total de cultivo (INE, 2018).

De las provincias andaluzas, Almería es la que presenta mayor relevancia en el cultivo de esta hortaliza, de las 32.368 ha invernadas existentes en la provincia, 8.633 ha son cultivadas con tomate, dando lugar a una producción total de 797.329 Tm (Cajamar, 2020).

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Planta del tomate

La tomatara es una especie de planta herbácea perenne, procedente de la zona central del continente americano, que presenta una gran variedad de especies silvestres (Figura 4). Esta planta pertenece a la familia Solanaceae y especie *Solanum lycopersicum* L (Zerrano, 2014; López, 2017).



**Figura 4.** Frutos de tomate y flor (Roselló y Porcuna, 2012).

La especie *Solanum lycopersicum* presenta una abundante cantidad de variedades, tanto en su forma silvestre como en su forma doméstica. Al igual que las variedades de este cultivo, hay que tener en cuenta un gran abanico de factores para elegir la variedad más adecuada a emplear (Dianez y Camacho, 2019). Estos factores se pueden dividir en:

- Económico: en el que se debe de tener en cuenta el estado del mercado, el gusto de los consumidores, la logística y conservación del producto, etc.
- Modelo agrícola: extensivo o intensivo, al aire libre o protegido.
- Climático.

En España el cultivo de tomate responde principalmente a un modelo agrícola intensivo bajo plástico, desarrollado en clima mediterráneo. Los ciclos de plantación más habituales son (González, 2013):

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Ciclo de primavera: comienza a mediados de noviembre y finaliza con la recolección en junio. Característico de variedades recolectadas en pintón.
- Ciclo largo: comienza en agosto y finaliza con la recolección en junio. Característico de variedades vigorosas, resistentes al frío y con buen cuaje a baja temperatura y poca luz.
- Ciclo de otoño: comienza en julio y finaliza en febrero. Característico de variedades con buen cuajado a temperaturas cálidas.

El material vegetal más destacado para estas condiciones, son los siguientes tipos de tomate (Dianez y Camacho, 2019; González, 2013):

- Beef: planta vigorosa de crecimiento determinado (6°-7° ramillete), con frutos grandes y poco consistentes. Producción agrupada y temprana. Los principales consumidores son local e internacional (EE.UU.).
- Cereza o Cherry: planta vigorosa de crecimiento indeterminado, con frutos pequeños y delicados con tendencia al cracking. Producción anual y homogénea.
- Cocktail: planta de tallo fino con crecimiento indeterminado, con frutos de pequeño tamaño, delicados y sensibles al cracking. Principal consumo en fresco, aunque presenta buenas características como tomate de industria.
- Larga vida: fruto de larga vida con alta consistencia y grado de conservación, pero poco sabor. Superficie del fruto lisa y de color anaranjado o roja y de tamaño de mediano a grande.
- Marmande: planta con bajo vigor, de cuatro a seis ramilletes. Con frutos aromáticos y de gran sabor, se caracterizan por ser acostillados, aplanados y multiloculares.
- Moneymaker: planta vigorosa indeterminada. Con ramilletes bien formados y frutos de calibre mediano, lisos y redondos.
- Vemone: planta vigorosa indeterminada. Con tallos finos y hojas estrechas. El marco de plantación es denso. Presenta poca resistencia a enfermedades. Con frutos de gran tamaño y elevado grado de acidez y dulzura.

- Diámetro (calibre).

Está determinado por el reglamento CE 790/2000 modificado por el CE 717/2001, que especifica el calibre mínimo y la escala de calibrado de todas las variedades de tomate excepto tomate tipo Cherry. El calibre mínimo según el reglamento ha de ser de 47 mm para el tomate redondo liso y asurcado y 33 mm para el tomate oblongo. La escala de calibrado no es aplicable en los tomates en racimo y entre 30-35 mm solo son clasificados los tomate tipo pera. Para el resto de variedades, se facilita la siguiente clasificación: tomates entre 35-40 mm equivalen a P, 40-47 mm equivalen a MMM, 47-57 mm MM, 57-67 M, 67-82 G, 82-102 GG y 102 mm o más GGG (BOE, 2000).

- Abonado convencional del cultivo de tomate.

El cultivo de tomate intensivo bajo plástico se caracteriza por presentar comúnmente riego por goteo, que puede definirse como la aplicación de cantidades pequeñas de agua en puntos cercanos a la raíz de las plantas, haciendo de este método una forma de riego de alta eficiencia (Jiménez y Lao, 2002b).

Aprovechando los sistemas de riego, se aportan también gran parte de los nutrientes que la plantación necesita, mediante fórmulas solubles reconstituidas, esto es lo que en agricultura se conoce como fertirrigación. La cantidad de nutrientes que deberán ser aportados, dependerán de una serie de factores tales como la fenología de la planta o el ambiente donde se desarrolla. Además, cabe destacar la fuerte importancia de la relación N/K a lo largo del ciclo del cultivo, que debe de ser:

- 1/1 desde el momento del trasplante hasta la finalización de la floración.
- 1/2-1/3 durante el periodo de recolección.

Los macronutrientes principales aportados al cultivo de tomate mediante fertirrigación, son:

- Nitrógeno (N). Principal nutriente en el desarrollo de la planta, ya que entre los efectos que tiene, destaca el crecimiento adecuado de la planta; otorga la tonalidad verde y una vida más larga a las hojas viejas; ayuda al desarrollo de tallos fluidos y blandos y un adecuado rendimiento.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Fósforo (P). Macronutriente fundamental para la obtención de un correcto enraizamiento de la planta y la floración del cultivo (regulación del tamaño de las flores). Importante aumentar su aporte durante la estación invernal, junto al aporte de magnesio, para asegurar su absorción a pesar del enfriamiento de los suelos.
- Calcio (Ca). Fundamental para evitar la necrosis apical propia del déficit o bloqueo de este macronutriente en zonas con suelos salinos.

En el caso de los micronutrientes, los mayormente aportados son:

- Hierro (Fe). Juega un papel fundamental en la coloración de los frutos.
- Manganeseo (Mn).
- Zinc (Zn).
- Boro (B).
- Molibdeno (Mo).

Además, en el caso de cultivos de tomate bajo plástico en suelos o en enarenado y con un riego por goteo con soluciones nutritivas, será fundamental determinar el momento y volumen de riego necesario para el cultivo. Para ello es básico el control de los siguientes parámetros (Berrios et al, 2007):

- Características del suelo (porcentaje de saturación, capacidad de campo).
- Niveles de evapotranspiración del cultivo.
- Eficacia del riego (caudal de los goteros).
- Calidad del agua destinada al riego.

- Calidad.

Desde el punto de vista agroalimentario, según la FAO la calidad puede ser una característica compleja de obtener que además determina el valor y la aceptabilidad de los alimentos por parte de los consumidores (ONU, 2000).

Existen parámetros que se valoran en el momento anterior de realizar la compra, estos son: color, forma, tamaño, consistencia, madurez, etc. Mientras que otros son valorados tras la consumición del producto o durante la misma como es el caso del aroma, sabor, textura, etc. Por último, se pueden distinguir otro tipo de parámetros denominados de calidad interna, únicamente apreciables mediante métodos físicos y químicos (Cuartero et al, 1995; Anastasio y Abad, 1997).

En el caso del tomate al igual que en el de otros cultivos, el momento de la recolección resulta fundamental, debido a que la maduración del fruto está íntimamente ligada a su desarrollo en la planta, deteniéndose o alterándose en el momento en el que es separado de la misma.

Por tanto, el momento de recolección estará íntimamente ligado hacia el consumidor al que va dirigido el producto. En el caso de ser un producto destinado a un mercado internacional, la recolección deberá realizarse antes que en el caso de ir destinado al mercado nacional, debido a que los productos inmaduros pierden su firmeza más tardíamente y mantienen un mayor sabor que en el caso de los productos ya maduros, los cuales a pesar de ser más resistentes a los daños ocasionados por el frío, al marchitamiento y a la deshidratación, precisan de ser consumidos en un periodo corto de tiempo por la pérdida de consistencia acelerada y de sabor (Kahramanoglu, 2017).

Teniendo en cuenta la importancia de la recolección, los parámetros de calidad que han de ser monitorizados en el cultivo del tomate, pueden dividirse en dos grupos:

- Parámetros físicos: Diámetro (calibre), peso y firmeza.
  - o Peso: Este parámetro es específico de cada tipo de variedad de tomate, por ejemplo, en el caso de la variedad Rebelión el peso oscila entre 158-176 g, con un peso medio de 170 g. Ejemplares en límites inferiores o superiores a estos, son el resultado de las prácticas agrícolas y control genético (Mazollier et al, 2011).



Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Firmeza: Es un parámetro indicativo del estado de la pared celular y madurez del fruto. Su control es imperativo para la aceptación y almacenamiento del producto. Permitiendo establecer el tiempo máximo de almacenamiento y el momento óptimo de venta. Su control se realiza mediante el uso de un penetrómetro y la clasificación depende de la escala de firmeza de frutos de tomate (Figura 5) (Domene y Segura, 2014a).

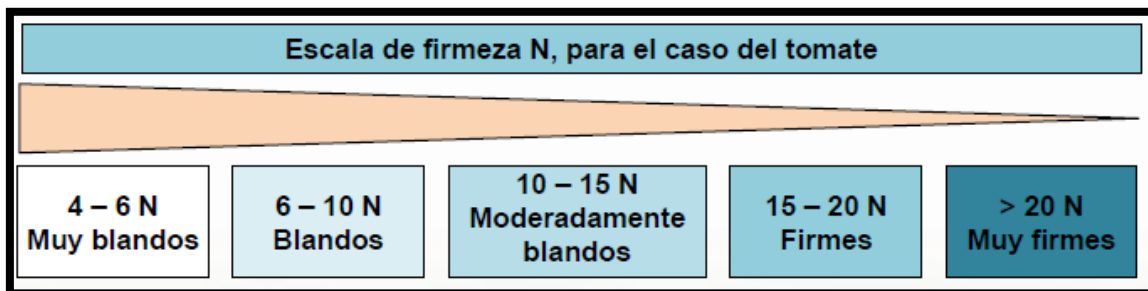


Figura 5. Escala de firmeza en frutos de tomate (Domene y Segura, 2014a).

- Parámetros químicos: °Brix, pH y valoración de la acidez (Domene y Segura, 2014b).
  - °Brix o contenido total de sólidos solubles: La escala de °Brix tiene la función de medir aproximadamente el contenido de azúcares de la pulpa de los frutos, aunque realmente determina el contenido de sólidos solubles. Su principal uso es la realización de un seguimiento continuado de la maduración de un fruto y determinar el momento óptimo de recolección. El instrumento empleado para medir °Brix es el refractómetro, aportando normalmente en el caso de las diferentes variedades de tomate, unos valores de grados Brix adecuados entre 4,5-7,5.
  - pH o acidez activa: Este parámetro indica el contenido de ácidos de los frutos y es un dato fundamental para conocer la capacidad de proliferación microbiana en los productos. El instrumento utilizado para su medición es el electrodo selectivo de vidrio, aportando unos valores en el caso del cultivo de tomate de entre 4-4,5.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Acidez valorable total: Indica la concentración total de ácidos encontrados en el producto. Se mide mediante una volumetría ácido-base y se suele expresar mediante la concentración de ácido cítrico. Los valores medio para el cultivo de tomate de larga vida suelen ser entre 0,21-0,31% de ácido cítrico.

### 1.1.3. *Suelo*

En el sector agrícola se entiende como suelo, el medio natural compuesto de un conjunto de capas formadas por mezclas de materiales minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua que en su conjunto forman el producto final que permite el crecimiento de las plantas. La relación de los materiales parentales, la influencia climática y orgánica, además del paso del tiempo, otorga las características bajo las cuales suele ser clasificado este (FAO, 2021).

En el caso de la provincia de Almería, los suelos destinados a la producción agrícola, se clasifican como Antrosoles cumúlicos, suelos artificiales (el material original de origen calcáreo tiene escasa fertilidad) constituidos por tres estratos bien diferenciados: una capa arcillosa (25 cm de espesor), una capa de materia orgánica (3 a 8 cm de espesor) y por último una capa arenosa superficial (10 cm de espesor). Presentan una textura media equilibrada, clasificada como franco-arenosa, siendo la fracción arenosa la mayoritaria, seguida del limo y por último la arcilla. Además, presentan altos valores de densidad aparente, baja capacidad de retención de agua, son ricos en carbonato cálcico y por tanto saturados en bases (Gil et al, 2002; Salinas et al; 2020).

### 1.1.4. *Fertilidad de los suelos de cultivos intensivos de Almería.*

Los suelos de los invernaderos de Almería por lo general presentan poca fertilidad; debido a la absorción de los nutrientes por parte de las plantas cultivadas, las prácticas culturales a los que están constantemente sometidos y el uso principalmente de fertilizantes inorgánicos y sintéticos, frente al uso de biofertilizantes y fertilizantes orgánicos que si permiten recuperar la fertilidad de los suelos. Por estos motivos, es fundamental la fertilización racional, que trata de integrar el uso de fertilizantes orgánicos y minerales, los cuales se complementan y permiten no solo la recuperación de los nutrientes consumidos por las plantas, sino que además restauran las propiedades iniciales del suelo.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

En España actualmente, según el reglamento (CE) nº 2003/2003 relativo a los abonos y el Real Decreto 824/2005, se reconocen tres tipos de fertilizantes; minerales, orgánicos y biofertilizantes.

- Fertilizantes minerales

Los fertilizantes minerales o inorgánicos son definidos como nutrientes asimilables por las plantas, derivados de la transformación industrial de diferentes elementos presentes en la naturaleza.

Las ventajas presentes de estos fertilizantes son las siguientes (García et al, 2009):

- Sustancias químicamente estables, asimilables por la planta.
- Sus fórmulas nutricionales son fácilmente adaptables a las necesidades del cultivo y condiciones edafoclimáticas.
- Aumentan la eficiencia de los cultivos con una correcta dosificación y aplicación.

- Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes o abonos orgánicos son definidos por el Real Decreto 824/2005 de 8 de julio y otras disposiciones complementarias, como aquellas sustancias que por su contenido en nutrientes facilitan el crecimiento de las plantas, aumentan su rendimiento y mejoran la calidad de las cosechas o que por su acción específica modifican, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas.

Los fertilizantes orgánicos presentan las siguientes ventajas (García et al, 2009):

- Su degradación genera humus que mejora la fertilidad del suelo.
- Mejoran el contenido y la calidad de la materia orgánica del suelo.
- Restablece las propiedades edáficas del suelo.

- Biofertilizantes

Los biofertilizantes o inoculantes microbianos, son definidos como sustancias agrobiotecnológicas compuestas por microorganismos vivos o latentes tales como bacterias u hongos que pueden encontrarse de forma única o combinados (Aguado, 2012). Estos productos están regulados en España por el Real Decreto 506/2013 de 28 de junio y disposiciones complementarias, que exigen tanto a estos como a fertilizantes orgánicos un límite máximo de contenido de carga microbiana.

Los biofertilizantes pueden clasificarse en función de los microorganismos que los integran o atendiendo a su finalidad. Generalmente es mediante este último sistema de clasificación por el que se escoge el biofertilizante. De los diferentes tipos de biofertilizantes según su finalidad, se prestará especial atención a aquellos encargados de promover el crecimiento, destacando los que ponen a disposición de las plantas los principales macronutrientes:

- Fijadores de nitrógeno: son un conjunto de bacterias que desarrollan una relación simbiótica con la planta, aportándole a esta un ambiente rico en nitrógeno asimilable, mediante la actividad nitrogenasa derivada de su enzima nitrogenasa bacteriana. El proceso completo por el que sucede esta relación, comienza con la liberación por parte de la planta de señales quimioattractantes, que conducen a las bacterias hasta la zona radicular de la planta. Estas bacterias una vez entran en contacto con las raíces, tratan de penetrarlas iniciando un proceso de colonización. Por su parte la planta al detectar la presencia de estas bacterias atraídas por sus señales, inicia un proceso de formación del tubo de infección que es un depósito que se forma en la pared celular lesionada por las bacterias, que tiene como finalidad facilitar la entrada de las mismas en la corteza radicular, permitiéndoles la colonización del citoplasma de estas células. De la unión que surge de las bacterias con las células vegetales que conforman la corteza, se crean nuevas estructuras denominadas nódulos radiculares, responsables de los procesos fijadores del nitrógeno (García, 2011).

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

- Solubilizadores de fósforo: conjunto de bacterias que mediante una serie de procesos metabólicos propios de las mismas generan formas asimilables de fosforo para las plantas. Los principales procesos por los que se crean fosfatos asimilables son (Corrales et al, 2014):
  - Acidificación del suelo mediante la producción extracelular de ácidos orgánicos bacterianos. Estos ácidos derivados de la oxidación directa de la glucosa, al disminuir el pH del suelo dan lugar a la transformación de los complejos quelantes con iones metálicos en fosfatos solubles asimilables por la planta.
  - Hidrolisis del fosfato orgánico. Este proceso es realizado por las bacterias bajo condiciones específicas tales como niveles bajos de fósforo y presencia de materia orgánica. Bajo el cumplimiento de estas condiciones la bacteria iniciará la producción de enzimas fosfatasas que se liberaran al medio dando lugar a la hidrólisis de los enlaces éster del fosfato orgánico, generando fosfatos asimilables.
- Solubilizadores de potasio: como proceso para la generación de potasio soluble por parte de las bacterias presentes en los biofertilizantes, destaca el siguiente (Jalixto, 2018):
  - Acidificación del suelo mediante liberación de ácidos orgánicos. Las bacterias pueden iniciar este proceso mediante tres vías: vía fermentativa, ácidos orgánicos originados como subproducto de procesos metabólicos; vía catabólica, proceso oxidativo de macromoléculas como proteínas o polisacáridos complejos y vía excretora, por déficit de nutrientes esenciales las bacterias generan excreciones ricas en ácidos orgánicos.

Diferentes estudios han demostrado como los biofertilizantes, pueden reducir la necesidad de utilizar grandes cantidades de otros tipos de fertilizantes, gracias a las funciones que estos presentan, como son la capacidad de mejorar la captación de nutrientes y agua por parte de las plantas, ya sea a través de la unión simbiótica entre microorganismos y los propios tejidos vegetales o mediante el aprovechamiento de reacciones metabólicas naturales, llevadas a cabo por estos mismos microorganismos. Por último, cabe destacar que la presencia en el suelo de microorganismos beneficiosos para las plantas evita físicamente la presencia de otros microorganismos posiblemente patógenos (Espinosa et al, 2017; Saino, 2020; Sánchez et al, 2018).

## **1.2. Interés investigativo.**

El sector agrícola ha sufrido grandes cambios a lo largo de la historia para adaptarse a los retos que se han ido presentando. La agricultura en la actualidad dista mucho de sus orígenes, sin embargo, comparte la necesidad de evolucionar para afrontar los retos que grandes organizaciones como la FAO auguran, el principal de estos será cubrir la creciente demanda de productos alimentarios. Sin embargo, la agricultura actual trata de moldearse ante los retos presentes como el cambio climático, prácticas industriales agotadoras de recursos y la contaminación de suelos y agua (FAO, 2009).

El sector agrícola a nivel nacional se ha visto avocado en las últimas décadas a atender de manera urgente problemas derivados de una agricultura demasiado industrializada. En primer lugar, el agotamiento de los suelos, llegando en muchas zonas al extremo de la desertización, por otro lado, la contaminación de las aguas subterráneas mediante la salinización por el uso abusivo de fertilizantes inorgánicos. Como consecuencia directa de estos problemas y de la reiterada expansión de las tierras cultivadas, también se ha hecho patente una acusada pérdida de biodiversidad. Desde la década de los 90 se está apostando por un modelo de agricultura sostenible que dé solución a los problemas mencionados.

La mejor herramienta de la que dispone la agricultura para hacer frente a los retos a los que se enfrenta, es la investigación, permitiendo la transformación de los medios y técnicas de producción mediante la mejora del control de los cultivos, a través de nuevas tecnologías como sensores y software que detectan de manera más eficiente posibles amenazas, permitiendo adelantarse y pudiendo actuar de manera rápida y eficaz contra dichas amenazas, o mediante estudios que investigan y aportan datos sobre el mejor uso y aplicación de productos fitosanitarios sobre el cultivo, que permiten una gestión más racional y disminuir la cantidad de producto utilizado, al mismo tiempo que se reduce la contaminación del medio y el gasto económico del agricultor (Esteve y Oller, 2019).

En esta última estrategia se basa el presente estudio de investigación, que mediante el análisis de productos biofertilizantes se busca conocer si dichos productos permiten reducir el uso de fertilizantes de origen químico y otras ventajas, como mejores producciones o menor agotamiento de los suelos.

### **1.3. Objetivos**

El objetivo principal del ensayo es estudiar el poder biofertilizante de unas fórmulas comerciales basadas en BPCP en un cultivo intensivo de tomate bajo plástico, con el fin de poder reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos e inorgánicos de un sistema de fertirriego convencional. Los objetivos parciales son:

- Estudiar la implantación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCP) en un cultivo comercial intensivo de tomate en invernadero.
- Estudiar su efecto fertilizante como fijadoras de nitrógeno atmosférico y solubilizadoras de fósforo y potasio en suelos y plantas.
- Estudiar su efecto biofertilizante en términos de producción y calidad de los frutos.
- Analizar económicamente costes y beneficios del uso de las BPCP.

## 2. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG Y SU CRONOGRAMA ASOCIADO.

El trabajo de investigación llevado a cabo fue dividido en una serie de fases:

- Adecuación del terreno y posterior trasplante de las plántulas desde el semillero.
- Seguimiento del desarrollo del cultivo.
- Estudio morfométrico de las plantas y de calidad de frutos.
- Estudio de variaciones en la fertilidad de suelos y en las comunidades microbianas.
- Estudio de productividad / económico.
- Recopilación de los datos y análisis de estos.

**Tabla 1.** Cronograma con las fases de la investigación (Elaboración propia).

Fases \ Periodo	2020				2021					
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Muestreo de microorganismos en el suelo.										
Establecimiento del cultivo.										
Inoculación de bacterias (cada 40 días apróx.).										
Estudio morfométrico plantas en etapa vegetativa.										
Estudio económico y de productividad.										
Análisis nutrientes NPK en suelos.										
Análisis nutrientes NPK en hojas.										
Análisis nutrientes NPK en frutos.										
Estudio parámetros de calidad en frutos.										
Análisis de datos.										



### **3. COMPETENCIAS ADQUIRIDAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO.**

La orden CIN/323/2009, de 9 de febrero, contempla las competencias adquiridas en el Grado en Ingeniería Agrícola, especialidad de Hortofruticultura y Jardinería. Las competencias a continuación expuestas, han permitido la realización y consecución de este Trabajo Fin de Grado:

- **E-CB03- Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.**

Esta competencia se integra en el trabajo mediante el uso de los programas: Statgraphics 18 Centurión, Microsoft Excel, PowerPoint, Word, Mendeley, Scopus.

- **E-CB08- Conocimiento de las bases y fundamentos biológicos del ámbito vegetal y animal en la ingeniería.**

Las bases biológicas del tomate y sus necesidades son desarrolladas en la memoria mediante el uso de la bibliografía utilizada.

- **E-CA01- Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de: Identificación y caracterización de especies vegetales.**

- **E-CA02- Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de: Las bases de la producción vegetal, los sistemas de producción, de protección y de explotación.**

- **E-CTH01- Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de: Tecnología de la Producción Hortofrutícola: Bases y tecnología de la propagación y producción hortícola, frutícola y ornamental. Control de calidad de productos hortofrutícolas. Comercialización. Genética y mejora vegetal.**

- **E-CTH05- Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de: Material vegetal: producción, uso y mantenimiento.**

Estas competencias se han adquirido mediante el seguimiento de una variedad de tomate desde su trasplante y su posterior análisis en el ensayo.

## 4. ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.

### 4.1. Localización.

Para la realización de este ensayo se seleccionó un invernadero situado en Venta Gaspar pedanía del municipio de Almería, en la provincia de Almería. Su referencia catastral es polígono 46, parcela 12, f y su localización geográfica es 36° 52' 37.3" norte y 2° 23' 40.5" oeste.

El invernadero cumple con las características de raspa y amagado, orientado Norte-Sur al igual que las líneas de cultivo, con una superficie total de 13.700 m<sup>2</sup>, con alturas aproximadamente de 5,5 metros de la raspa al suelo y de 3,75 metros en el amagado (Figura 6). El invernadero cuenta con ventanas laterales con mallas antitrips, para evitar la entrada de agentes patógenos no deseables. El plástico de la cumbrera está sujeto mediante el uso de alambre tipo parral.



Figura 6. Detalle del invernadero seleccionado (Elaboración propia).

#### 4.2. Material vegetal del cultivo.

La variedad VT-3831 de tomate, también denominada Rebelión, procede del cruce a través de selección natural de tomate tipo Marmande con tomate tipo Larga vida, obtenido por la casa de semillas francesa Vilmorin.

El tomate Rebelión surge como respuesta a la creciente demanda de países norte y centroeuropeos de frutos de tipología tradicional con sabor intenso y aspecto clásico. El tomate Rebelión se cultiva principalmente en las zonas de Marmande (Francia) y Almería (España). Las principales características de esta variedad son su vida media postcosecha de 15 días, valores de °Brix de 8 aproximadamente y color en tabla clásica de valores entre 8-10. Estas características hacen de Rebelión un tomate que permite un enfoque de exportación internacional y al mismo tiempo de consumo local.

Otras características de este cultivo son sus hojas de color verde oscuro, ligeramente rizadas y separadas entre ellas. Además, presenta resistencia al virus del mosaico del tomate (ToMV), *Verticillium* y *Fusarium* y un rendimiento comercial de 8,89 Kg/m<sup>2</sup>. Sus frutos presentan un peso medio de entre 158 a 176 gramos, son multiloculares, con semillas pequeñas, aspecto achatado-acostillado y con una maduración rápida desde dentro hacia fuera, debido al gen larga vida (Figura 7). El ciclo de cultivo ideal para esta variedad es el ciclo de primavera, comienza a mediados de noviembre y finaliza con la recolección en junio (Mazollier et al, 2011).



**Figura 7.** Tomate Rebelión (Elaboración propia).

### 4.3. Sistema de fertilización química y biofertilización.

El sistema de fertirrigación encargado del aporte de nutrientes y del riego del cultivo, se encuentra distribuido a lo largo de la finca. Este sistema consta de un cabezal de riego, situado junto al almacén de manipulación del género al otro lado de la rambla. Desde aquí se dirige y controlan las operaciones de fertirrigación y también se sitúa aquí la toma de alimentación de agua.

El sistema de fertirrigación consta de cuatro tanques ubicados en el cabezal, cada uno de ellos contiene un preparado de fertilizantes distinto:

- Tanque 1: 100 kg de nitrato cálcico por 1000 L.
- Tanque 2: 100 kg de nitrato potásico por 1000 L.
- Tanque 3: 25 L de ácido fosfórico y 25 kg de sulfato de Magnesio.
- Tanque 4: 50 kg de nitrato amónico (33,5%) y 50 kg de sulfato amónico (21%).

Los riegos fueron de 30 minutos con la siguiente proporción de abonado (Tabla 2):

**Tabla 2.** Distribución de porcentajes de uso de los tanques de riego según la fase del cultivo.

<b>FASE</b>	<b>Tanque 1</b>	<b>Tanque 2</b>	<b>Tanque 3</b>	<b>Tanque 4</b>
<b>Crecimiento</b>	17	33	33	17
<b>Cuaje</b>	33	33	20	13
<b>Recolección</b>	33	33	11	22

El sistema de inyección de venturis está controlado por un conjunto de electroválvulas que determinarán la apertura para el paso del agua. Este sistema es dependiente de las consignas establecidas de conductividad eléctrica (CE) y pH introducidos en el programador de riego, encargado de la distribución en el tiempo y la duración de los riegos. En el caso de este ensayo, la conductividad eléctrica fue de 1,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por encima del agua en los sectores de los tratamientos T0 y T1, mientras que, en el sector para el tratamiento T2 se programó 1,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por encima del agua.

El agua es transportada desde el cabezal de riego hasta el invernadero, por tuberías de polietileno (PE), estas se encuentran elevadas para salvar el desnivel de la rambla sitiada en medio (Figura 8).

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

En el invernadero se encuentra el sistema de góteros, estará asignado uno por planta y con una separación de 50 cm entre plantas. Los góteros son autocompensantes (el caudal será independiente de la presión) de 16 mm, dando un caudal de 1,5 l/h.



**Figura 8.** Cabezal de riego (verde) y tuberías (amarillo) (Elaboración propia).

Respecto a los productos biofertilizantes estos correspondieron a los productos comerciales de Nostoc Biotechnologies S.L. (Figura 9). Dichos productos contenían bacterias fijadoras de N (*Rhizobium pusense*) y solubilizadoras de P y K (dos cepas diferentes de *Burkholderia cepacia*). En cada aplicación se utilizó una botella de 1 L por hectárea.

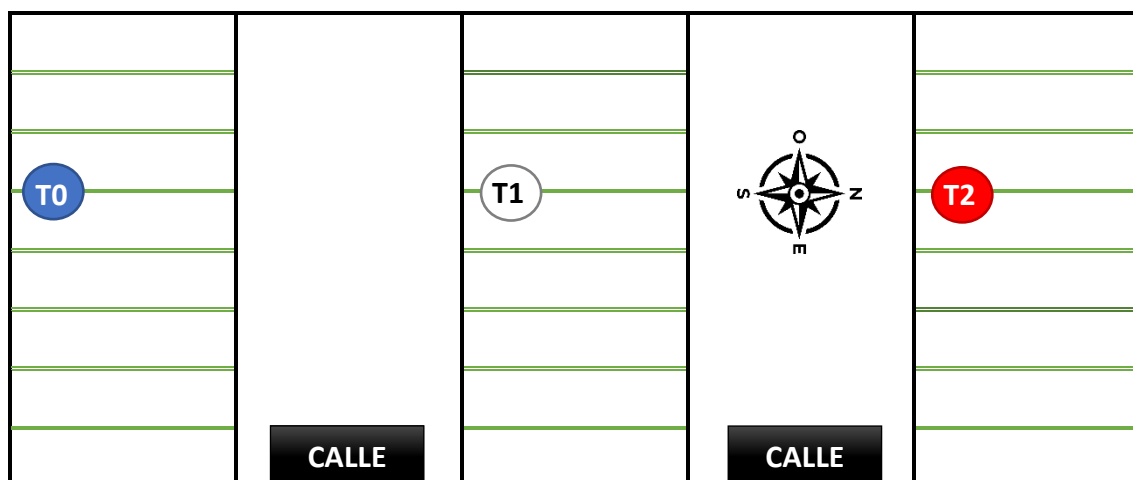
Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate



**Figura 9.** Productos biofertilizantes proporcionados por la empresa Nostoc Biotechnologies S.L.

#### 4.4. Diseño del ensayo.

El invernadero empleado contaba con una superficie cultivada total de 13.700 m<sup>2</sup>. Esta superficie se dividió en tres zonas (T0, T1 y T2) (Figura 10) delimitadas por los sectores de riego. El marco de plantación consistió en una separación de 0,5 m entre plantas y una distancia de 1,18 m entre líneas (Figura 11), dando lugar a una densidad de plantas de 1,7 plantas/m<sup>2</sup>.



**Figura 10.** Esquema disposición de tratamientos en el invernadero (Elaboración propia).



**Figura 11.** Vista de los diferentes sectores del experimento T0 (azul), T1 (blanco) y T2 (rojo) (Elaboración propia).

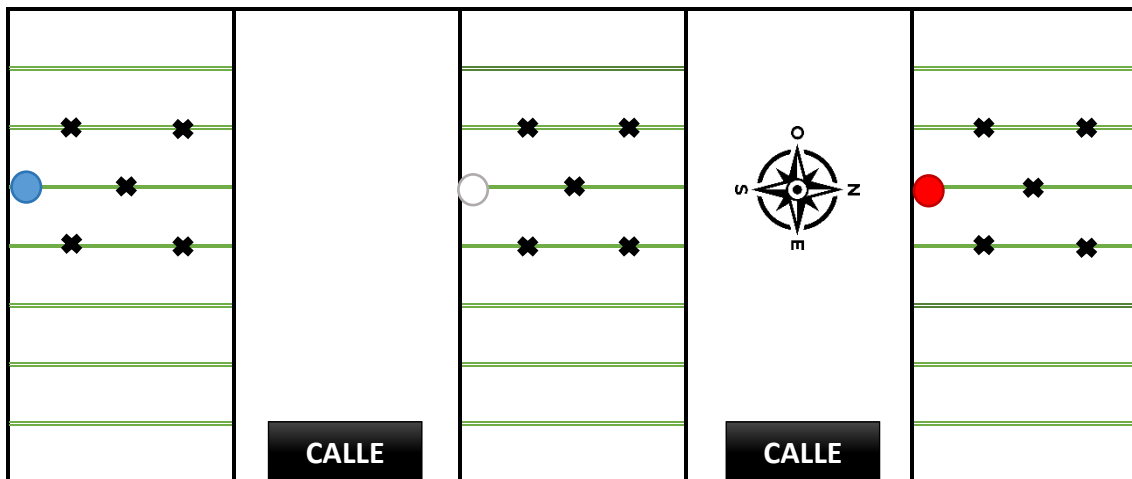
A continuación, se describirán los tratamientos aplicados en las líneas de cultivo:

- T0 (Azul): En este sector, que se denominó control no se aplicaron biofertilizantes, solo la fertirrigación convencional.
- T1 (Blanco): Solo se aplicó la primera inoculación de los productos biofertilizantes el 30 de septiembre de 2020 y se mantuvo las mismas cantidades de fertirrigación que el tratamiento control.
- T2 (Rojo): El tratamiento empleado sobre este grupo consistió en la inoculación de bacterias una semana aproximadamente después del trasplante y después cada 40 días y además se redujo la fertirrigación en un 20% basado en los valores de conductividad eléctrica del agua de riego.

#### 4.5. Parámetros y medidas.

##### 4.5.1. Análisis microbiológicos.

Se muestrearon en 4 fechas correspondientes a los momentos de 03/09/20 antes del trasplante, 20/10/20 después del trasplante y tras la primera inoculación bacteriana, 28/12/20 durante la época de crecimiento vegetativo y 10/03/21 durante la época de recolección de frutos. Para la toma de muestras se hicieron 5 calicatas (Figura 12) en la zona del bulbo de riego, a unos 10 cm del gotero y a unos 20 cm de profundidad tras retirar la capa de arena superficial. En cada calicata se tomó una muestra en un pequeño tubo de 20 ml.



**Figura 12.** Esquema disposición de puntos de análisis (Elaboración propia).

Las muestras fueron inmediatamente enviadas para los análisis moleculares a la compañía Biome Makers Inc. La extracción de ADN fue realizada con un kit DNeasy PowerLyzer PowerSoil de Qiagen. Para caracterizar las comunidades microbianas se estudió la región de codificación del 16S rRNA V4 región usando un secuenciador Illumina MiSeq instrument. Las lecturas de secuenciación se agruparon en OTUs (Unidad Taxonómica Operativa) con un 97% de similitud. La clasificación taxonómica de las secuencias se realizó usando la base de datos SILVA version 132.



#### 4.5.2. *Estudio morfométrico de plantas en etapa vegetativa.*

Se recogieron una serie de medidas morfométricas del cultivo en la época de crecimiento vegetativo de la planta, el día 28/12/20, para conocer mejor su forma externa y evaluar el efecto de los tratamientos. Las medidas que se tomaron fueron las siguientes (Figura 13):

- **Diámetro:** se midió tanto el diámetro de la primera bifurcación de la planta como el diámetro de los tallos primero y segundo a una altura de 150 cm. La herramienta utilizada para tomar esta medida fue una cinta métrica cuya unidad de medida eran los centímetros.
- **Altura de la planta:** Se midió la longitud total desde la base del tallo principal hasta la zona apical del tallo más desarrollado. La herramienta de medida y sus unidades fueron las mismas que en la medición anterior.
- **Longitud:** se realizó la medición del tallo principal, desde su base hasta la primera bifurcación y de los tallos 1 y 2 o tallos secundarios, que se midieron desde la bifurcación hasta su zona apical. La herramienta de medida y sus unidades fueron las mismas que en la medición anterior.
- **Número de entrenudos:** Se contabilizó la cantidad de entrenudos que presentaba la planta en sus tallos 1 y 2.
- **Número de racimos:** Se contabilizó la cantidad de racimos que presentaba la planta en sus tallos 1 y 2.
- **Número de frutos:** Se contabilizó la cantidad de racimos que presentaba la planta en sus tallos 1 y 2.

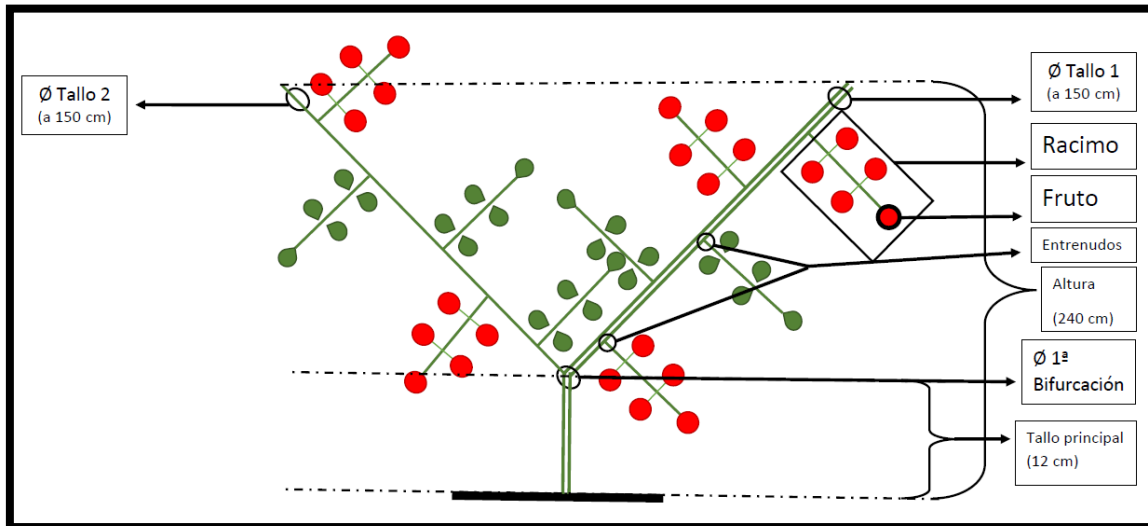


Figura 13. Esquema planta de tomate (Elaboración propia).

#### 4.5.3. Análisis de nutrientes NPK en suelos, hojas y frutos.

Antes de empezar el experimento se muestrearon los suelos en varios puntos del invernadero para conocer los niveles de fertilidad de partida, y posteriormente en el tercer y cuarto muestreo microbiológico (28/12/20 y 10/03/21) y en los mismos puntos que en estos muestreos se tomaron 3 réplicas de 500 g de suelo para medir los contenidos de N, P y K.

El muestreo foliar se realizó en dos fechas (24/02/21 y 10/03/21) y se recogieron aleatoriamente en cada sector 45 hojas por tratamiento, las cuales fueron divididas en tres réplicas de 15 hojas. Se lavaron con agua y agua destilada para después someterse a un proceso de secado en estufa a 65° hasta peso constante. Una vez eliminado todo rastro de agua en el material vegetal, el contenido restante fue molido hasta obtener un fino polvo.

El muestreo de frutos se realizó el 10/03/21 en 10 plantas seleccionadas de cada tratamiento y a partir de un número de entre 5-6 piezas por tratamiento se procedió también a la desecación de tres submuestras de 200 gramos de tomate por tratamiento en la estufa a 65° hasta peso constante y una vez eliminado el contenido de agua se molió el contenido restante. Los niveles de N, P, y K tanto en suelo, hojas y frutos se midieron mediante el método Kjeldhal (Kjeldhal, 1883), método Olsen (Olsen et al, 1954) y absorción atómica respectivamente.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

#### 4.5.4. *Parámetros de calidad medidos.*

Se realizó un segundo muestreo de frutos el 05/04/21, pero en este caso para la medición de parámetros de calidad. A excepción de la firmeza que se midió en las propias piezas de frutos (n=9), los restantes parámetros se midieron sobre el licuado de los frutos (pH, contenido total de sólidos solubles y contenido en ácido cítrico). Se prepararon tres réplicas de licuado 250 g a partir de porciones de frutos.

##### 4.5.4.1. Firmeza.

El instrumento de medida usado para la cuantificación de la firmeza, es el penetrómetro, cuyo funcionamiento se basa en medir cuanta presión es necesaria aplicar para que el puntal del instrumento atraviese la superficie del fruto. El modelo de penetrómetro utilizado es PCE-PTR 200N (Figura 14) con puntal de 8 mm de diámetro y superficie de 0,5 cm<sup>2</sup>.



**Figura 14.** Penetrómetro utilizado (Elaboración propia).

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate

#### 4.5.4.2. °Brix o contenido total de sólidos solubles.

Los sólidos solubles totales (SST) son un conjunto de bioelementos como los carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y minerales del fruto, que pueden ser determinados mediante el uso de la escala Brix. Se midieron con un refractómetro de tipo manual modelo Master Agri 0-53% de la marca ATAGO (Figura 15).



**Figura 15.** Refractómetro y detalle de lectura de °Brix (Elaboración propia).

#### 4.5.4.3. Acidez activa o pH.

Se denomina acidez activa o pH al coeficiente que indica los grados de acidez o basicidad de una solución acuosa. Para determinar este coeficiente en frutas, es necesario conocer la concentración de iones hidronios ( $H_3O^+$ ) presentes y se realizó con un pH-metro modelo pH 1100-S de la marca LAQUA (Figura 16), obteniendo de esta forma un valor de acidez.

Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate



**Figura 16.** pH-metro (Elaboración propia).

#### 4.5.4.4. Acidez valorable total (% Ac. Cítrico).

La acidez valorable total de un fruto como el tomate se determina mediante una valoración ácido base con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N (Figura 17), a partir de 10 ml de zumo de tomate más 50 ml de agua destilada y 10 gotas de fenolftaleína. Los resultados se expresaron como % Ácido cítrico ( $V_{\text{titulación}} * 0,064$ ).



**Figura 17.** Elementos para la valoración ácido-base (Elaboración propia).

#### 4.5.4.5. Índice de madurez.

La determinación de este parámetro es indirecta, conociendo el contenido total de sólidos solubles y la acidez valorable. Su importancia radica en que nos indica el sabor de un determinado fruto y también nos da una idea de la evolución postcosecha de la calidad de frutos. El resultado se puede expresar en % ( $^{\circ}\text{Brix}/\% \text{Ácido}$ ) y  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $(^{\circ}\text{Brix} \cdot 10) / (\text{g} \text{Ácido} \cdot \text{L}^{-1})$ ).

#### 4.5.5. Medidas rendimiento de cosecha.

En 10 plantas seleccionadas de forma continua en un línea en cada sector se controló la producción de frutos aptos para su comercialización en todos los cortes de la cosecha ( $n=19$ ). Los frutos fueron clasificados por calibres comerciales (Figura 18) y finalmente se pesaron con una balanza industrial marca ADAM, modelo BCKT-48K-001, extrapolando los valores a  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

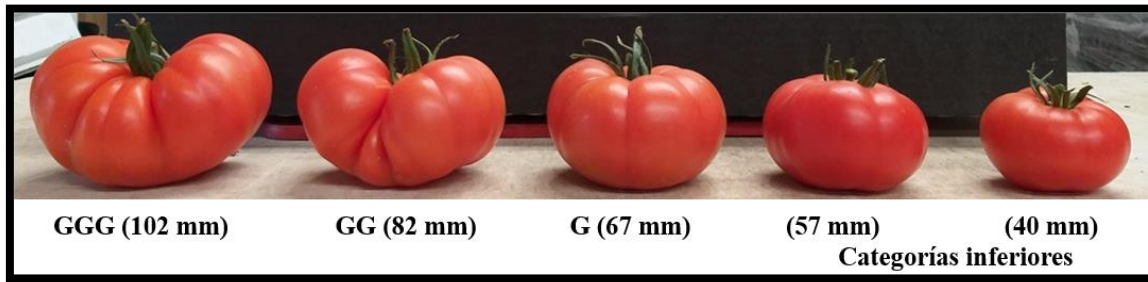


Figura 18. Clasificación de los frutos por calibres comerciales (Elaboración propia).

#### 4.5.6. Análisis económico.

A lo largo del cultivo, se realizó un registro semanal de los precios de compra en euros por kilos de tomate dependiente de la categoría comercial, publicados por la cooperativa agrícola CASI. Se obtuvo de esta forma un registro de los euros obtenidos por metro cuadrado por corte y a partir de estos valores se procedió al cálculo de los ingresos por tratamiento extrapolados a toda la superficie del invernadero.

#### 4.5.7. Análisis estadístico.

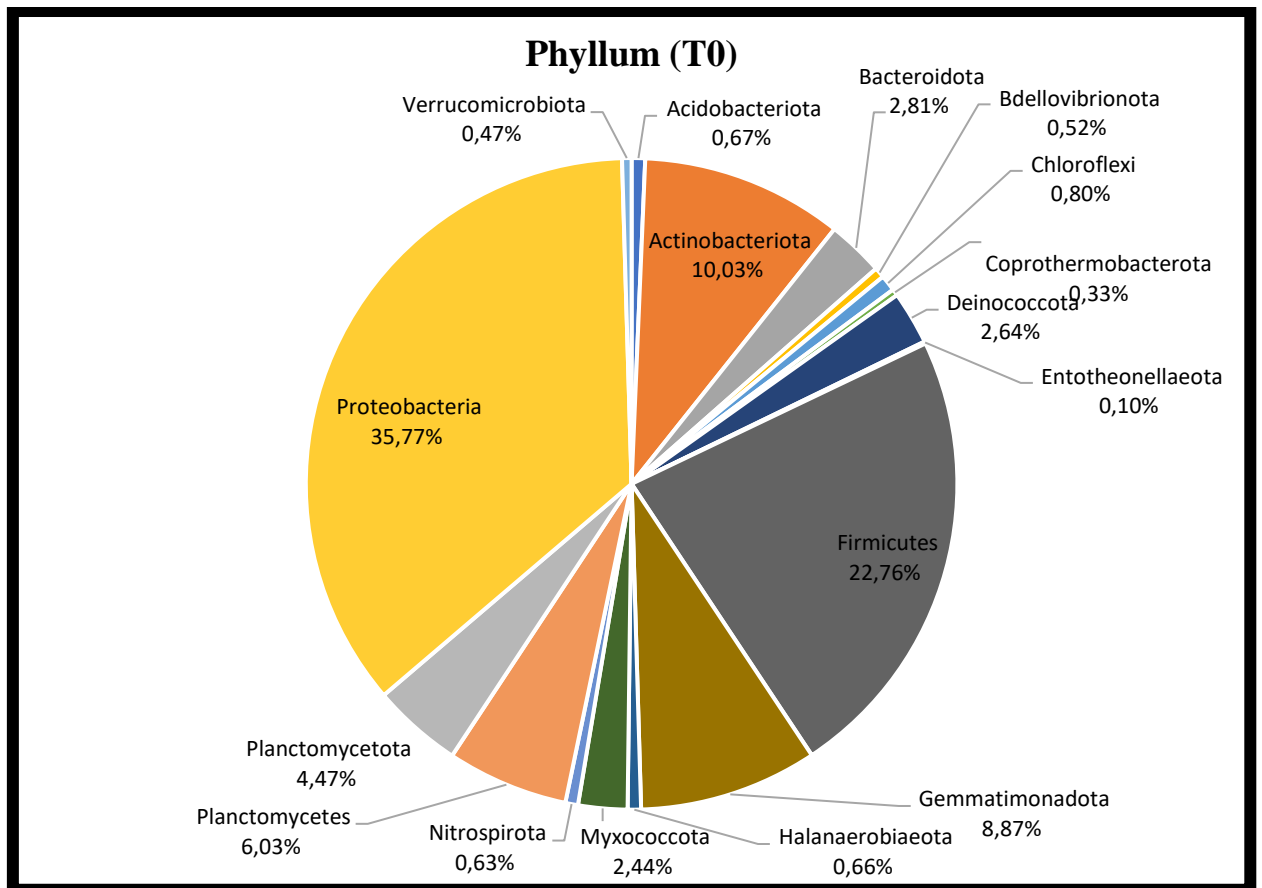
El análisis de varianza (ANOVA) fue usado para realizar la comparación entre las variables analizadas, siendo los diferentes tratamientos con BPCP el factor utilizado. Cuando p-value indicase una diferencia significativa, se aplicó el test de mínimas diferencias significativas de Fisher al 95% de confianza, permitiendo asegurar la existencia de dichas diferencias significativas entre variables. El programa estadístico con el que se realizaron dichos cálculos fue Statgraphics Centurion 18 para Windows.

El análisis Gheom patentado por Biome makers (EFS42339603, EFS41990852) fue usado para mostrar el efecto sobre las diferentes comunidades microbiológicas de los biofertilizantes, a lo largo de las diferentes fechas de muestreo y tratamientos. El análisis se basa en un cálculo del cambio “fold” de cada OTU de los tratamientos, a partir de las fechas de muestreo hasta la fecha final, frente al cambio en el tratamiento control (T0) durante el mismo intervalo de tiempo. Una vez finalizado el análisis, las OTUs son agrupadas según su funcionalidad, permitiendo el posterior estudio de su influjo sobre la liberación de nutrientes y el consumo y producción de fitohormonas en las plantas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

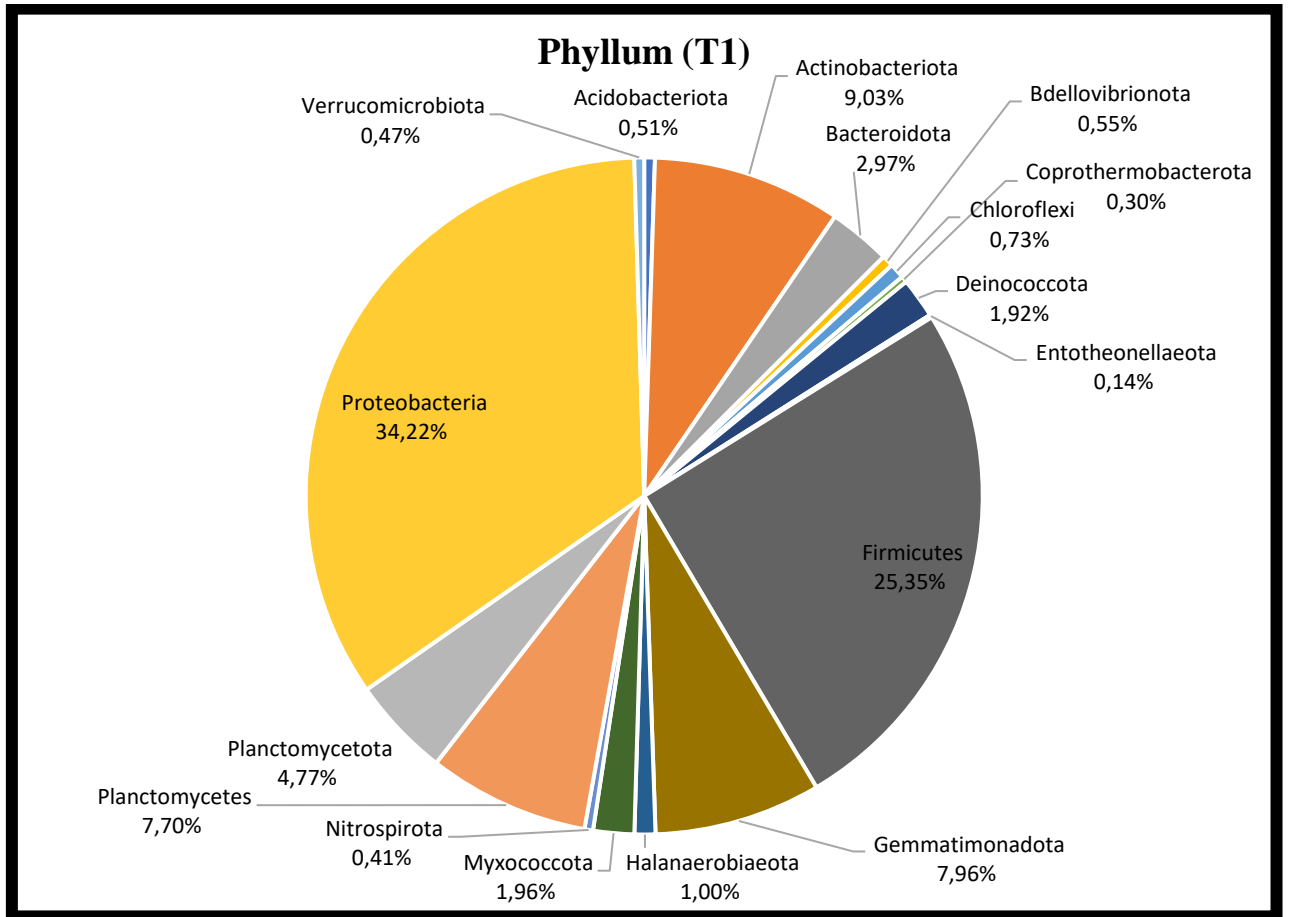
### 5.1. Resultados análisis microbiológicos.

En las figuras 19, 20 y 21 se muestran las abundancias relativas de los filos bacterianos en los suelos para los tratamientos T0, T1 y T2 respectivamente. En general en todos los tratamientos los filos mayoritarios fueron Proteobacterias, Firmicutes y Actinobacterias, con pocas diferencias entre tratamientos (<3%) por lo que podemos indicar que los biofertilizantes aplicados no produjeron importantes cambios en las comunidades bacterianas de los suelos.

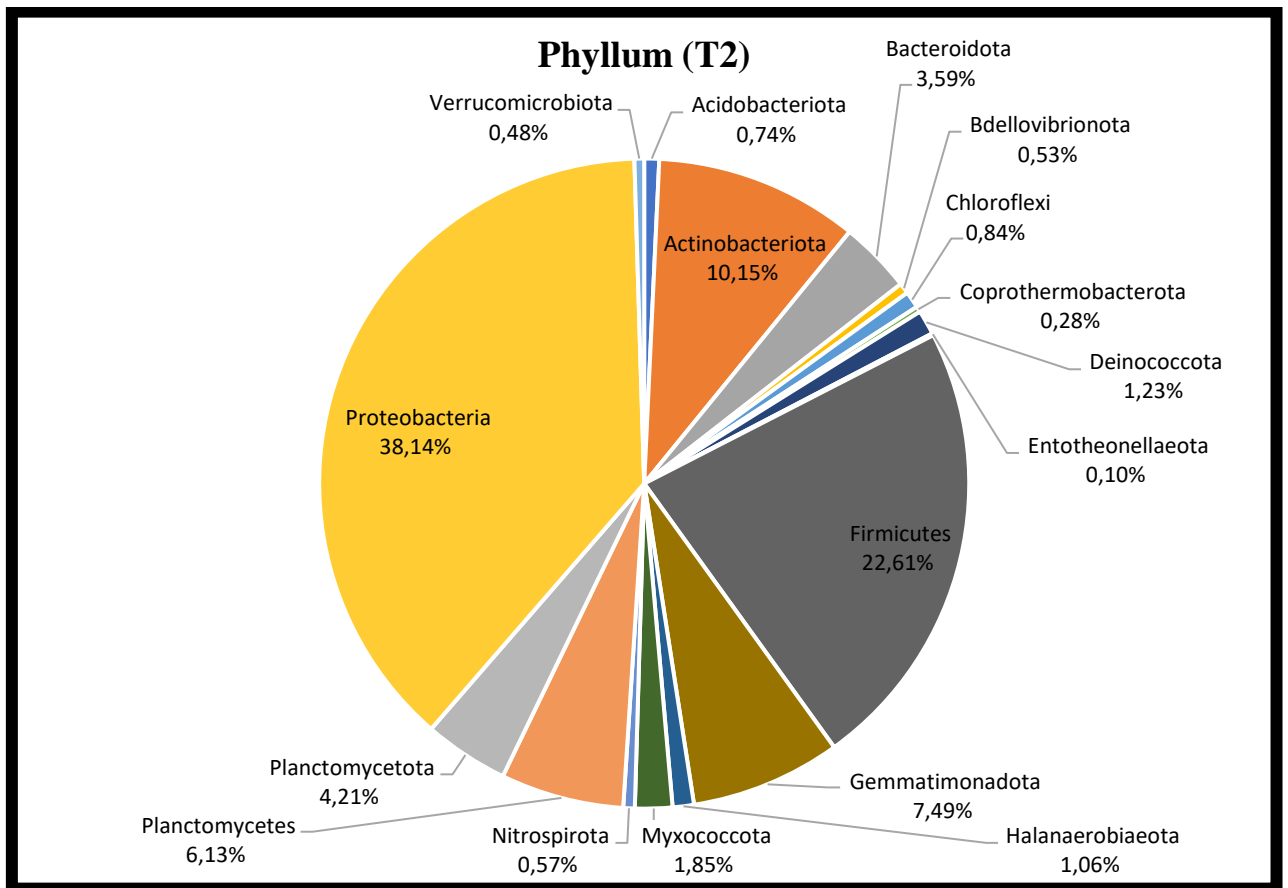


**Figura 19.** Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 0 (Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego).



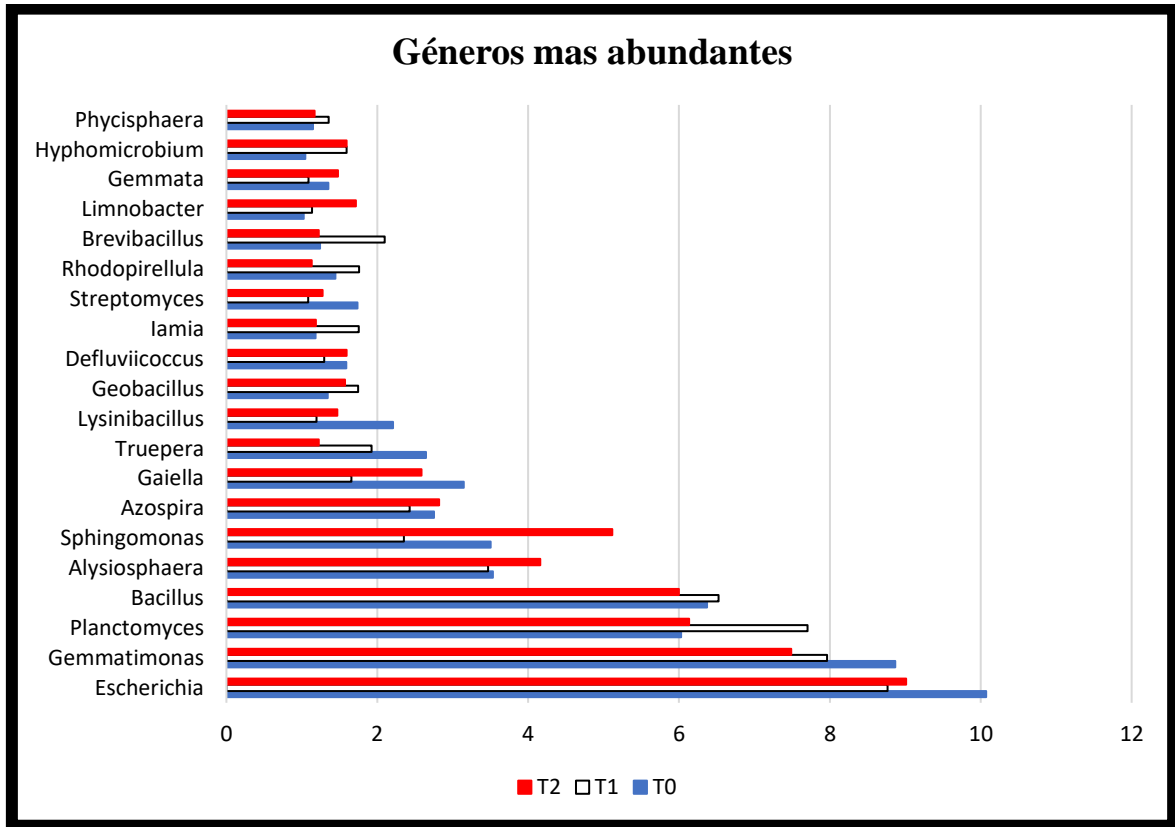


**Figura 20.** Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 1 (Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego).



**Figura 21.** Abundancias relativas de los filos bacterianos en suelos del tratamiento 2 (Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego).

En la figura 22 se muestran las proporciones de los géneros bacterianos más abundantes detectados en los suelos de los diferentes tratamientos. No hemos realizado un análisis detallado de los mismos ya que los análisis microbiológicos realizados no nos permitían detectar las bacterias de los productos biofertilizantes respecto a otras bacterias del mismo género. Sin embargo, si resulta de mayor interés el análisis Gheom (Tabla 3).



**Figura 22.** Abundancias relativas de géneros bacterianos en los suelos de los diferentes tratamientos del ensayo. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego

**Tabla 3.** Análisis microbiológico Gheom.

<b>Hormones</b>	<b>t1-t0</b>		<b>t2-t0</b>		<b>t3-t0</b>	
	Folder Change (FC)	p-value	Folder Change (FC)	p-value	Folder Change (FC)	p-value
Hormone Production	4,17	NA	29,92	0,63	249,73	0,10
Auxin Production (IAA)	-4,29	NA	36,90	0,62	381,71	0,08
Cytokinin Production (CK)	-4,31	NA	28,88	0,68	222,72	0,16
Gibberellin Production (GA)	26,61	0,69	46,33	0,62	138,59	0,34
Abscisic acid (ABA)	28,25	NA	272,88	0,39	2003,86	0,08
<b>Nutrition</b>	Folder Change (FC)	p-value	Folder Change (FC)	p-value	Folder Change (FC)	p-value
<b>Nitrogen Pathways</b>	-0,99	NA	-2,52	0,61	-13,81	0,04
Inorganic nitrogen release	-7,18	0,53	-5,63	0,59	-27,76	0,09
Inorganic nitrogen consumption	-6,21	0,48	-3,07	0,67	-14,78	0,27
Inorganic Nitrogen cycle health	11,86	0,33	12,73	0,32	3,96	0,65
<b>Phosphorous Pathways</b>	32,80	0,30	28,41	0,30	15,22	0,46
Inorganic P solubilization	32,39	0,27	21,63	0,33	26,88	0,34
Inorganic P consumption	-4,01	0,32	-3,76	0,60	-1,31	NA
Organic P assimilation	1,40	0,67	1,13	NA	8,62	0,25
<b>Potassium Pathways</b>	22,59	0,30	18,94	0,37	6,24	0,67
Potassium solubilization	32,39	0,27	21,63	0,33	26,88	0,34
Potassium consumption	3,89	0,48	3,82	0,48	6,58	0,32

t0, t1, t2, t3 indican las fechas de muestreos microbiológicos.

Dicho análisis nos ha permitido conocer la presencia y variación en el tiempo de bacterias con influencia en los ciclos de los macronutrientes NPK y en la producción de fitohormonas responsables del crecimiento de las plantas y desarrollo de los frutos. En este análisis se realizan comparaciones con el propio tratamiento y el control en el tiempo t0, así que las diferencias en el “folder change” pueden ser atribuidas a los productos biofertilizantes aplicados. Aunque tenemos datos de los diferentes muestreos nos vamos a centrar en el estudio de la fecha t3, época de recolección de frutos, que es la más interesante desde el punto de vista de la producción del cultivo. En este periodo se puede apreciar un incremento de fitohormonas (auxinas, citoquininas, giberelinas) más que destacable (FC entre 138 y 381), siendo especialmente acentuado el ácido abscísico (FC = 2003.86).

En lo referente a los macronutrientes podemos indicar que los parámetros que mide este análisis no se ajustan bien a las bacterias aplicadas para la fijación del N, ya que el análisis Gheom se centra en la búsqueda de bacterias que mineralizan el N orgánico y aquellas que consumen N, pero en nuestro caso nuestras bacterias fijan N de la atmósfera, por lo que los resultados negativos o bajos de FC en la tabla 3 para los Nitrogen pathways no son relevantes.

Sin embargo, si encontramos valores positivos y con una cierta relevancia en el FC (26.88) para los parámetros de solubilización de P y K. Precisamente, las bacterias aplicadas en los productos biofertilizantes Bio P y Bio K tienen como mecanismo de acción la solubilización de estos nutrientes.

## 5.2. Resultados de las medidas morfométricas.

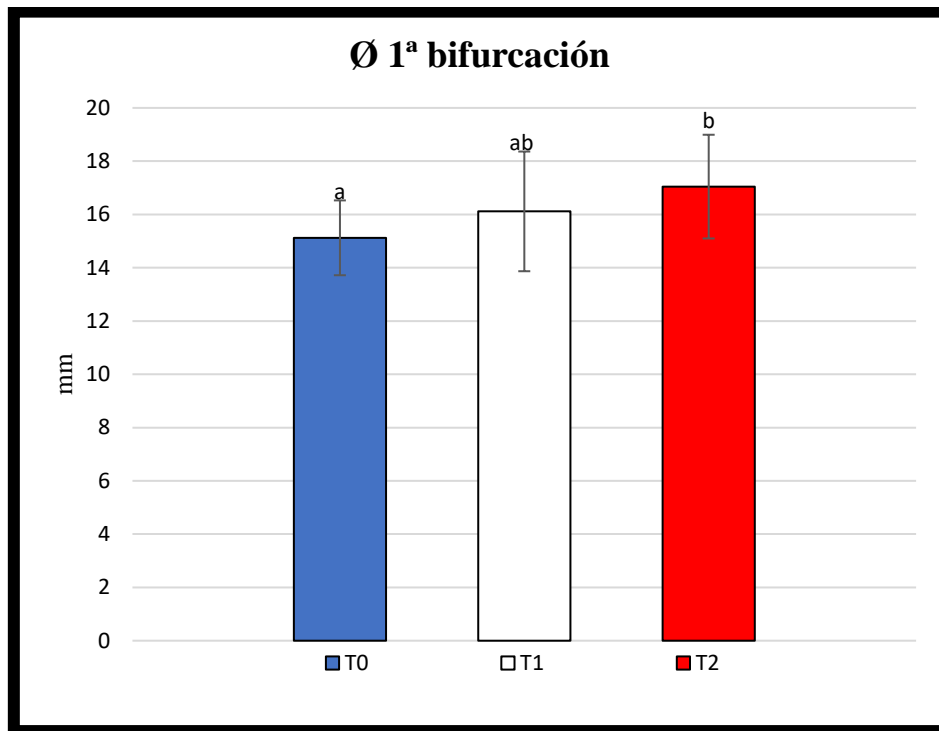
De las siete variables morfométricas medidas en las plantas durante la época de crecimiento vegetativo tres presentaron diferencias significativas entre tratamientos (diámetro primera bifurcación en el tallo, número medio de entrenudos y relación altura/diámetro) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Variables morfométricas medidas en la época de crecimiento vegetativo.

Variables	Tratamientos			Anova	
	T0	T1	T2	Razón-F	Valor-P
Ø 1ª bifurcación (mm)	15,12±1,40a	16,12±2,25ab	17,05±1,95b	3,85	0,0293**
Ø medio de tallos (mm)	12,62±1,33a	12,50±2,04a	12,01±1,01a	0,68	0,5113
Nº medio de entrenudos	22,13±2,05a	25,03±1,68b	21,97±2,22a	11,20	0,0001***
Nº medio de racimos	7,33±0,70a	6,97±0,69a	6,97±0,35a	1,85	0,1706
Número medio de frutos	30,70±5,63a	32,37±4,16a	34,30±4,26a	2,17	0,1266
Altura (cm)	262,77±17,50a	260,93±8,84a	253,33±11,37a	2,19	0,1244
Altura/Diámetro 1ª bifurcación (cm/mm)	17,51±2,02b	16,48±2,31b	15,00±1,42a	6,29	0,0041**

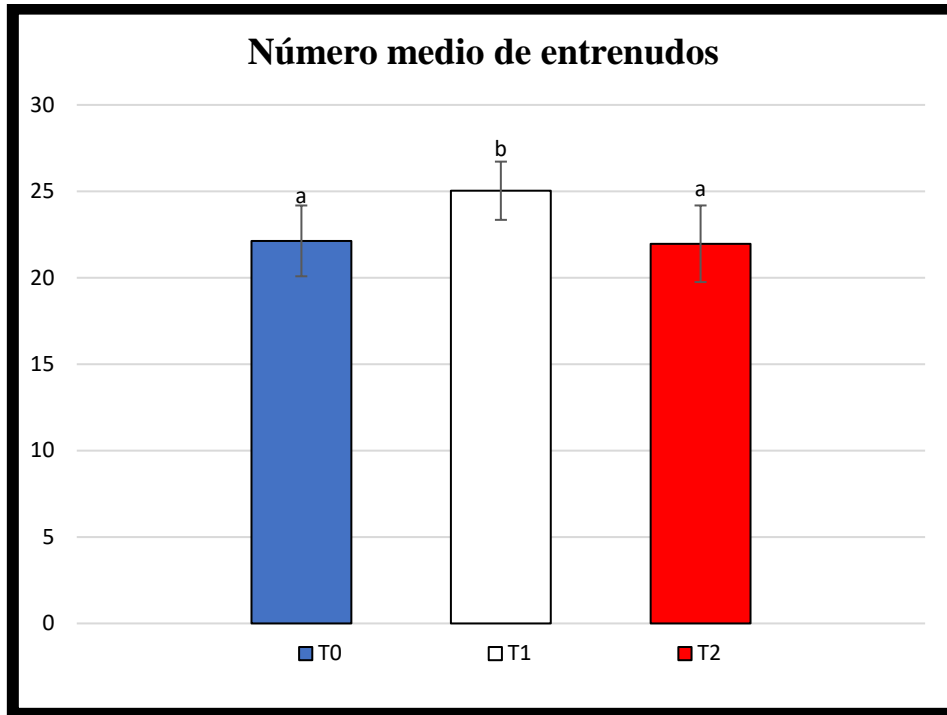
T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. n = 15. Valores indican media ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. \* p-value < 0,1, \*\* p-value < 0,05, \*\*\* p-value < 0,001.

En la figura 23 se muestra como hay una tendencia de que el cultivo muestre un mayor diámetro en la bifurcación del tallo a medida que las inoculaciones de los productos biofertilizantes eran más continuados.



**Figura 23.** Representación gráfica de los resultados del diámetro de la primera bifurcación. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

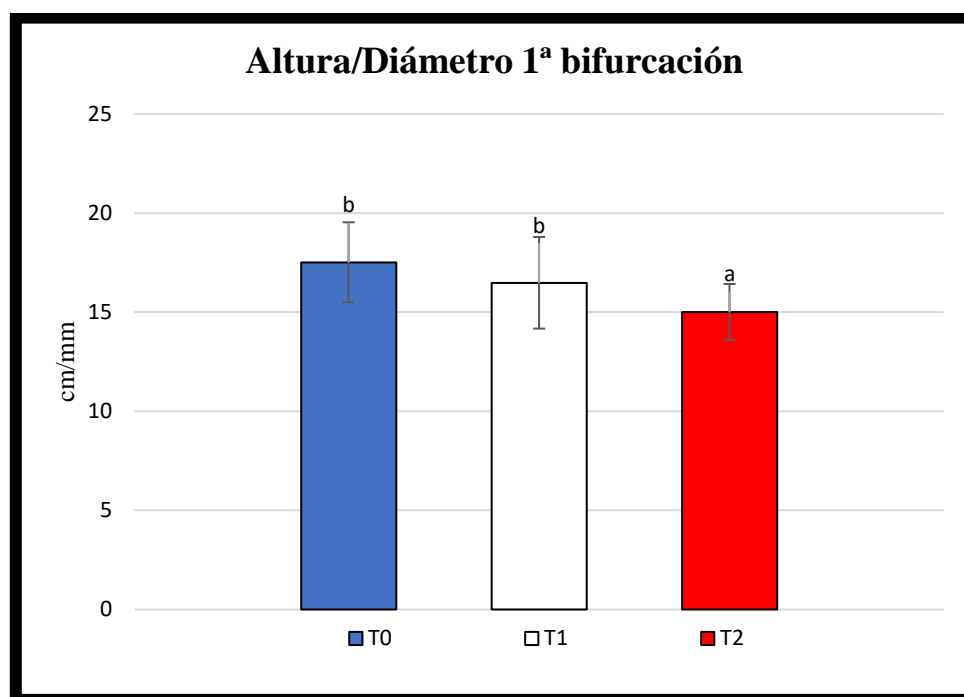
Las plantas presentaron un número mayor de entrenudos, cuando fue inoculado una única vez las bacterias promotoras del crecimiento, frente a su inoculación periódica o su ausencia en el cultivo, teniendo unos valores medios de entrenudos similares estos dos últimos casos (Figura 24).



**Figura 24.** Representación gráfica de los resultados del número medio de entrenudos. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

En la figura 25 se muestra como la relación altura/diámetro 1ª bifurcación es menor cuando se lleva a cabo una inoculación periódica de las bacterias promotoras del crecimiento. Esto nos indica que las bacterias promovieron el desarrollo de plantas más pequeñas pero con tallos más gruesos, en definitiva más robustas.





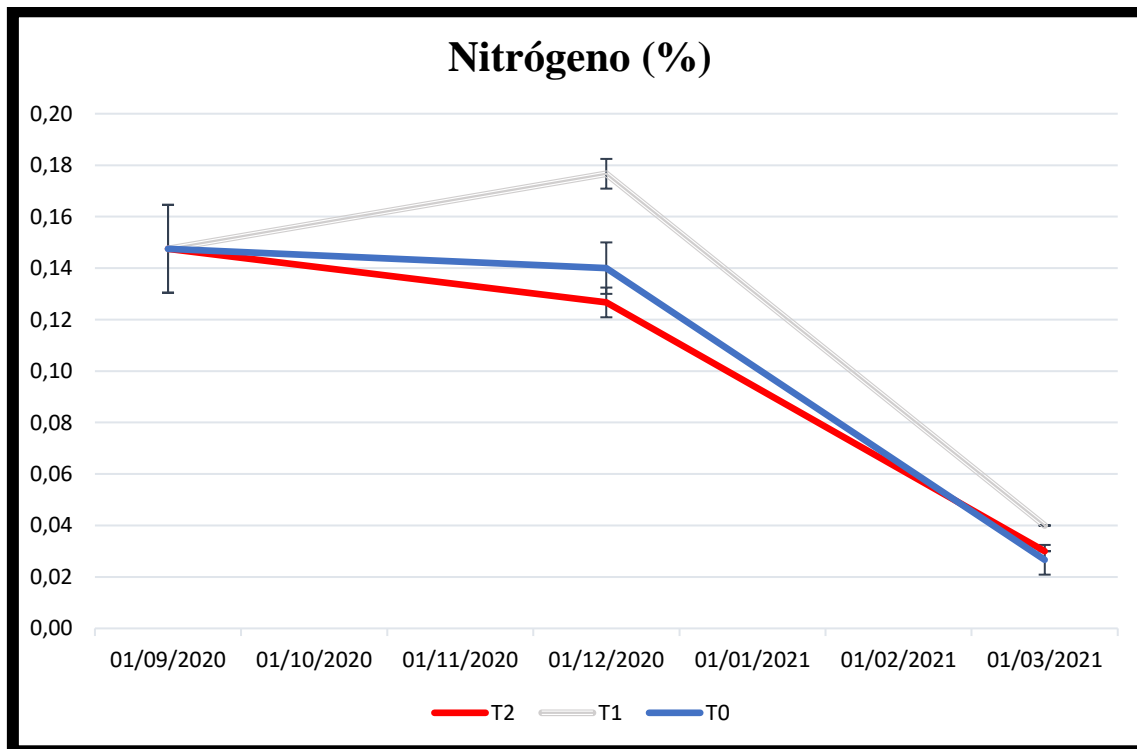
**Figura 25.** Representación gráfica de los resultados de altura/diámetro de la primera bifurcación. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

### 5.3. Resultados del análisis del suelo.

Las muestras de suelo fueron tomadas en tres momentos a lo largo del ciclo de cultivo, siendo el primero antes del establecimiento del mismo, el segundo cuando las plantas han alcanzado su máximo crecimiento y el último en la senescencia de las plantas. Estos tres momentos establecen dos tramos bien diferenciados, el primero desde antes del trasplante del cultivo hasta el final de la etapa de crecimiento vegetativo y el segundo, que representa la etapa productiva del cultivo hasta su senescencia.

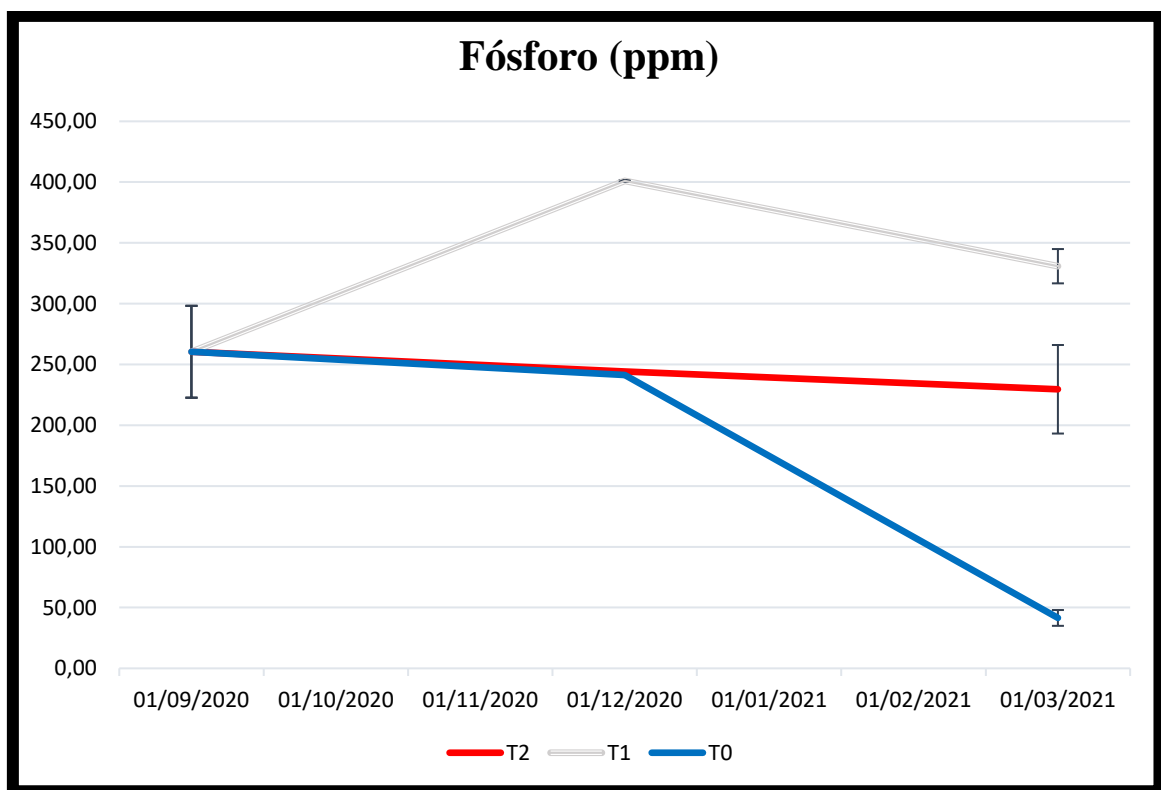
Los resultados de los análisis realizados al suelo antes del establecimiento del cultivo muestran que el contenido de N (0,15%) era normal, el de P (260,4 ppm) altos y K (0,81 meq/100 g) altos, según los valores de referencia para suelos de invernadero establecidos por Fernández et al, 2014.

A lo largo del ciclo del cultivo las tendencias en los contenidos de N total en suelo fueron similares en todos los tratamientos con una disminución hasta niveles bajos al final del cultivo, cuando ya la fertirrigación se comienza a reducir en este elemento y la planta termina de agotar las reservas en el suelo (Figura 26).



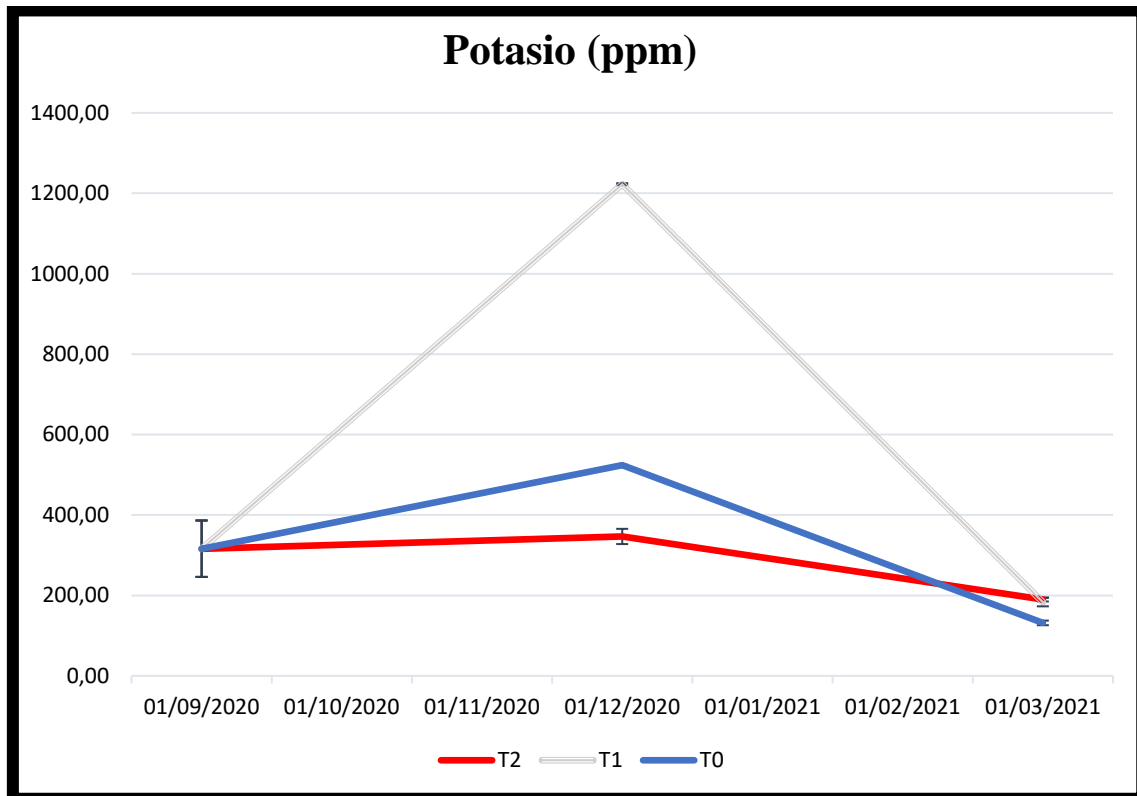
**Figura 26.** Representación gráfica de la tendencia en contenido de nitrógeno del suelo. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Barras de error indican desviación estándar.

Respecto a los contenidos en P asimilable en suelo, en este caso si se observó que en la última fecha de muestreo en los tratamientos con bacterias se mantuvieron los niveles o descendieron poco respecto a la anterior fecha de muestreo, lo que parece indicar un efecto claro de las bacterias en este caso (Figura 27). Así, entre los tratamientos T0 y T2 que en la fecha de muestreo 1 no había diferencias, en la fecha 2 se diferenciaron en 190 ppm. Del gráfico parecería deducirse un incremento en este elemento entre la fecha 1 y 2 para el tratamiento T1, pero para la fecha 1 se ha utilizado para todos los tratamientos un valor medio de varios puntos de muestreo en todo el invernadero y este valor medio probablemente sea inferior al punto de partida en el sector de tratamiento T1.



**Figura 27.** Representación gráfica de la tendencia en contenido de fósforo del suelo. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Barras de error indican desviación estándar.

Por último, respecto a los contenidos en K en este caso es destacable también que entre los tratamientos con bacterias y el control en la fecha final se obtuvieron diferencia en torno a los 50 ppm a favor de los tratamientos con biofertilizantes (Figura 28). En el gráfico no se observa bien esta diferencia por lo que hemos indicado anteriormente acerca de que parece que el sector de T1 había una sobre fertilización que no hemos medido en la fecha 1, pero que en la fecha 2 los valores del nutriente eran muy elevados y por tanto la escala del eje y llega hasta valores muy altos, minimizando las diferencias.



**Figura 28.** Representación gráfica de la tendencia en contenido de potasio del suelo. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Barras de error indican desviación estándar.

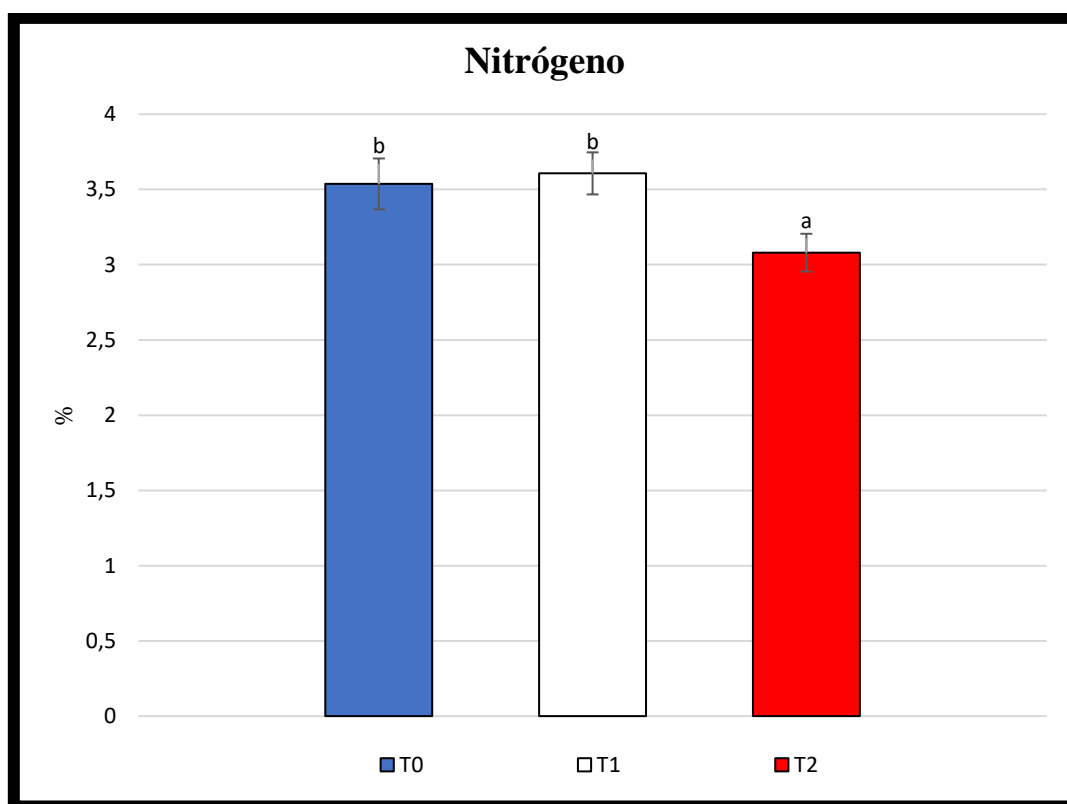
#### 5.4. Resultados de los análisis NPK de hojas y frutos.

Los porcentajes foliares de NPK referidos a peso seco mostraron diferencias significativas en todos los tratamientos (Tabla 5). La figura 29 muestra los resultados medios de las dos fechas de recogida del contenido de nitrógeno foliar de los tres tratamientos. En este caso parece que el tratamiento con aplicaciones periódicas (T2) fue el que obtuvo un porcentaje significativamente inferior en este macronutriente respecto a los otros tratamientos, aunque el valor obtenido en torno al 3% está en el rango de contenido óptimo para este cultivo.

**Tabla 5.** Porcentajes foliares de NPK.

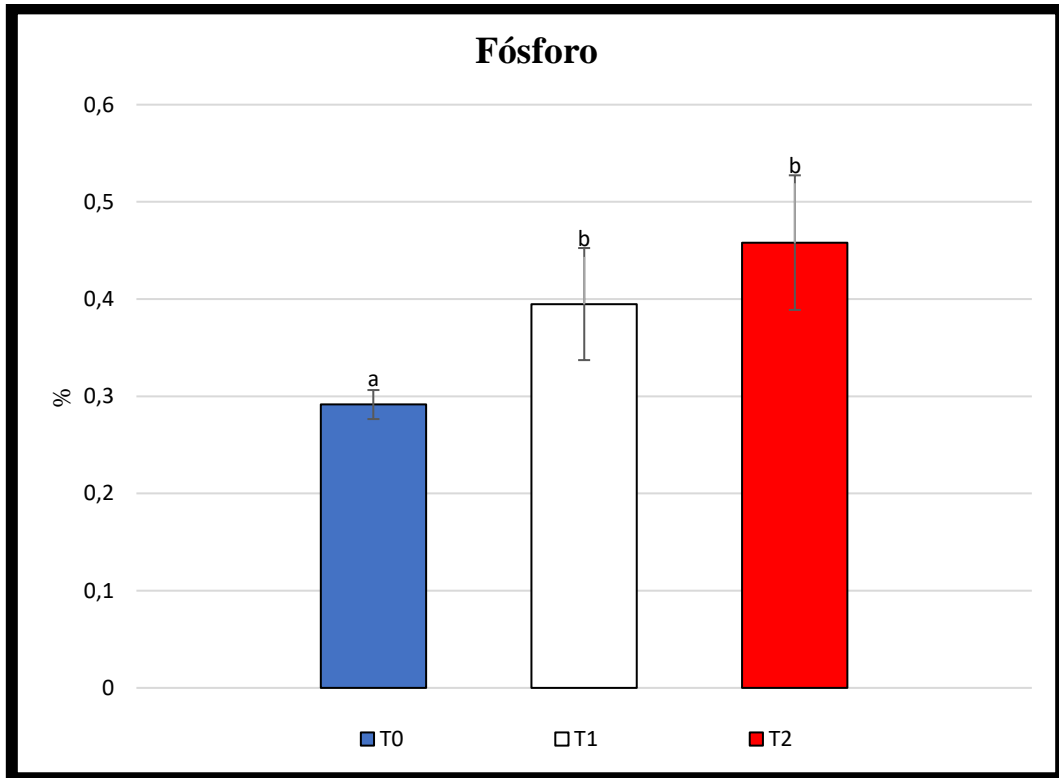
Tratamientos	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
T0	3,54±0,17b	0,29±0,01a	3,45±0,20c
T1	3,61±0,14b	0,39±0,06b	3,12±0,34b
T2	3,08±0,13a	0,46±0,07b	2,64±0,15a

Valores media ± desviación estándar, n = 6.



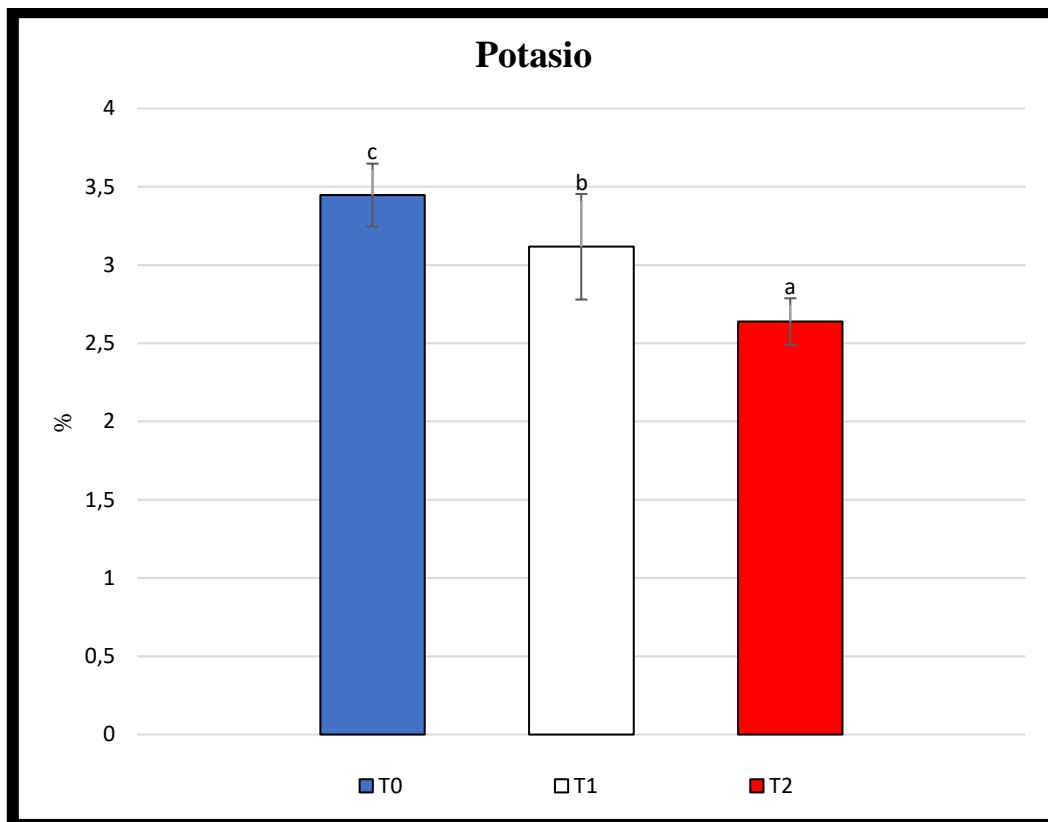
**Figura 29.** Representación gráfica del porcentaje de nitrógeno en hojas. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

La tendencia en cuanto al fósforo fue la contraria. Los niveles fueron aumentando conforme la aplicación de las bacterias fue más recurrente (Figura 30). Esto casa con los resultados obtenidos de este macroelemento en suelo, donde se notaba claramente el efecto de las bacterias inoculadas para mejorar la asimilación de este nutriente.



**Figura 30.** Representación gráfica del porcentaje de fósforo en hojas. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

Finalmente, los resultados para el potasio se asemejan más a los obtenidos para el N, donde en el tratamiento control se obtuvieron los valores más altos (Figura 31).



**Figura 31.** Representación gráfica del porcentaje de potasio en hojas. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

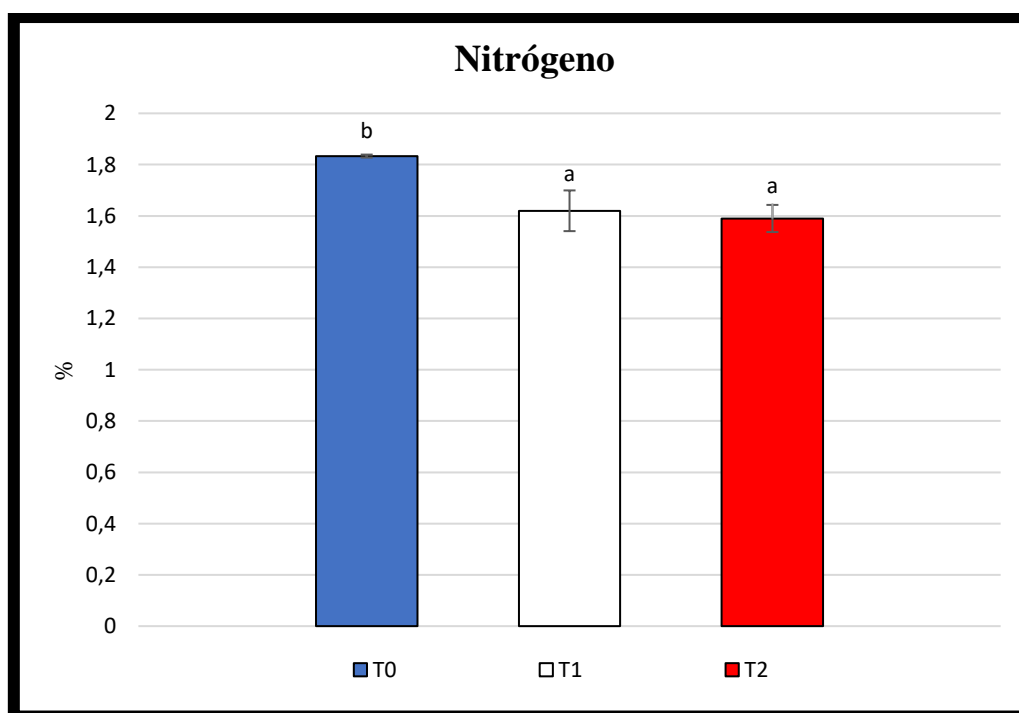
En relación a los contenidos NPK en frutos curiosamente en este caso no hubo diferencias significativas para el P, cuando se ha comprobado la alta efectividad de las BPCP aplicadas para este nutriente (Tabla 6). Sin embargo, debemos de tener en cuenta un factor importante y es que los resultados indicados tanto del contenido de los macronutrientes en hojas y frutos están referidos a % de peso seco. Sin embargo, las producciones de frutos han sido diferentes entre tratamientos como se verá en el apartado 5.6., por lo que si consideramos este factor vemos que la acumulación de macronutrientes en los frutos por m<sup>2</sup> da unos resultados interesantes que se muestran en dicho apartado.

**Tabla 6.** Contenido NPK en frutos.

Variables	Tratamientos			Anova	
	T0	T1	T2	Razón-F	Valor-P
Nitrógeno (%)	1,83±0,01b	1,62±0,08a	1,59±0,05a	17,35	0,0032**
Fósforo (%)	0,32±0,02a	0,33±0,03a	0,32±0,01a	0,07	0,9303
Potasio (%)	3,17±0,11b	3,34±0,07b	2,91±0,11a	15,91	0,0040**

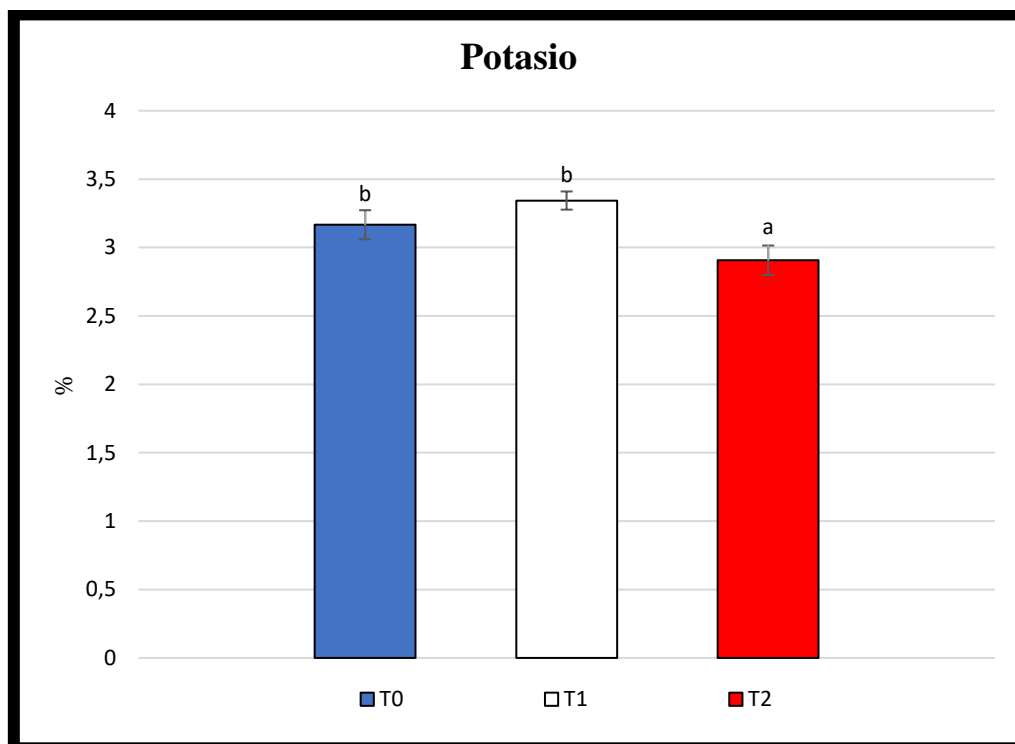
T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. n = 3 ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. \* p-value < 0,1, \*\* p-value < 0,05, \*\*\* p-value < 0,001.

Igualmente, los porcentajes de N y K en el tratamiento control T0 fueron superiores al tratamiento con aplicaciones recurrentes de bacterias T2 (Figuras 32 y 33), pero como hemos indicado resulta más interesante analizar los datos considerando los datos de producción (apartado 5.6).



**Figura 32.** Representación gráfica del porcentaje de nitrógeno en frutos. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.





**Figura 33.** Representación gráfica del porcentaje de potasio en frutos. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

### 5.5. Resultados de la medición de parámetros de calidad.

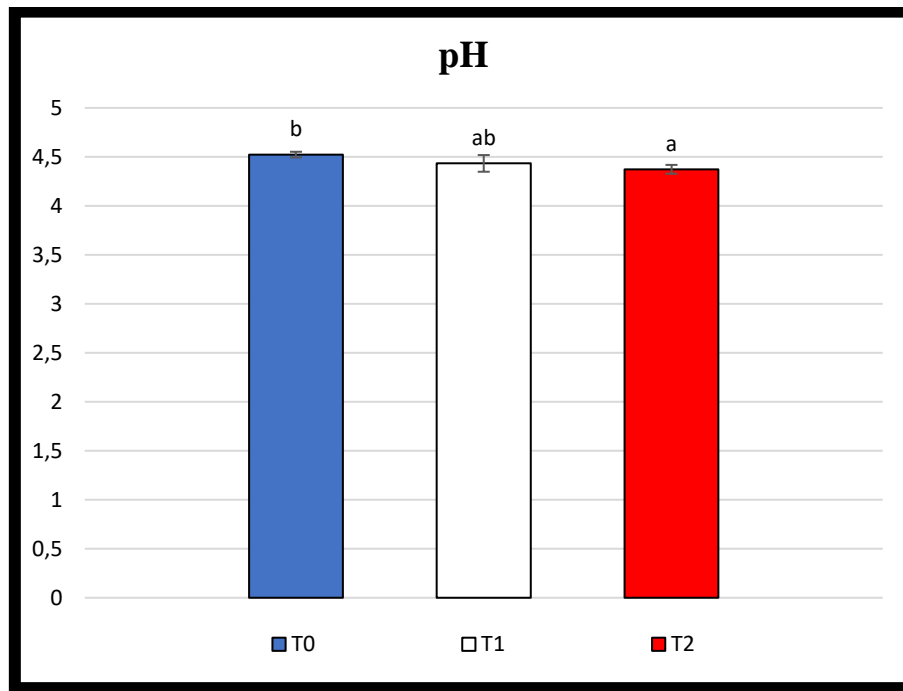
Respecto a las variables de calidad analizadas no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, excepto por el pH (p-value = 0,0512) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Variables de calidad analizadas.

Variables	Tratamientos			Anova	
	T0	T1	T2	Razón-F	Valor-P
<b>Firmeza (N)</b>	34,91±4,12a	38,78±8,92a	36,19±6,64a	0,74	0,4860
<b>°Brix</b>	6,10±1,01a	6,00±1,00a	6,17±0,29a	0,03	0,9706
<b>pH</b>	4,52±0,03b	4,43±0,09ab	4,37±0,05a	5,08	0,0512*
<b>Acidez valorable total (%Ácido cítrico)</b>	0,59±0,05a	0,58±0,02a	0,53±0,04a	2,17	0,1958
<b>Índice de madurez (°BRIX/%Acido)</b>	10,27±1,10a	10,39±1,43a	11,65±0,29a	1,57	0,2832

T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. n = 3 ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. \* p-value < 0,1, \*\* p-value < 0,05, \*\*\* p-value < 0,001.

Sin embargo, como se observa en la figura 34 las diferencias entre los valores de pH entre tratamientos fueron bastante bajos, con valores muy próximos a 4,5 en todos los tratamientos.

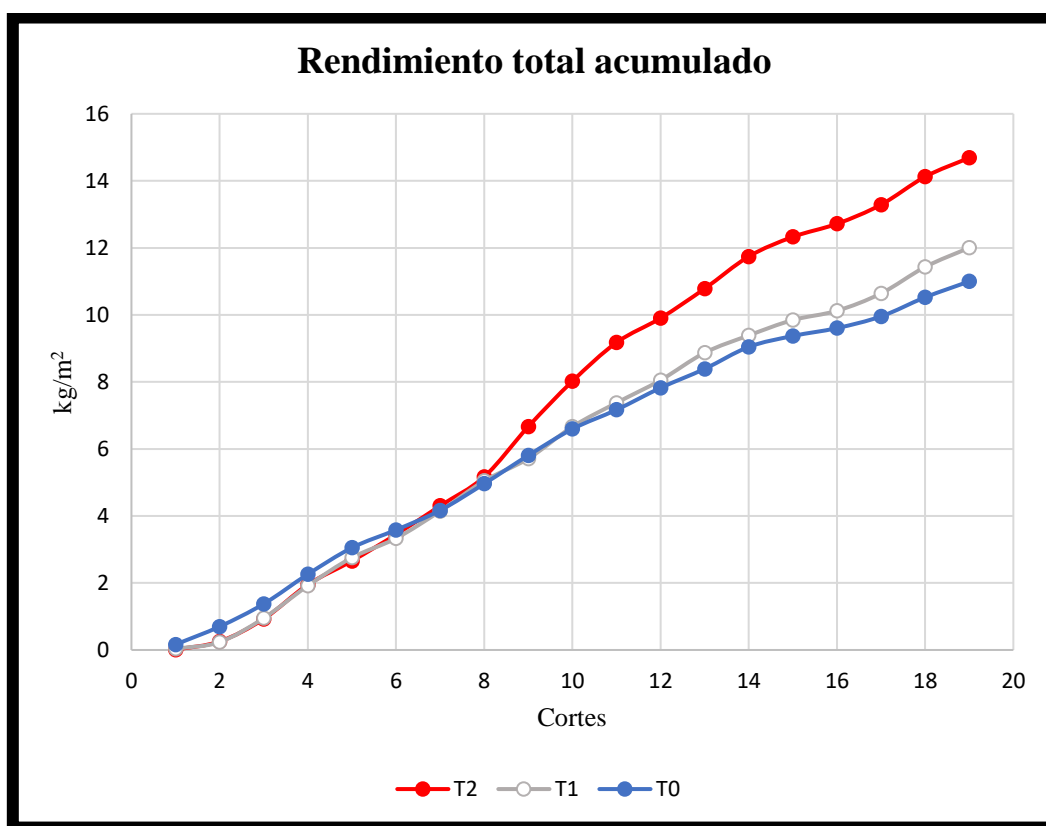


**Figura 34.** Representación gráfica del pH en frutos. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable. Barras de error indican desviación estándar.

Pero, por otro lado, y aunque en la firmeza no se observaron diferencias significativas, destacan los altos valores de la misma, reflejando que los tomates analizados se pueden clasificar como muy firmes, según la escala de firmeza para tomate indicada por Domene y Segura, 2014a, ya que fueron valores bastante superiores a 20 N.

## 5.6. Productividad de la cosecha.

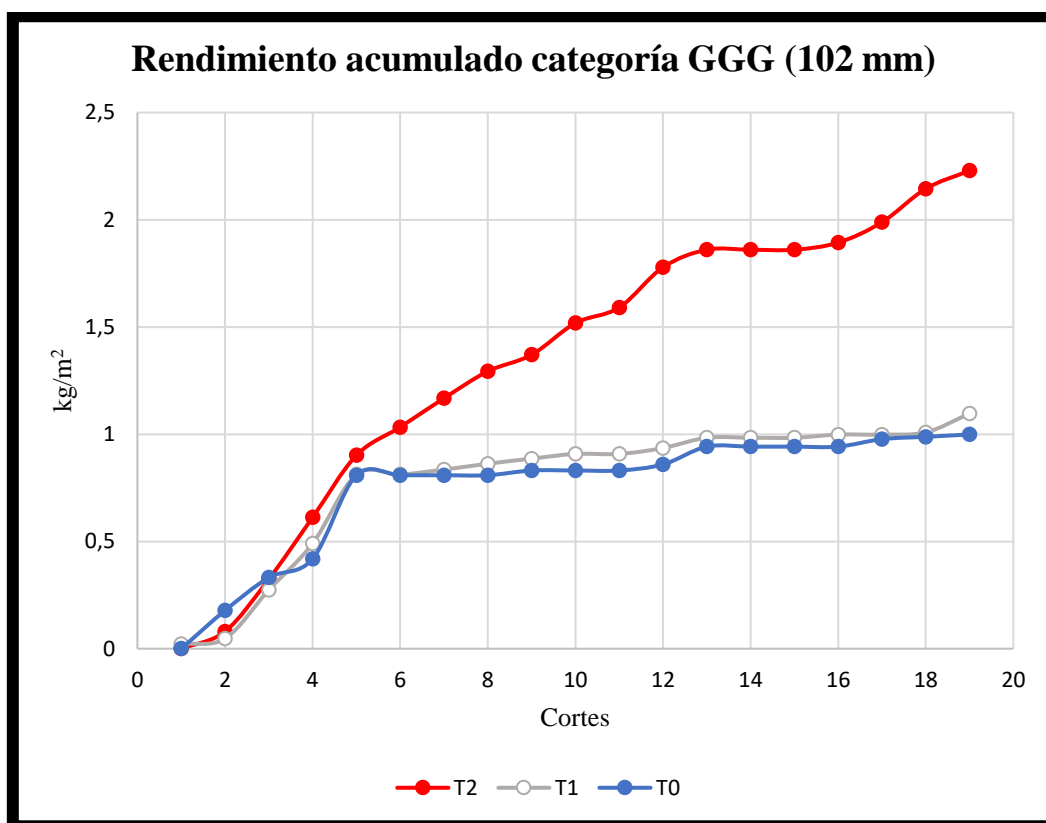
Como podemos ver en la figura 35 la producción comenzó siendo similar en todos los tratamientos, pero aproximadamente a la mitad de los cortes, los tratamientos con aplicación de biofertilizantes empezaron a distanciarse claramente del tratamiento control T0. Así, dicho tratamiento fue el que obtuvo los rendimientos más bajos de todo el estudio ( $11 \text{ kg/m}^2$ ). Sin embargo, en el tratamiento con una aplicación de biofertilizantes (T1) el rendimiento ya ascendió a  $12 \text{ kg/m}^2$  y en el tratamiento con reducción de fertirrigación inorgánica de un 20%, pero con aplicaciones periódicas de biofertilizantes el rendimiento alcanzó los  $14,7 \text{ kg/m}^2$ . Así el tratamiento T1 produjo un 9% y el T2 un 33% más de cosecha, frente al tratamiento control.



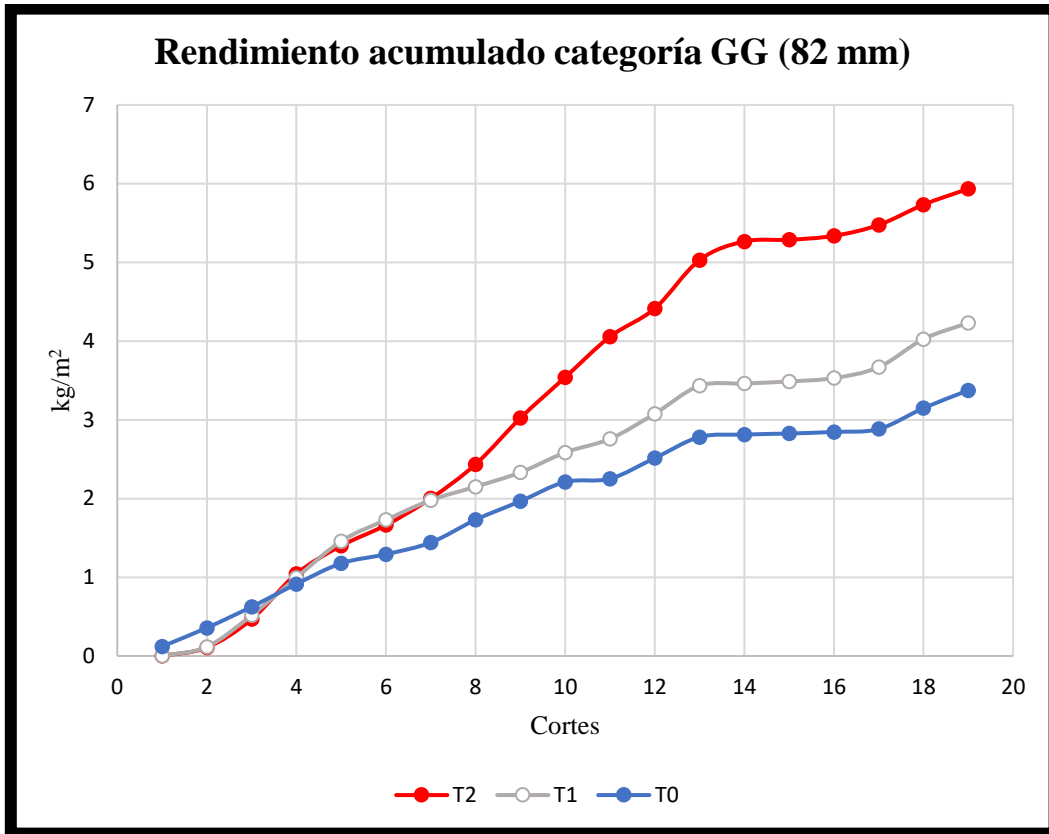
**Figura 35.** Representación gráfica del rendimiento total acumulado. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.

El análisis de los rendimientos acumulados por calibre nos permitió observar como el tratamiento T2 se caracterizó por una producción especialmente importante de frutos del calibre GGG y GG respecto a los otros tratamientos (Figuras 36 y 37). Esto es especialmente interesante desde el punto de vista económico, ya que este tratamiento no solo obtuvo mayores producciones sino mayores calibres, que son más cotizados en las subastas.

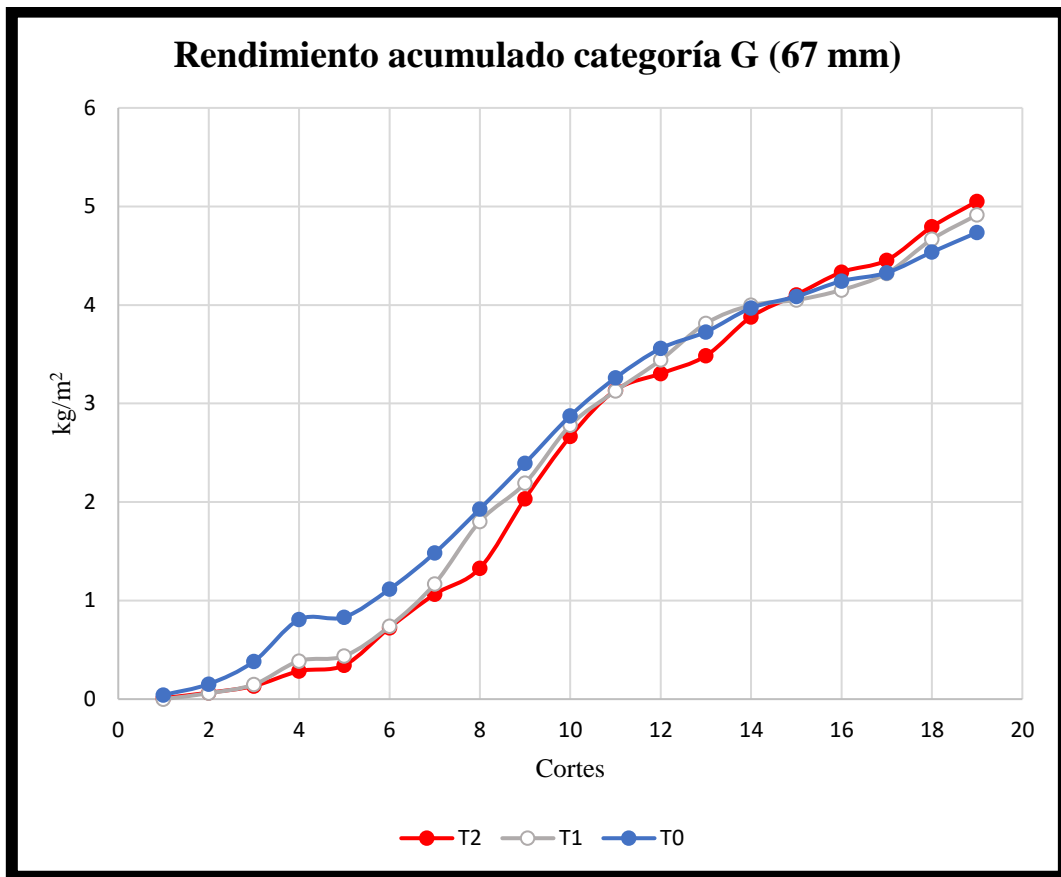
En relación al calibre G la producción fue similar en todos los tratamientos (Figura 38) y en la categoría de inferiores fue el tratamiento control el que tuvo una mayor producción (Figura 39) lo que sin duda penalizaría económicamente a este tratamiento.



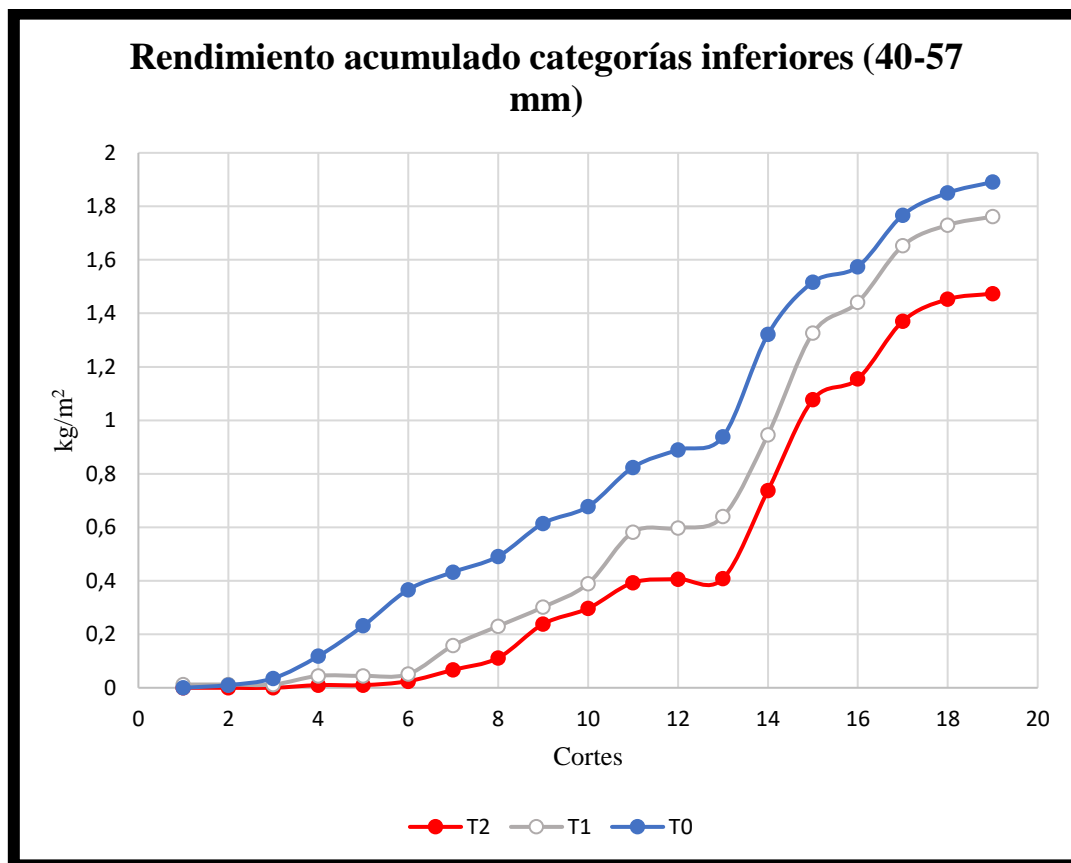
**Figura 36.** Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre GGG. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.



**Figura 37.** Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre GG. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.



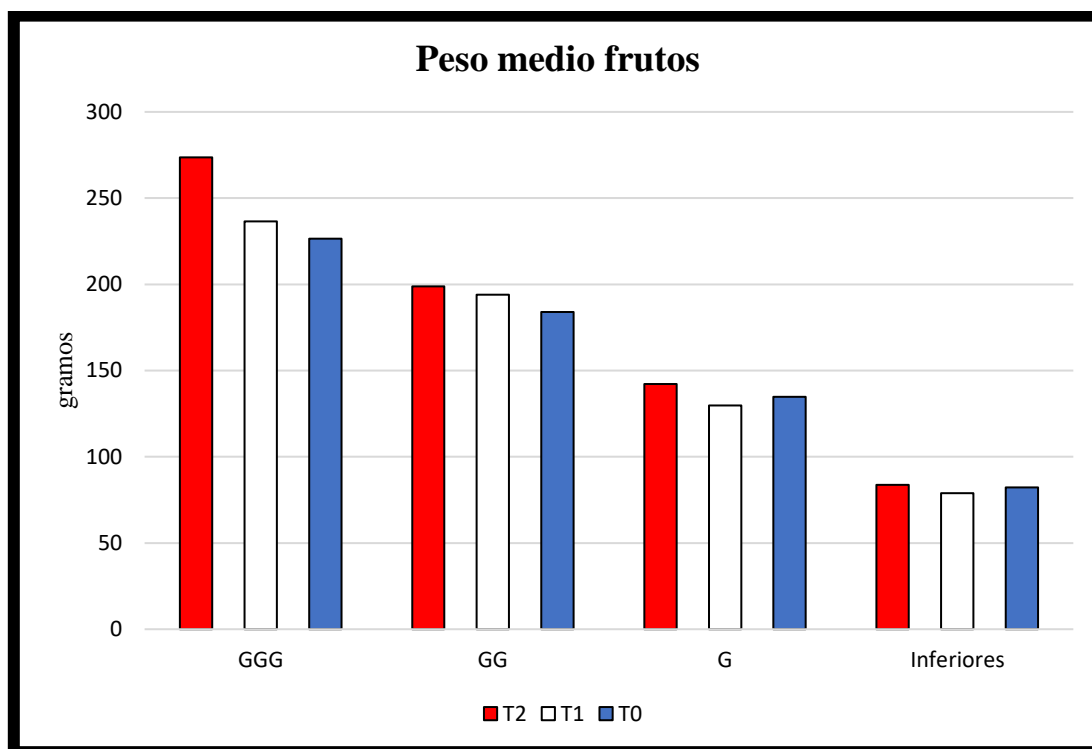
**Figura 38.** Representación gráfica del rendimiento acumulado calibre G. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.



**Figura 39.** Representación gráfica del rendimiento acumulado categorías inferiores. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.

También analizamos los pesos medios de los frutos por tratamientos y categorías comerciales como se muestra en la figura 40. Igualmente, se comprobó una tendencia clara por parte del tratamiento T2 en el que incluso dentro de los mismos calibres los frutos eran de mayor peso en todas las categorías.





**Figura 40.** Representación gráfica del peso medio de los frutos por tratamientos y categorías. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego. GGG: tomates con 102 mm de diámetro. GG: tomates con 82 mm de diámetro. G: tomates con 67 mm de diámetro. Inferiores: tomates con 40-57 mm de diámetro.

Así, es de destacar que el tratamiento con reducción de fertilizantes sintéticos y aplicación periódica de productos biofertilizantes (T2) obtuvo las mejores producciones totales, los tomates fueron de mayor calibre y dentro de estos más pesados.

Una vez expuestos los datos de producción resulta interesante revisar los datos del apartado 5.3 donde se indicaron los valores NPK en frutos. Estos valores pueden considerarse como valores de concentración de estos elementos, ya que son referidos a valores de peso seco de los frutos. Sin embargo, una vez conocidos los datos de producción ( $\text{kg/m}^2$ ) por tratamiento, junto con los datos de contenido en agua de los frutos y las concentraciones de macronutrientes mencionados podemos calcular los valores de macronutrientes extraídos por los frutos por  $\text{m}^2$  (Tabla 8).

**Tabla 8.** Extracciones de macronutrientes por los frutos por m<sup>2</sup>.

<b>Tratamientos</b>	<b>N (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>K (g/m<sup>2</sup>)</b>
T0	9,26	1,62	16,01
T1	8,63	1,76	17,78
T2	10,74	2,16	19,65

T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.

Con motivo de comparación de los datos anteriores frente al tratamiento control, se han calculado los valores como porcentaje respecto al T0 (Tabla 9).

**Tabla 9.** Extracciones de macronutrientes en porcentaje respecto a tratamiento T0.

<b>VARIABLE</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	
	<b>T1</b>	<b>T2</b>
N	-6,81	16,01
P	8,73	33,73
K	11,09	22,77

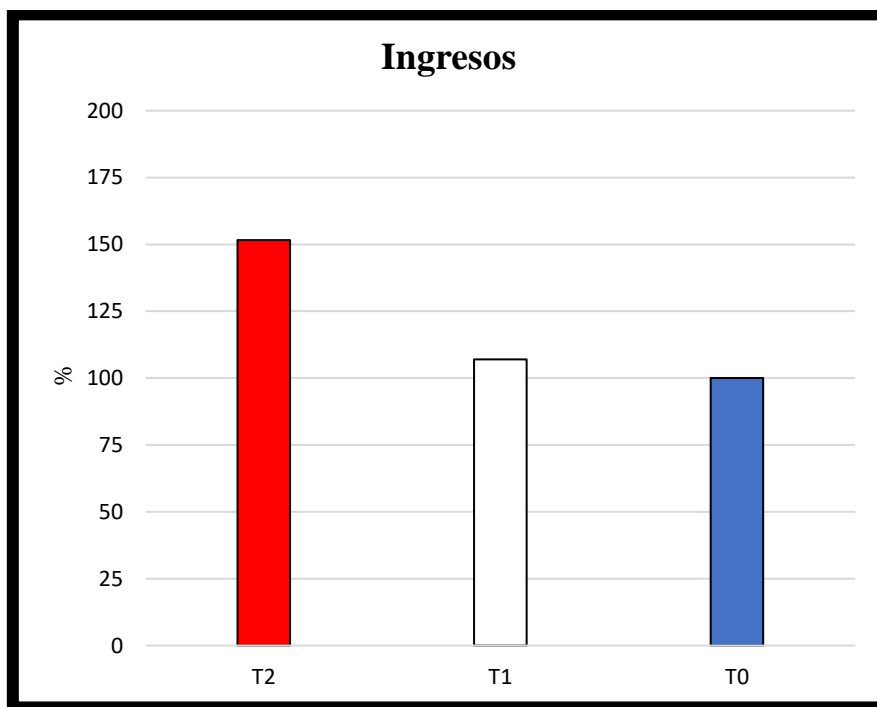
T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.

Según estos datos vemos que en el tratamiento con una sola aplicación de los productos biofertilizantes (T1) la extracción de P y K fue más eficiente un 9 y 11% respectivamente. Pero los resultados han sido especialmente destacados en el tratamiento con reducción de fertirriego y aplicación de biofertilizantes periódicamente (T2), donde la extracción de los macroelementos NPK fue entre un 16 y 23% más eficiente respecto al tratamiento control.

### 5.7. Rendimiento económico.

De los resultados de producción de cosecha (sección 5.5) se observa que el tratamiento T2 no solo obtuvo un rendimiento global superior, sino que los frutos fueron de mayor calibre, lo que favoreció que los rendimientos económicos se exacerbaran aún más en este tratamiento.

Cruzando los datos de productividad por categorías y los precios de compra para los mismos en la fecha de las recolecciones hemos podido calcular los rendimientos económicos que habríamos obtenido para los diferentes tratamientos. Refiriendo los datos frente al tratamiento control pudimos observar que con solo una aplicación de los productos biofertilizantes (T1) se obtuvo un 7% más de rendimiento económico, pero en el caso del tratamiento con reducción de fertirrigación y aplicación periódica de biofertilizantes (T2) el incremento del rendimiento económico se disparó hasta un 52% (Figura 41), incluso sin considerar el ahorro en costes del tratamiento de fertilizantes sintéticos inorgánicos, aunque este se compensó en cierta medida con el coste de los biofertilizantes.



**Figura 41.** Rendimiento económico en porcentaje por tratamientos. T0: Sin aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T1: Una aplicación de biofertilizantes y sin reducción de fertirriego; T2: Con aplicaciones periódicas (40 días) de biofertilizantes y con reducción -20% fertirriego.

## 6. DISCUSIÓN.

Los trabajos publicados sobre la aplicación de biofertilizantes en cultivos hortícolas intensivos son aún escasos, a pesar del gran interés que pueden suscitar para agricultores, investigadores y sociedad en general. Son varias las causas de esto, como la aplicación más intensiva recientemente de BPCP en estos cultivos, el reciente desarrollo de técnicas, en especial las microbiológicas de última generación, y el gran coste material y humano que implica un estudio integral como el aquí presentado. Pero, por otro lado, esto da más valor aún a este trabajo ya que puede convertirse en un estudio de referencia para otros futuros.

Respecto a los resultados taxonómicos, los filos mayoritarios hallados en este estudio (Protobacterias, Firmicutes y Actinobacterias) son comunes a los hallados en otros estudios sobre suelos de cultivo y en similares proporciones especialmente para Protobacterias y Actinobacterias (e.g. Cordero-Ramírez et al., 2012).

Los resultados del análisis microbiológico Gheom demostraron que nuestro tratamiento de inoculaciones periódicas de biofertilizantes y reducción de la fertilización (T2), tuvo claramente influencia en el incremento de bacterias que influyen en la síntesis de fitohormonas relacionadas con el crecimiento de plantas y frutos. Esto puede explicar claramente como este tratamiento ha conseguido una mayor fracción de frutos de mayor calibre comparadas con el tratamiento control. Esto está de acuerdo con González y Fuentes (2017); Olanrewaju et al. (2017) y Carmelo et al. (2011) que encontraron que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal indujeron los incrementos de estas fitohormonas y se desarrollaron frutos de mayor calibre en los cultivos.

Así, los análisis microbiológicos nos han permitido comprobar la acción de las bacterias aplicadas en el ensayo, en especial para el P y el K. Pero además hemos descubierto que también tienen una importante acción en la producción de fitohormonas, por lo que pensamos que su efecto promotor del crecimiento en el cultivo no solo es debido a su efecto en la mejora de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, sino también por su acción productora de hormonas implicadas en el crecimiento de las plantas.

Respecto a las medidas morfométricas durante la época de crecimiento vegetativo, los resultados más destacables fueron que las BPCP favorecieron el desarrollo de plantas con menor altura y tallos más gruesos, lo que parece indicar que las plantas en los tratamientos

T1 y T2 se estaban preparando para un mayor desarrollo de frutos que de la parte vegetativa de las mismas.

Esta tendencia obtenida es similar a lo que otros autores han descrito en sus investigaciones (Martínez et al., 2013; Saino, 2020; Martínez, 2018), donde se hallaron mayores diámetros de tallos en los grupos inoculados frente a los grupos control, hasta 2 mm de diferencia. Sin embargo, en algunas investigaciones (Rueda et al., 2009; Taulé, 2011; Almaghrabi et al., 2013), la altura también aumentó hasta 12 cm respecto al grupo control, datos que contrastan con este estudio, donde las plantas inoculadas presentaron alturas menores respecto al control. Sin embargo, el hecho de generar plantas de menores altura y mayor robustez permitió el desarrollo de frutos con mayor calibre debido a la disminución de la fragilidad del tallo.

Tras el análisis de los datos obtenidos de las concentraciones de macronutrientes NPK en suelos, se puede destacar especialmente el papel que han tenido las BPCP aplicadas en la solubilización de P, siendo 10 veces los contenidos frente al grupo control. Además, el papel de estas bacterias también fue importante en la solubilización de K. Estos datos son corroborados sobre todo en el estudio de Martínez (2018), que pretendía determinar el rendimiento y calidad comercial de un cultivo de tomate inoculado con BPCP en invernadero, donde se puede encontrar una tendencia muy similar a la reflejada en este estudio, con un descenso en los macronutrientes con la senescencia de las plantas, pero con una mayor concentración de estos mismos en suelo frente al grupo control. Los estudios de Esitken et al. (2010) y Sánchez et al. (2018), que trataron sobre la calidad y efectos en el desarrollo y crecimiento de cultivos de fresa y tomate también corroboraron el papel fundamental que pueden ejercer las BPCP en la solubilización de macronutrientes, principalmente P, a través de procesos como la acidificación, quelación y reacciones de intercambio.

Con respecto a los análisis realizados de las concentraciones de los principales macronutrientes (NPK), se observó como en hojas existían diferencias significativas en la cantidad de los tres macronutrientes, siendo los contenidos en hojas superiores para el tratamiento control para el N y K, aunque los contenidos en P si fueron superiores en los tratamientos con biofertilizantes. Estos resultados fueron similares a los de otros estudios (Martinez, 2018; Esitken et al., 2010) sobre todo en el aumento de P, con valores superiores en 0,44 %, que fue justificado por la capacidad de las bacterias (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Virgibacillus*) en la solubilización de fosfato insoluble en suelo. En el caso de N y K en el estudio de Martinez (2018), no obtuvieron diferencias significativas respecto al grupo control y en el estudio de Esitken et al. (2010), aunque se detectó una tendencia a incrementar los contenidos, las diferencias tampoco fueron significativas.

En relación a los contenidos de NPK en frutos los porcentajes nos podían dar la impresión de que en el tratamiento T2 los contenidos de N y K serían inferiores al tratamiento control, mientras que no había diferencias entre tratamientos para el P. Aunque en algún estudio como el de Todeschini et al. (2018) en un cultivo de fresa con bacterias *Funneliformis mosseae*, *Septoglomus viscosum* y *Rhizophagus irregularis*, no encontraron tampoco mejoras entre los macronutrientes en frutos en plantas tratadas con biofertilizantes, sin embargo, es importante considerar el rendimiento de la producción de cada uno de los tratamientos. Teniendo en cuenta este factor, si hemos visto que la efectividad en la extracción de los macronutrientes NPK en los frutos del tratamiento T2 frente al T0 fue entre un 16 y 34% más.

De los parámetros de calidad medidos en el estudio, que fueron firmeza, °Brix, pH, acidez valorable total e índice de madurez, tan solo se obtuvieron diferencias significativas en el pH, aunque estas diferencias eran mínimas. Sin embargo, consideramos que las BPCP habrán podido influenciar otros parámetros o compuestos relacionados con la calidad que no han sido estudiados en este ensayo. Por ejemplo, en los estudios de Hernández et al. (2017), Espinosa et al. (2017) y Aini et al. (2019) las bacterias promotoras del crecimiento estimularon la síntesis de ciertas hormonas como auxinas, citoquininas, giberelinas. Sin embargo, de forma indirecta, mediante el análisis Gheom parece que en nuestro estudio también se han podido favorecer el desarrollo de estas fitohormonas.

Sin duda los resultados más destacados fueron los referentes a la producción de la cosecha, con rendimientos superiores del 9% y 33% de la producción de los tratamientos T1 y T2 respectivamente frente al tratamiento T0. En un estudio desarrollado por Mazollier et al. (2011) en la misma variedad de tomate y en los que no se utilizaron BPCP sus datos de producción fueron de 10,16 kg/m<sup>2</sup>, que son ligeramente inferiores a nuestro tratamiento control. Así queda demostrado la reproducibilidad de nuestros datos y como la diferencia en rendimiento de 4,54 kg/m<sup>2</sup> en nuestro estudio podemos achacarlo al efecto de las BPCP. Los efectos de las BPCP sobre la producción son claros, como ya quedó también demostrado en otro estudio (Espinosa et al., 2017), donde en un cultivo intensivo de tomate (variedad cv. Afrodita) bajo plástico, obtuvieron un rendimiento superior del 25% respecto al grupo control, y en nuestro caso llegamos a un 33% más de producción.

Los resultados obtenidos en plantas inoculadas con BPCP sobre el calibre muestran un incremento en todas las categorías excepto en la más pequeña. Estos resultados son similares a las investigaciones de Tsukanova et al. (2017), Rodríguez et al. (2020) y Rashid et al. (2016) que hallaron un aumento de frutos de primera categoría de hasta un 45%, mientras que en lo referente al peso medio obtuvieron un incremento del 16,78% respecto a su grupo control. Los anteriores estudios relacionaron estos incrementos en peso y calibre con la capacidad de los microorganismos de sintetizar hormonas reguladoras del crecimiento (ej. AIA, giberelinas, etileno) y de esta forma aumentar la captación de nutrientes por parte de las plantas inoculadas.

El análisis microbiológico Gheom también nos ha dado indicios de que nuestras BPCP también han podido influir en la producción de fitohormonas que hayan también influido en la mejora de la producción y de los tamaños de los frutos. Esto a su vez ha resultado en unas importantes diferencias en los ingresos obtenidos por parte del agricultor siendo un 52% superior en los frutos del tratamiento T2 y un 7% superior en el tratamiento T1 frente a los ingresos del tratamiento control. Estos resultados económicos tan buenos se han podido también favorecer en esta cosecha por la concurrencia de una serie de factores como son la no consideración de ninguna pérdida de plantas, no están reflejadas mermas de ningún tipo (ej. fisiopatías, enfermedades, plagas), este año se han obtenido más cortes que años anteriores ya que los precios han sido buenos y, por último, la producción de frutos de grandes calibres ha coincidido con mejores precios en el mercado. Sin embargo, a pesar de lo anterior la rentabilidad del uso de las BPCP ha quedado más que demostrado.

## 7. CONCLUSIONES

- La aplicación de los productos biofertilizantes basados en BPCP resultó en plantas más robustas durante la fase de crecimiento vegetativo, lo que le permitió a su vez el desarrollo de mayores producciones de frutos (33% más de producción en el tratamiento T2 respecto al T0).
- Las BPCP demostraron un efecto positivo en la solubilización de P y K en el suelo, observándose mejores niveles de P y K asimilables por las plantas en los suelos de los tratamientos inoculados con bacterias.
- Aunque las concentraciones de N, P y K en hojas y frutos no mostraron resultados especialmente concluyentes debido a la acción de las BPCP, al considerar los datos de producción se observa que la efectividad en la extracción de los tres macronutrientes respecto al tratamiento control fue especialmente importante (16, 34 y 23% para el N, P, K respectivamente).
- Las BPCP no tuvieron un efecto significativo en los parámetros de calidad estudiados en este ensayo (firmeza, total de sólidos solubles, concentración de ácido cítrico), aunque es posible que tengan otros efectos como por ejemplo en la producción de sustancias que intervengan en el sabor, o en otras propiedades relacionadas con la salud, pero que sin embargo no han sido estudiadas en este ensayo.
- Los análisis microbiológicos demostraron que los mecanismos de solubilización de P y K se vieron mejorados en los suelos del tratamiento T2 en la fase de la época de recolección de frutos frente al T0 y a si mismo respecto a la fase de inicio del experimento. Además, los resultados indicaron que los productos biofertilizantes han podido influenciar el desarrollo de fitohormonas relacionadas con el crecimiento vegetal.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, G. A. (2012). *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura*. July 2012, 1–315. file:///C:/Users/W7/Downloads/Libro-biofertilizantes.pdf
- Aini, N., Yamika, W. S. D., & Pahlevi, R. W. (2019). The effect of nutrient concentration and inoculation of PGPR and AMF on the yield and fruit quality of hydroponic cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. *cerasiforme*). *Journal of Applied Horticulture*, 21(2), 116–122. <https://doi.org/10.37855/jah.2019.v21i02.20>
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I., & Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.10.004>
- Anastasio, G., & Abad, J. (1997). Recuperación del sabor en el tomate. *Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola: Frutas, Hortalizas, Flores, Plantas, Árboles Ornamentales y Viveros*, 122, 71–77.
- Berrios, M., Arredondo, C., & Tjalling, H. (2007). Nutrición vegetal de especialidad: Tomate. *Guía de Manejo*, 1–103. [http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Tomato\\_L-ES.pdf](http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf)
- BOE. (2000). *Reglamento (CE) n° 790/2000 de la Comisión, de 14 de abril de 2000, por el que se establecen las normas de comercialización de los tomates*. April 2000, 24–29. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-80643>
- Cajamar. (2020). *Análisis de la campaña hortofrutícola 2019/2020*. 1–9. <https://www.plataformatierra.es/detalle/analisis-campana-hortofruticola>
- Camelo R., M., Vera M., S. P., & Bonilla B., R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 159. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol12\\_num2\\_art:227](https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227)
- Cordero-Ramírez, J. D., López-Rivera, R., Calderón-Vázquez, C. L., Figueroa-López, A. M., Martínez-Álvarez, J. C., Leyva-Madrugal, K. Y., Cervantes-Gámez, R. G., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2012). Microorganismos asociados a la rizosfera de jitomate en un agroecosistema del valle de Guasave, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 712–730. <https://doi.org/10.7550/rmb.17897>
- Corrales Ramírez, MSc, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 67. <https://doi.org/10.22490/24629448.997>

- Cristóvão, R., Botelho, C., Martins, R., & Boaventura, R. (2012). Pollution prevention and wastewater treatment in fish canning industries of Northern Portugal. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 32(1), 12–16. <https://doi.org/10.7763/IPCBBE>
- Cuartero, J., Orihuel, B., Artés, F., Castilla, N. R. A. (1995). Debate sobre calidad en los productos hortícolas. *Boletín Informativo de La SECH*, 8–10.
- De la Puente Fernández, L. (2014). *Los espacios agrarios y forestales*. <https://ocw.unican.es/mod/page/view.php?id=1203>
- Dianez, F., & Camacho-ferre, F. (2019). *Variedades de tomate cultivadas bajo invernadero en el levante español. January 2007*.
- Domene R, M. A., & Segura R, M. (2014). Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. *Cajamar ADN Agro*, 3, 1–12.
- Domene Ruiz, M. Á., & Segura Rodríguez, M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Cajamar*, 1–18. <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/005-calidad-interna-1410512030.pdf>
- Esitken, A., Yildiz, H. E., Ercisli, S., Figen Donmez, M., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012>
- Espinosa Palomeque, B., Moreno Reséndez, A., Cano Ríos, P., Álvarez Reyna, V. D. P., Sáenz Mata, J., Sánchez Galván, H., & González Rodríguez, G. (2017). Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afrodita en invernadero. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(2), 169. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.194>
- Esteve, J., & Oller, R. A. (2019). *El futuro del sector agrícola español pwc Sobre este estudio*. <https://www.pwc.es/es/publicaciones/assets/informe-sector-agricola-espanol.pdf>
- Etxezarreta, M. (2006). *La agricultura española en la era de la globalización*. <http://books.google.es/books?id=iK4wNQAACAAJ>
- FAO. (2009). FAO - Noticias: La agricultura hacia 2050: los retos a superar. *Organización De Las Naciones Unidad Para La Alimentación Y La Agricultura*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/36195/icode/>
- FAO. (1993). El papel del sector agropecuario. In *Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales*. <http://www.fao.org/3/W7451S/W7451S02.htm>
- FAO. (2021). *Portal de suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

- Fernández, M. M. (2014). Suelo y medio ambiente en invernaderos. *Junta de Andalucía*.
- García Lorca, A. (1999). Tendencias y transformaciones en la agricultura intensiva almeriense. *Nimbus: Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje*, 4, 109–128.
- García, P., Ruano, S., Lucena, J. J., & Nogales, M. (2009). Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*, 13–70.
- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Ct*, 3, 173–186.
- Gil de Carrasco, C., Ramos Miras, J., & Boluda, R. (2002). Estudio de las características de los antrosoles cumílicos de los invernaderos de la comarca del poniente almeriense. Influencia de las prácticas agrícolas sobre los cambios de sus propiedades. *Edafología*, 9(2), 129–142.
- González F., H., & Fuentes M., N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.60>
- González, A. (2013). Introducción Al Cultivo De Tomate En Invernadero. *Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, October 2013*, 1–35.
- Hernández-Montiel, L. G., Chiquito-Contreras, C. J., Murillo-Amador, B., Vidal-Hernández, L., Quiñones-Aguilar, E. E., & Chiquito-Contreras, R. G. (2017). Efficiency of two inoculation methods of *Pseudomonas putida* on growth and yield of tomato plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 1003–1012. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400012>
- INE. (2018). Superficies y producciones de cultivos 2018. *Anuario Estadísticas*, 357.
- Jalixto, M. A. F. (2018). Universidad Nacional Agraria La Molina Universidad Nacional Agraria La Molina". *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 2020. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3271>
- Jiménez, S., & Lao, M. T. (2002). Los suelos enarenados en el sureste español. *Vida Rural*, 42–44.
- Jimenez-becker, S., & Lao, M. T. (2002). Fertirrigación en el cultivo del tomate. *Agricultura, January*, 140–143.
- Kahramanoglu, İ. (2017). Introductory Chapter: Postharvest Physiology and Technology of Horticultural Crops. *Postharvest Handling, March*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69466>
- Kjeldhal, J. (1883). A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift Für Analytische Chemie*, 22, 366–382.

- López, L. M. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate. In *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (inta)*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf><http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf><http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE17079148e.pdf><http://www.inta.go.cr><http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE1707>
- Martinez, J. (2018). “*Rizobacterias Promotoras De Crecimiento Vegetal En El Comportamiento Agronómico De Tomate*. 1–74.
- Martínez, L. L., Peniche, R. A. M., Iturriaga, M. H., Medrano, S. M. A., & Pacheco Aguilar, J. R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 63–69. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.1.63>
- Mazollier, C., Sassi, A., Commandeur, J., Berne, R. De, Berne, R. De, & Berne, R. De. (2011). *MARAICHAGE 2011 TOMATE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE : Essai variétal de type ancien en tunnel froid*. 1–15.
- Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. (2019). Informe anual de comercio exterior agroalimentario pesquero y forestal. *Manual De Derecho Economico*, 321–332.
- Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. (2019). *Según la primera estimación de la principales cifras económicas*. 1–3.
- Ministerio de la Presidencia. (2005). Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial Del Estado*, 171, 25592–25669.
- Ministerio de la Presidencia. (2013). Real Decreto 506/2013. *Boletín Oficial Del Estado*, 164(Sec. I), 5119–51207.
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>
- Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., & Dean, L. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture, Circular N*, 19.
- ONU. (2000). *22ª Conferencia regional de la FAO para Europa*. <http://www.fao.org/3/X8364S/X8364S.htm>
- Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>

- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., & Clarenc Aarland, R. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Roselló, J., & Porcuna, J. L. (2012). *Cultivo ecológico del tomate y del pimiento*. [https://www.icia.es/icia/download/Agroecología/Material/Cultivo\\_ecologico.pdf](https://www.icia.es/icia/download/Agroecología/Material/Cultivo_ecologico.pdf)
- Rueda-Puente, E., Villegas-Espinoza, J., Gerlach-Barrera, L., Tarazón-Herrera, M., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J., Preciado-Rangel, E., & Troyo-Diéguez, P. (2009). Effect of Inoculation of Plant Growth Promoting Bacteria on Germination of *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoamericana*, 27, 345–354.
- Saino, T. J. (2020). *Evaluación de bacterias promotoras del crecimiento en tomate*. 1–31.
- Salinas, J., Meca, D., & del Moral, F. (2020). Short-term effects of changing soil management practices on soil quality indicators and crop yields in greenhouses. *Agronomy*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy10040582>
- Sánchez López, D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido Rubiano, M. F., & Bonilla Buitrago, R. R. (2018). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401–1415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1346>
- Taulé, C. (2011). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas a variedades de caña de azúcar en Uruguay: identificación, caracterización y estudios de interacción. *Tesis*, 158.
- Todeschini, V., Aitlahmidi, N., Mazzucco, E., Marsano, F., Gosetti, F., Robotti, E., Bona, E., Massa, N., Bonneau, L., Marengo, E., Wipf, D., Berta, G., & Lingua, G. (2018). Impact of beneficial microorganisms on strawberry growth, fruit production, nutritional quality, and volatilome. *Frontiers in Plant Science*, 9(November), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01611>
- Tsukanova, K. A., Chebotar, V., Meyer, J. J. M., & Bibikova, T. N. (2017). Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis. *South African Journal of Botany*, 113, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.007>
- van Rijswick, C. (2018). World Vegetable Map 2018: More than Just a Local Affair. *RaboResearch Food & Agribusiness*, January, 1–4. [https://research.rabobank.com/far/en/sectors/regional-food-agri/world\\_vegetable\\_map\\_2018.html](https://research.rabobank.com/far/en/sectors/regional-food-agri/world_vegetable_map_2018.html)
- Villalva, S., & Fuentes, J. (2006). Hoja divulgatoria: Agricultura Sostenible. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación*, 7/93, 32. [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_07.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_07.pdf)
- Zerrano, Z. (2014). Prontuario del cultivo de tomate. In *Junta de Andalucía* (p. 390).

La investigación es la mejor herramienta de la que dispone la agricultura para hacer frente a los retos a los que se enfrenta, permitiendo la transformación de los medios y técnicas de producción convencionales hacia unos más sostenibles, mediante la mejora del control de los cultivos, una gestión más racional y disminución de la cantidad de insumos, al mismo tiempo que se reduce la contaminación del medio y el gasto económico del agricultor.

El objetivo principal del ensayo es estudiar el poder biofertilizante de unas fórmulas comerciales basadas en bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCP) en un cultivo intensivo de tomate bajo plástico, con el fin de poder reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos e inorgánicos de un sistema de fertirriego convencional.

A lo largo de un ciclo de cultivo del tomate larga vida *Rebelión* aplicamos periódicamente unos biofertilizantes basados en bacterias de la casa comercial Nostoc Biotech S.L. Estas bacterias tenían el objetivo de fijar N atmosférico y solubilizar P y K que se encuentran en el suelo de forma no disponible para las plantas. Además, se redujo en un 20% la cantidad de fertilizante sintético convencional utilizado normalmente en este tipo de cultivo.

Para estudiar el efecto de los biofertilizantes se realizaron análisis microbiológicos, de nutrientes NPK en suelos, hojas y frutos, estudio morfológico de plantas en la etapa vegetativa y parámetros de calidad del fruto, además de controlar la producción de la cosecha y el rendimiento económico de la misma. Los resultados obtenidos de la investigación demostraron que los tratamientos con BPCP favorecieron la fertilidad de suelos y plantas, además de mejorar la producción de la cosecha y por tanto los ingresos para el agricultor, además de ahorrar costes en el uso de fertilizantes sintéticos inorgánicos.

