

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.005.1.5669>

Angeles-Tejadilla et al., 2026

Recibido: 30-01-2026

Revisado: 01-04-2026

Aceptado: 05-04-2026

Publicado: 30-04-2026

## Evaluación de bioinsumos agrícolas en la producción de *Fragaria ananassa*

### Assessment of agricultural bioinputs in *Fragaria ananassa* production

Ariadna Angeles Tejadilla<sup>1</sup>, José Luis Gutiérrez Liñan<sup>2</sup>, Saúl Espinosa Zaragoza<sup>3</sup>, Abraham Monteón Ojeda<sup>1</sup>, Carlos Farfán Flores<sup>1</sup>, Silvia Armenta Jaime<sup>1</sup> y Oscar Arce Cervantes<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CP. 43775, Ciudad Universitaria, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Centro Universitario UAEM Zumpango. Universidad Autónoma del Estado de México, C.P. 55600

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México, CP 30660.

\*Correspondencia: [oarce@uaeh.edu.mx](mailto:oarce@uaeh.edu.mx)

#### Resumen

La producción de fresa ha aumentado a nivel nacional debido a sus características nutricionales y organolépticas; sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos ha generado contaminación e impactos ambientales, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de bioinsumos agrícolas a base de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria × ananassa*). Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (n = 10): un control sin bioinsumo, PC1 a base de *Bacillus subtilis*, y PC2 y PC3 formulados con *Trichoderma harzianum*. Los bioestimulantes se aplicaron mediante drench a una concentración de 3 mL/L, suministrando 100 mL por planta cada 15 días durante 90 días. Se evaluaron variables fisiológicas y morfológicas, incluyendo número de hojas, contenido relativo de clorofila (SPAD), número de flores y frutos, así como características fisicoquímicas y de color del fruto. Los resultados mostraron respuestas diferenciadas entre tratamientos. Aunque el número de hojas y frutos no presentó diferencias significativas, los tratamientos con *B. subtilis* y *T. harzianum* incrementaron significativamente el contenido de clorofila y el número de flores en comparación con el control. En cuanto a la calidad del fruto, PC3 presentó los mayores valores de diámetro ecuatorial y polar, así como de peso fresco, mientras que los parámetros químicos y los atributos de color no mostraron variaciones significativas entre tratamientos. Finalmente, los resultados indican que los bioinsumos microbianos representan una alternativa sostenible para mejorar el desempeño fisiológico de la planta y el desarrollo del fruto de fresa sin afectar su calidad química y visual.



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

**Palabras clave:** Producción de fresa, Bioestimulantes, sustentabilidad, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*.

### Abstract

Strawberry production has increased nationwide due to its nutritional and organoleptic attributes; however, the intensive use of agrochemicals has caused environmental contamination, driving the search for more sustainable production strategies. The aim of this study was to evaluate the effect of microbial-based agricultural bioinputs on strawberry (*Fragaria × ananassa*) cultivation. A completely randomized design was established with four treatments (n = 10): a control without bioinputs, PC1 based on *Bacillus subtilis*, and PC2 and PC3 formulated with *Trichoderma harzianum*. Bioestimulants were applied by drenching at a concentration of 3 mL/L, delivering 100 mL per plant every 15 days over a 90-day period. Physiological and morphological variables were assessed, including leaf number, relative chlorophyll content (SPAD), number of flowers and fruits, as well as physicochemical and color attributes of the fruit. The results revealed differentiated responses among treatments. Although leaf and fruit numbers did not differ significantly, treatments containing *B. subtilis* and *T. harzianum* significantly increased chlorophyll content and flower number compared to the control. Regarding fruit quality, PC3 exhibited the highest equatorial and polar diameters and fresh weight, whereas chemical parameters and color attributes showed no significant differences among treatments. Overall, these findings indicate that microbial bioinputs constitute a sustainable alternative to enhance plant physiological performance and fruit development in strawberry cultivation without altering chemical or visual quality traits.

**Keywords:** Strawberry production, Biostimulants, Sustainability, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*.

### 1. Introducción

El cultivo de la fresa (*Fragaria × ananassa* Duch) constituye una de las actividades hortofrutícolas de mayor relevancia a nivel mundial. Se estima que entre 2020 y 2023 la superficie destinada a este cultivo aumentó a cerca de 435 mil ha y la producción del fruto se incrementó en 15.7%, con un volumen estimado de 10, millones de toneladas (FAO, 2024). En México, en 2023 la producción alcanzó 641, 552 t aproximadamente, con un incremento del 11 % respecto al año anterior, posicionándose como el quinto productor a nivel mundial (SIAP, 2024). Este crecimiento es sostenido y responde al alto valor nutricional y organoléptico del fruto, así como a su creciente demanda tanto en el mercado interno como en el de exportación (Zhou et al., 2015).

Debido a esto, la creciente necesidad para satisfacer la demanda de alimentos ha impulsado el aumento de pesticidas (30%) y fertilizantes sintéticos (25%) entre 2000 y 2020 (FAO,2022). El uso excesivo de estos productos contribuye a la contaminación del suelo y del agua, ya sea por lixiviación o escorrentía, además de implicar riesgos para la salud humana, comprometiendo la inocuidad y sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios (Peñuelas, 2023). Ante estos desafíos, se requiere la integración de tecnologías modernas y agroecológicas viables que permitan gestionar nuestros alimentos de forma sostenible, mejorando la resiliencia de nuestros cultivos al estrés biótico y abiótico (Meena, 2025).

En los últimos años, el uso de bioestimulantes ha aumentado de manera significativa, impulsado por su capacidad para favorecer el crecimiento



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

vegetal, mejorar el rendimiento y la respuesta al estrés de los cultivos (Garza-Alonso, 2022). Se estima que el mercado global de estos productos alcanzará más de 5 mil millones USD en 2030 (Khoulati, 2025).

Los bioinsumos son sustancia de origen Biológico (microorganismo, extractos vegetales, compuestos orgánicos) que utilizados en la agricultura pueden potenciar procesos naturales como la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento vegetal, mejorar la tolerancia al estrés abiótico y nutrir suelos (SADER, 2022), por otro lado, los bioestimulantes según la Union Europea (2019) son productos que, independientemente de su contenido en nutrientes promueven la eficiencia en el uso de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, mejoran características de calidad y la disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo y/o en la rizosfera. Estos, se pueden clasificar como no microbianos de origen orgánico que incluyen

sustancias húmicas, hidrolizados de proteínas y extractos de algas marinas, y microbianos de origen bacteriano, incluidas diversas especies de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Azotobacter*, *Azospirillum* y *Rhizobium* spp.), así como origen fúngico (*Trichoderma* spp., hongos micorrízicos) (Sani y Yong, 2022), además el uso de estos productos promueve la mejora en la salud del suelo, al liberar enzimas que descomponen la materia orgánica (Gutiérrez-Chávez, 2025), por lo que la aplicación de bioestimulantes ayuda a reducir significativamente el uso de insumos agrícolas sintéticos y por ende bajar los costos de producción (García-Machorro, 2020).

En el cultivo de la fresa su uso demostró beneficios (Tabla 1) al inducir la floración, mejorar al cuajado y sabor del fruto, al actuar como osmolitos, precursores de prolina y evitar el estrés oxidativo (Muñiz-Amaya, 2018).

**Tabla 1.** Principales bioestimulantes microbianos aplicados en el cultivo de fresa.

Bioestimulante	Efecto observado	Referencias
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> y <i>Pseudomonas monteilii</i>	Promovió el crecimiento de otros microorganismos (bacterias fijadoras de nitrógeno), la calidad del fruto se vio mejorada por un mayor contenido sólidos solubles totales (SST) y color, presuntamente se comportó como un potenciador de la maduración.	(Nam, 2023)
<i>Bacillus velezensis</i>	Tiene potencial para inhibir el crecimiento de patógenos de la fresa en invernadero y podría aumentar la producción de fruta comercializable en campo.	(Mei 2021)
<i>Trichoderma asperellum</i>	Su aplicación redujo la incidencia de podredumbre de corona y raíz ocasionada por tres hongos fitopatógenos ( <i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Fusarium solani</i> y <i>Rhizoctonia solani</i> ) en aproximadamente un 81% y mejoró significativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas, especialmente en el cultivar 'Festival', altamente susceptible.	(Khalifa & Mahmoud 2025)
<i>Trichoderma harzianum</i> y <i>T. virens</i>	Las aplicaciones de <i>Trichoderma</i> estimularon el crecimiento vegetal, aumentaron el rendimiento de los frutos de fresa y favorecieron la acumulación selectiva de antocianinas y otros antioxidantes en frutos rojos maduros	(Lombardi, 2020)

La aplicación de *Bacillus subtilis* mejora el desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad debido a que secreta hormonas de crecimiento,

enzimas y ácido indolacético que estimulan el desarrollo de las raíces y el crecimiento vegetal, facilitando la absorción de nutrientes, mejorando



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

la eficiencia de la fertilización y contribuyendo a una mayor biomasa (Gerónimo, 2021). Por otra parte, también participa en la inducción de resistencia sistémica, ya que estimula el sistema de defensa natural de las plantas, aumentando la tolerancia de las plantas al estrés abiótico y biótico (Alvarez, 2018). Por otro lado, el uso de *Trichoderma* en la agricultura y conservación del medio ambiente favorece una alta capacidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Ramos, 2021), además de ser estimulador del crecimiento radicular y como protector de la raíz, pues es un hongo que actúa principalmente como colonizador de raíces y es agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos (Morales, 2020).

Debido a esto la formulación de productos bioestimulantes a base de microorganismos que aseguren su estabilidad funcional y, al mismo tiempo, resulten rentables representa un aspecto clave en la producción agrícola (Romero-Romano,

2012). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres bioinsumos a base de *Bacillus subtilis* y de *Trichoderma harzianum* en el cultivo de fresa mediante la evaluación de variables fisiológicas (número de hojas, flores y frutos) y calidad comercial del fruto (tamaño, peso, sólidos solubles y acidez), aspectos clave en la producción agrícola.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Material vegetal

El material vegetal consistió en 40 esquejes provenientes de la misma línea genética con entidad biológica independiente de *Fragaria × ananassa* Duch. variedad Camino Real (Figura 1), los cuales se colocaron en el invernadero experimental del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH (20° 3' 37.53" N; 98° 22' 54.74" O).



**Reino:** *Plantae*  
**División:** *Magnoliophyta*  
**Clase:** *Magnoliopsida*  
**Orden:** *Rosales*  
**Familia:** *Rosaceae*  
**Subfamilia:** *Rosoideae* **Género:**  
*Fragaria × ananassa*  
**Variedad:** *Camino Real*



**Figura 1.** Cultivo de fresa *Fragaria × ananassa* Duch. variedad Camino Real en suelo agrícola arcilloso.



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

### 2.2 Bioinsumos microbianos

Los bioinsumos utilizados en este estudio fueron adquiridos en el mercado local. Para mantener la imparcialidad del estudio, los productos se identificaron como PC1, PC2 y PC3. El producto PC1 es a base de *Bacillus subtilis* a una concentración de  $1.0 \times 10^{11}$  UFC/L. Los productos PC2 y PC3 estaban formulados a base de *Trichoderma harzianum*, con concentraciones de  $1.0 \times 10^{11}$  UFC/L y  $1 \times 10^9$  conidios/mL, respectivamente. Para preparar las concentraciones se utilizó la técnica de diluciones seriadas siguiendo la fórmula:

$$\text{UFC/mL} = \frac{\text{Número de colonias} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Volumen sembrado (mL)}}$$

### 2.3 Condiciones experimentales

El establecimiento del experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las fresas se trasplantaron en suelo previamente analizado y el cual respondía de acuerdo con el triángulo de las texturas a un suelo franco arcilloso, con un pH de 8.07 (alcalino) y una conductividad eléctrica de 0.78 dS/m (baja). Asimismo, con bajo contenido de materia orgánica (1.67%). Con alto contenido de N-NO<sub>3</sub>, P y K (33.5, 36.5 y 397 ppm), respectivamente. Se utilizaron bolsas negras de polietileno de 25 × 25 cm con una capacidad de 2 kg.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, cada uno conformado por diez plantas (n = 10). Dado que el proyecto busca verificar la producción de fresa libre de insumos químicos, la comparación se realizó contra el testigo absoluto (sin tratamiento). Los tratamientos fueron los siguientes: Un control (sin bioinsumos), producto comercial 1 (PC1) a base de *B. subtilis*, PC2 y PC3 a base de *Trichoderma harzianum*. (Figura 2). Los bioinsumos se aplicaron en una concentración de 3 mL/L mediante drench, administrando 100 mL por planta cada 15 días durante un periodo de 90 días. Adicionalmente, se mantuvo la aplicación de humus líquido a una dilución estándar de 10 mL/L

cada 8 días en todos los tratamientos, como se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Diseño completamente al azar.

### 2.4 Variables fisiológicas de la fresa

Al día 90 del experimento se realizó el conteo del número total de hojas, flores y frutos por planta, así mismo, se tomó la lectura de unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), utilizando un medidor portátil (Konica Minolta). Las lecturas se realizaron en las hojas completamente expandidas, tomando tres mediciones por planta.

### 2.5 Variables de calidad del fruto evaluadas

Al azar se obtuvieron 5 frutos de cada planta por tratamiento y se reporta la media del tratamiento. Utilizando un vernier digital CALDI-6MP se obtuvo el diámetro polar y ecuatorial (cm) de las fresas y se pesaron en una báscula digital BASE 5-EP. La acidez titulable se determinó mediante colorimetría de acuerdo con el método 942.15 de la (AOAC 2005), utilizando fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) como indicador en solución alcohólica al 1%. Para la extracción se emplearon 10 g de fruto fresco por tratamiento, los cuales se diluyeron en 50 mL de agua destilada; posteriormente, se tomó una alícuota de 10 mL de la solución y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N.



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

El color de los frutos se determinó mediante un colorímetro CR-400 (Konica Minolta), un espectrofotómetro de reflectancia que calcula los parámetros de color a partir del espectro reflejado (Bodelon, 2010). El instrumento reporta

la apariencia del color en el espacio CIE Lab\*, donde L\* corresponde a la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), mientras que a\* y b\* representan las coordenadas de cromaticidad asociadas al tono y saturación del color.

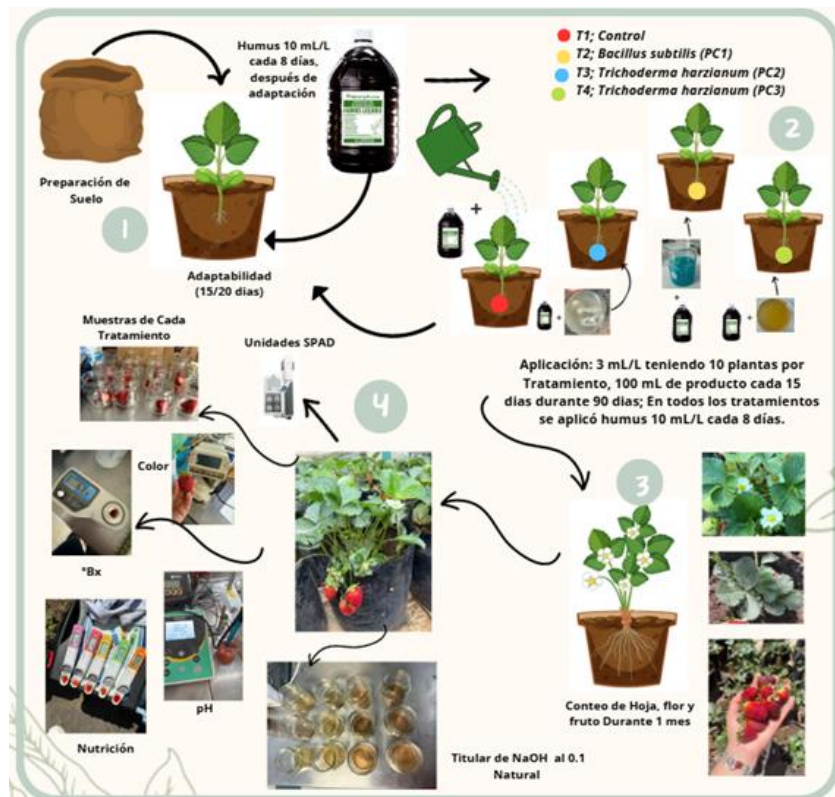


Figura 3. Diagrama de procedimiento experimental y aplicaciones de tratamientos.

### 2.6 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 %, utilizando el lenguaje de programación RStudio (versión 4.4.2), utilizando la paquetería agricolae para la prueba de Tukey y ggplot2 para la visualización gráfica de los resultados.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Efecto de los bioinsumos microbianos en la planta

El uso de bioinsumos en la agricultura representa una estrategia ecológica para la producción

sustentable, en este trabajo las variables morfológicas y fisiológicas (número de hojas, número de flores y frutos y Unidades SPAD) de las plantas de *Fragaria* × *ananassa* mostraron diferencia de acuerdo a los tratamientos aplicados, evidenciando un efecto favorable sobre el desarrollo de las plantas (Tabla 2), se observa que el número de hojas de las plantas no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), los valores variaron de 10 a 12 hojas, siendo el tratamiento con *T. harzianum* (PC3) el cual mostró el promedio más alto (12.5).



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

**Tabla 2.** Variables fisiológicas de *Fragaria × ananassa* tratadas con bioestimulantes.

Tratamiento	Número de hojas	Número de flores	Número de Frutos	Unidades SPAD
Control	11.2 ± 1.59 <sup>a</sup>	2.85 ± 1.31 <sup>b</sup>	10.8 ± 3.77 <sup>a</sup>	49.2 ± 5.17 <sup>a</sup>
PC1	10.7 ± 2.23 <sup>a</sup>	4.7 ± 2.0 <sup>a</sup>	11.9 ± 6.36 <sup>a</sup>	49.3 ± 3.16 <sup>a</sup>
PC2	12.0 ± 3.41 <sup>a</sup>	3.55 ± 1.32 <sup>ab</sup>	10.2 ± 4.68 <sup>a</sup>	48.0 ± 3.57 <sup>ab</sup>
PC3	12.5 ± 2.69 <sup>a</sup>	3.5 ± 1.19 <sup>ab</sup>	10.1 ± 4.64 <sup>a</sup>	45.3 ± 4.20 <sup>b</sup>

<sup>a, b, c</sup> literales en la misma columna representan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos.

En cuanto al contenido relativo de clorofila (unidades SPAD), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los bioinsumos PC1 (*B. subtilis*) y PC2 (*T. harzianum*) presentaron los valores más elevados (49.3 y 48.0 unidades SPAD, respectivamente), comparables al control. En contraste, el bioinsumo comercial PC3, aun cuando también está formulado con *T. harzianum*, registró el valor más bajo (45.3 unidades SPAD), lo que sugiere que la respuesta fisiológica de la planta no depende únicamente de la especie microbiana, sino también de la formulación y concentración, que influye en su eficiencia.

Respecto al número de flores, los bioestimulantes favorecieron la floración en *F. × ananassa*. El tratamiento a base de *B. subtilis* (PC1), presentó la mayor floración (4.7), seguido por los formulados a base de *Tichoderma* (PC2 y PC3), ambos con 3.5 flores, el control registró el menor número de flores (2.85). Finalmente, el número de frutos a los 90 d de cultivo no mostró diferencias significativas entre tratamientos (10 y 12 frutos por planta), sin embargo, la tendencia mostró un aumento al utilizar *B. subtilis*, el cual obtuvo el valor más alto (12 frutos).

Los resultados obtenidos sugieren que las respuestas observadas en *F. × ananassa* pueden atribuirse a los distintos modos de acción de los bioinsumos aplicados. En el caso de los tratamientos a base de *T. harzianum*, el efecto favorable sobre variables como el número de hojas, flores y frutos concuerda con lo reportado por (Quispe 2017), quienes señalan que *T. harzianum* no solo actúa como agente de control biológico, sino que también estimula el crecimiento vegetal mediante la mejora en la

absorción de nutrientes y la activación de mecanismos fisiológicos asociados al desarrollo vegetal.

Por otro lado, el incremento en la floración observado con el tratamiento a base de *Bacillus subtilis* podría relacionarse con la capacidad de las rizobacterias promotoras del crecimiento de sintetizar fitohormonas como las auxinas, las cuales participan directamente en la regulación de procesos reproductivos y de diferenciación de tejidos (Anguiano, 2019). En este sentido, el uso de bioestimulantes formulados con *T. harzianum* o *Bacillus* spp. contribuiría, a través de mecanismos distintos pero complementarios, a modular positivamente el desempeño fisiológico y reproductivo de las plantas de fresa.

En conjunto, estos resultados indican que la aplicación de bioestimulantes puede regular el crecimiento vegetal y modular procesos fisiológicos asociados al desarrollo del fruto, ya sea mediante la promoción o inhibición de compuestos bioactivos involucrados en dichos procesos (IABOTEC, 2022). Estos compuestos actúan principalmente a nivel de los tejidos meristemáticos, favoreciendo la división celular y el desarrollo temprano de los órganos vegetales, lo que se traduce en plantas con un crecimiento más eficiente y un mejor estado fisiológico en comparación con aquellas no tratadas con bioinsumos.

### 3.2. Efecto de los bioinsumos en los frutos

Los tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas en varias características morfológicas y de calidad del fruto. Las variables de diámetro ecuatorial, diámetro polar y peso fresco mostraron diferencias significativas entre

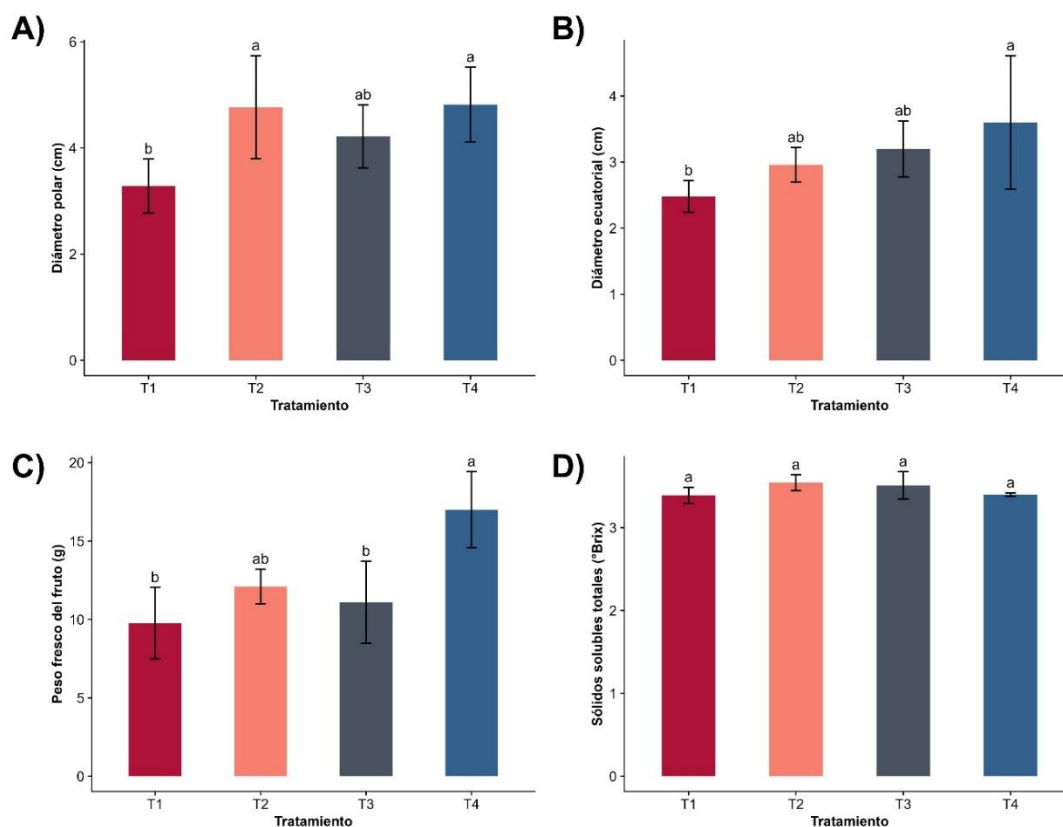


## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

tratamientos (Figura 4). En cuanto al diámetro ecuatorial, los frutos del tratamiento T4 presentaron el mayor valor (40 mm), superior al control (23.6 mm), mientras que T2 y T3 mostraron valores intermedios sin diferencias claras respecto a los otros grupos (29.6 y 33.3 mm, respectivamente). Asimismo, se observó que

el tratamiento T4 generó un mayor tamaño (50 mm), seguido de T2 (47 mm) para el diámetro polar, el control alcanzó un tamaño 28.6 mm. Este mayor tamaño en T4 favoreció el peso fresco de los frutos (17 g), mientras que el tratamiento control registró el peso menor (9.76 g).



**Figura 4.** Respuesta del fruto de fresa a la aplicación de bioestimulantes microbianos: A) diámetro polar, B) diámetro ecuatorial, C) peso fresco y D) sólidos solubles totales. Literales representan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos.

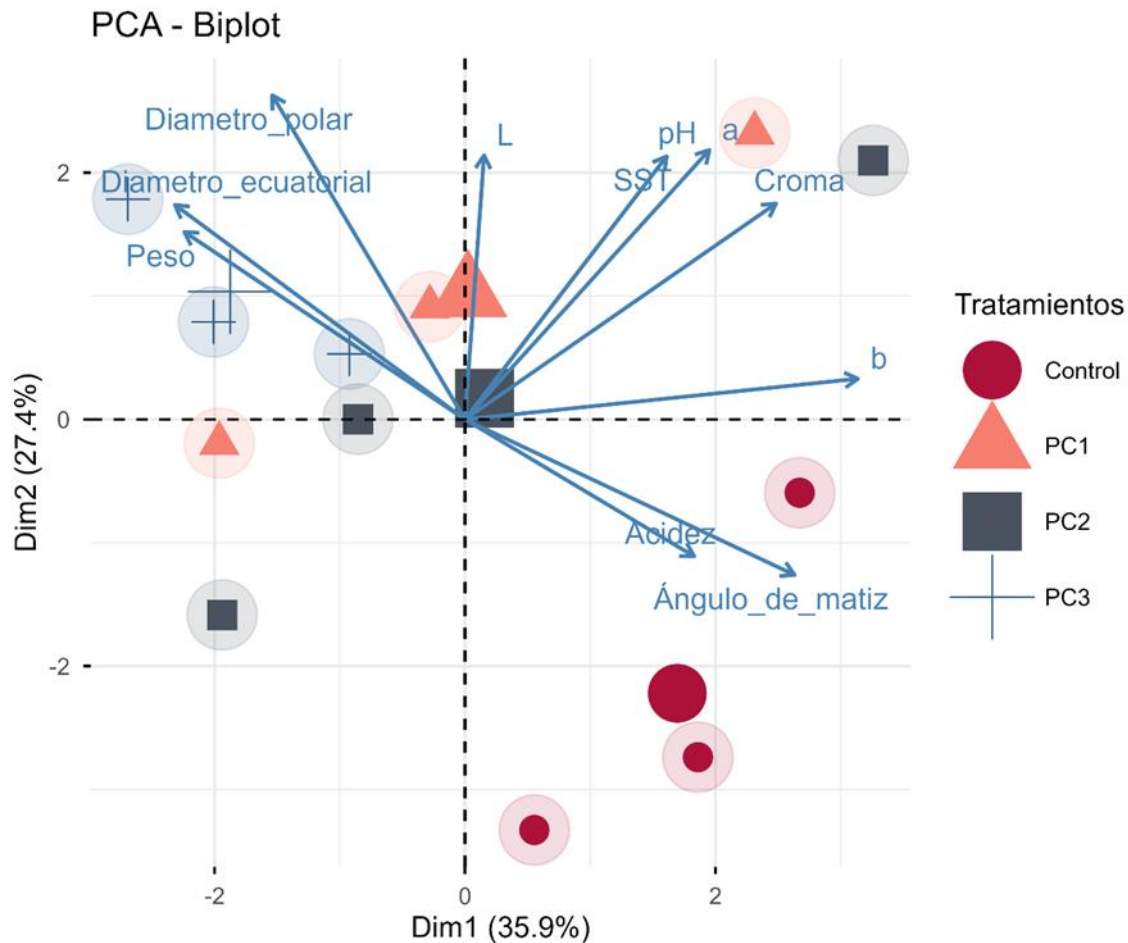
**Tabla 3.** Efecto de los bioestimulantes en acidez, pH y parámetros de color del fruto

Tratamiento	Acidez titulable (g/100 mL)	pH	L*	a*	b*	Croma	Ángulo de matiz (°hue)
Control	1.5 ± 0.36	3.39 ± 0.09	28.03 ± 2.16	30.84 ± 3.08	17.28 ± 2.32	35.37 ± 3.57	29.25 ± 2.37
PC1	1.06 ± 0.11	3.54 ± 0.09	29.49 ± 1.27	31.87 ± 4.20	14.68 ± 3.34	35.10 ± 5.20	24.53 ± 2.15
PC2	1.56 ± 0.40	3.51 ± 0.16	29.77 ± 2.73	30.15 ± 4.23	14.85 ± 3.59	33.63 ± 5.39	25.99 ± 2.15
PC3	1.1 ± 0.1	3.4 ± 0.02	30.56 ± 1.16	31.21 ± 2.31	13.95 ± 1.19	34.22 ± 1.71	24.18 ± 3.28



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026



**Figura 5.** Biplot del Análisis de Componentes Principales que muestra la distribución de las observaciones correspondientes a los tratamientos; control sin bioestimulante, PC1 a base de *Bacillus subtilis*, y PC2 y PC3 formulados con *Trichoderma harzianum*, así como la contribución de las variables morfológicas, fisicoquímicas y de color de frutos de fresa producidos mediante las aplicaciones de bioestimulantes.

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la acidez titulable, se mantuvieron en un rango de 1.06–1.56 g/100 mL), mientras que los sólidos solubles totales (3.3–3.5 °Brix) y el pH (3.3–3.5) también permanecieron constantes entre grupos (Tabla 3). Estos valores coinciden con lo reportado para fresa, cuyo pH está entre 3.2 y 3.6 (Ortiz, 2016), clasificándola como una fruta ácida.

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), con valores promedio

que oscilaron entre 3.39 y 3.54 °Brix. Estos valores se encontraron por debajo del contenido mínimo de sólidos solubles generalmente aceptado para fresas destinadas al mercado en fresco ( $\approx 7$  °Brix; Ramírez Gómez, 2022), lo que indica que los bioinsumos evaluados no influyeron en la acumulación de azúcares ni en los parámetros de calidad química del fruto en los tratamientos evaluados. Hidrolab (2022) indicó que un bajo nivel °Brix no solo indica poco azúcar, sino que suele reflejar un bajo nivel de nutrientes totales en el fruto. Los °Brix fueron bajo, esto puede indicar problemas de maduración



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

fisiológica (falta de potasio, exceso de nitrógeno, mala fotosíntesis) o que la variedad cultivada tiene un nivel de azúcar intrínsecamente bajo.

En cuanto a los atributos de color, tampoco se observaron diferencias estadísticas. Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) variaron entre 28.03 y 30.56, y los de  $a^*$  (indicadores de coloración roja) se mantuvieron entre 30.15 y 31.87. Los valores de  $b^*$ , asociados al componente amarillo, fluctuaron ligeramente entre tratamientos sin mostrar cambios significativos. El croma (intensidad del color), presentó valores entre 33.63 y 35.37, confirmando una saturación de color similar entre los tratamientos. De igual forma, el ángulo de matiz ( $^{\circ}\text{hue}$ ) se mantuvo dentro de un rango estrecho (24.18–29.25 $^{\circ}$ ), lo que sugiere uniformidad en el tono del color del fruto.

El análisis de componentes principales (PCA) permitió visualizar (Figura 5) que los tratamientos muestran una separación parcial, el PC3 (*T. harzianum*) mostró mayores valores de diámetro ecuatorial y polar, y mayor peso fresco, mientras que el control aparece cercano a valores más bajos de tamaño y peso, ubicándose en el extremo opuesto de PC3. Por otra parte, PC1 y PC2 se concentran en posiciones intermedias, reflejando similitudes en varias variables morfológicas y de color. Respecto a las variables de color, los vectores correspondientes a  $L$ ,  $a$ ,  $b^*$ , croma y ángulo de matiz, tienden a agruparse, indicando que estas variables están correlacionadas entre sí. Sin embargo, su contribución a la separación entre tratamientos es menor en comparación con las variables de tamaño, el PCA confirma que la principal fuente de variabilidad entre tratamientos está relacionada con el tamaño del fruto (diámetro y peso), mientras que las características de color presentan menos variación entre los tratamientos evaluados.

Se observa que el tratamiento con *B. subtilis* (PC1) sugiere un efecto favorable sobre atributos de calidad comercial y sensorial, mientras que la aplicación de *T. harzianum* (PC3) se asocia con variables de tamaño y peso, favoreciendo el

crecimiento morfológico, por otra parte, el tratamiento sin bioinsumos, se vinculó a mayores niveles de acidez y cambios en el ángulo de matiz, esto podría estar promoviendo procesos asociados a una maduración más rápida que aceleran la senescencia. La separación observada a lo largo del PCA indica una relación inversa entre las variables morfológicas y las variables fisicoquímicas y de color, lo que sugiere que el desarrollo del tamaño del fruto y los cambios asociados a la maduración química y visual responden de diferente manera de acuerdo con los tratamientos evaluados.

### 4. Conclusiones

La aplicación de bioinsumos microbianos en el cultivo de *Fragaria*  $\times$  *ananassa* demostró ser una estrategia viable para mejorar el desempeño fisiológico de la planta y el desarrollo morfológico del fruto, sin comprometer sus características químicas ni visuales. Los resultados evidenciaron respuestas diferenciadas según el tipo de microorganismo y la formulación del bioinsumo, lo que confirma que la eficiencia de estos productos no depende únicamente de la especie microbiana, sino también de su concentración, composición y modo de aplicación. Los tratamientos formulados con *Bacillus subtilis* favorecieron principalmente variables fisiológicas asociadas a la actividad fotosintética y reproductiva, como el contenido relativo de clorofila y el número de flores, lo que sugiere un efecto vinculado a la producción de fitohormonas y a la mejora en la eficiencia del uso de nutrientes. En contraste, el bioinsumo formulado con *Trichoderma harzianum* (PC3) mostró un efecto marcado sobre variables morfológicas del fruto, incrementando significativamente el diámetro y el peso fresco, lo que indica su potencial para promover el crecimiento estructural del fruto. En conjunto, este estudio demuestra que el uso de bioinsumos microbianos basados en *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* representa una alternativa ecológica para la producción de fresa, con potencial para reducir la dependencia de agroquímicos sintéticos y contribuir al desarrollo de sistemas



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

agrícolas más eficientes y ambientalmente responsables.

### Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por las facilidades para la realización de esta investigación.

### Declaraciones y afirmaciones

**Fondos:** No se declaran fondos para esta investigación.

**Conflicto de interés:** Los autores no declaran conflicto de interés.

**Aprobación ética:** No aplica

**Consentimiento para participar:** No aplica

**Consentimiento para publicar:** No aplica

**Disponibilidad de los datos:** Los datos que respaldan este estudio están disponibles en el artículo. Contactar al autor de correspondencia para solicitar información acerca de este estudio.

**Contribución del autor:** Los autores AAT realizó el experimento en parcela y laboratorio, obtuvo y analizó los datos, así como preparar el borrador inicial del manuscrito. JLGL y CFF capacitaron y asesoraron el trabajo experimental y laboratorio. SEZ, AMO, SAJ y OAC, conceptualización, diseño de la investigación, interpretación, revisión y obtener financiamiento, así como refinar el manuscrito.

Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

### Referencias

1. Anguiano Cabello J.C., Flores Olivas A., Olalde Portugal V., Arredondo Valdes R., Laredo Alcala E.I., (2019). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* como promotoras de crecimiento vegetal en: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e418>
2. Álvarez Manuel, Tuca Franz, Quispe Evelyn y Meza Victor (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria sp.*) *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33-42. En : <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>
3. AOAC Official Method. (2005). Acidity (Titratable) of Fruit Products. Retrieved 2025 en: <https://es.scribd.com/document/484708858/qdoc-tips-94215-pdf>
4. Bodelon Oscar G, Blanch María, Sanchez-Ballesta María T, Escribano María I., Merodio Carmen (2010). The effects of high CO2 levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. From Food Chem en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030881461000289X>
5. FAO. (2022). FAO Statistical Yearbook – World Food and Agriculture. Roma, Italia: FAO. En: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>
2. FAO. (2024) Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *FAOSTAT: Crops and livestock products – Strawberries*. FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
3. García Machorro J, Sánchez-Mendoza María Elena, López-Lorenzo Yaraset, Cruz-Antonio Leticia, Cruz-Oseguera Arturo, Arrieta Jesus (2020). Universidad Autónoma Chapingo. de: <https://doi.org/10.3390/molecules25092246>
4. Garza-Alonso Carlos Alberto, Olivares-Sáenz Emilio, González-Morales Susana, Cabrera-De la Fuente Marcelino, Juárez-Maldonado Antonio, González-Fuentes José Antonio, Tortella Gonzalo, Valdés-Caballero Marin Virgilio, Benavides-Mendoza Adalberto. (2022). Bioestimulación de la



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

- fresa: desde los mecanismos de acción hasta el crecimiento de la planta y la calidad del fruto. National Library of Medicine. En: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9784621/>
- Gerónimo Ventocilla Walter Fernando, (2021). Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión. Evaluación de bioestimulantes en el cultivo de *Prunus persica* (L.) melocotonero” en Huaral en: <http://hdl.handle.net/20.500.14067/5192>
  - Gutiérrez-Chávez Aldo, Acevedo-Barrera Angélica Anahí, Yañez-Muñoz Rosa María, Hernández-Huerta Jared (2025). Efecto de *Bacillus spp.* como bioestimulante de microvegetales de *Brassica oleracea var. capitata* y *Brassica oleracea var. sabellica*. Retrieved Agosto, 2025 en : [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-13212025000100020](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212025000100020)
  - Hidrolab (2022). Qué son los grados Brix en alimentos y cuál es su importancia, <https://www.hidrolab.com/blog/que-son-los-grados-brix-en-alimentos-y-cual-es-su-importancia/>
  - IABOTEC. (2022). From Investigación y Aplicación Biotecnológica en : <https://www.iabotec.com/>
  - Khalifa, W., & Mahmoud Ali, A. (2025). Biological Efficacy of *Trichoderma asperellum* Against Root Rot of Strawberry. Egyptian Journal of Phytopathology. en: <https://doi.org/10.21608/ejp.2025.436313.1163>
  - Khoulati Amine, Ouahhoud Sabir, Taibi Mohamed, Ezrari Said, Mamri Samira, Merah Othmane, Hakkou Abdelkader, Addi Mohamed, Maleb Adil, Saalaoui Ennouamane (2025). Aprovechamiento de bioestimulantes para la agricultura sostenible: innovaciones, desafíos y perspectivas futuras. de Discover Agri en : <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00177-9>
  - Lombardi, C., Caira, S., Troise, M., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., Marra, R., Salzano, A., Lorito, M. & Woo, S. (2020). *Trichoderma* applications on strawberry plants modulate the physiological processes positively affecting fruit production and quality. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1364. En: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01364>
  - Meena DC, Pratap Singh Birthal y, TM Kiram Kumara (2025). Bioestimulantes para el desarrollo sostenible de la agricultura: un análisis de contenido bibliométrico. *Discov Agric* 3, 2 en: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00149-5>
  - Mei, Chuansheng, Amaradasa, BS, Chretien, RL, Liu, D., Snead, G., Samtani, JB y Lowman, S. (2021). Una posible aplicación de bacterias endofíticas en la producción de fresas. *Horticulturae*, 7 (11), 504. En: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110504>
  - Morales-Mora Luis Angel, Hoyos- Petra Andrade Valencia-de Ita, M. Angeles, Romero-Arena Omar (2020). Caracterización de hongos asociados al cultivo de fresa y efecto antagonista *in vitro* de *Trichoderma harzianum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(3): 434-449. En: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2005-7>
  - Muñiz-Amaya, C. B. (2018). Búsqueda de nuevos bioestimulantes para el desarrollo de plantas: ácido elágico. Saltillo, Coahuila: CIQA. Retrieved 2025 En: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/558/1/CE%20EQA-AP%20Cesar%20Bernardo%20Mu%C3%B1iz%2030%20agos%202018.pdf>
  - Nasir Hossain Sani, Jean W. H. Yong (2022). Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Bangor, Aprovechamiento de procesos



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

- bioestimulantes sinérgicos: un enfoque plausible para mejorar el crecimiento y la resiliencia de los cultivos en la agricultura orgánica en: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/1/41>
17. Nam, J. H., Thibodeau, A., Qian, Y. L., Qian, M. C., & Park, S. H. (2023). Multidisciplinary evaluation of plant growth promoting rhizobacteria on soil microbiome and strawberry quality. *AMB Express*, 13(1), 18. En: <https://doi.org/10.1186/s13568-023-01524-z>
  18. Nunes, M. C., Morais AMMB., Brecht J.K., Sargent, Steven .A.(2022). Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. julio, 2025 En: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S0122-8706201800010014700029&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0122-8706201800010014700029&lng=en)
  19. Ortiz Texon Alberto, Delgadillo Martinez, Julián; Rodriguez Mendoza, María de las Nieves Rodriguez Mendoza y Calderon Zavala, Guillermo. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. vol.34, n.2, pp.177-185 en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000200177](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000200177)
  20. Penuelas Josep, Coello Fernando, and Sardans Jordi (2023). Agriculture & Food Security, A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability 12:5 en: <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
  21. Quispe Pérez José Ignacio, Trucio Orellana Josefina Liliana. (2017). Influencia de dos abonos orgánicos inoculados con *trichocastle* (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* y *Trichoderma virens*) en el cultivo de fresa *Fragaria spp.* variedad Camarosa en el distrito de Oxapampa en: <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/689/1/TESIS%20.pdf>
  22. Ramírez Gómez Humberto (2022). Sistemas de producción de fresa de altas densidades. Retrieved 2025 en: [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/506/Ramirez\\_Gomez\\_H\\_MC\\_Edafologia\\_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/506/Ramirez_Gomez_H_MC_Edafologia_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  23. Ramos Monterrosa Cristian Schmelink(2021). Efecto protector de una cepa nativa y de una comercial de *Trichoderma sp.* en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) caso aplicado en la vereda monteadentro del municipio de Pamplona, Norte de Santander. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria en : [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2939/1/Ramos\\_2021\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2939/1/Ramos_2021_TG.pdf)
  24. Romero-Romano, Carlos Osvaldo; Ocampo-Mendoza, Juventino; Sandoval-Castro, Engelberto; Tobar-Reyes, J. Refugio. (2012, Septiembre 3). Fertilización Orgánica - Mineral y Orgánica en el cultivo de Fresa (*Fragaria x ananasa Duch.*) Bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 8(3), 41-49. From <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125176004.pdf>
  25. SADER (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/bioinsumos-una-alternativa-mas-para-llegar-a-la-autosuficiencia-alimentaria?idiom=es>
  26. SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario 2024, Secretaria de Agricultura y desarrollo Rural (SADER) de: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2024/PA-2024.pdf](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2024/PA-2024.pdf)



## Artículo de investigación

Angeles-Tejadilla et al., 2026

27. Zuo, Y., Zhang, J., Zhao, R., Dai, H., y Zhang, Z. (2018). Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging, and soil enzymatic activity. *Scientia Horticulturae*, 233 (January), 132-140.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S2007-0705202200010010100056&lng=en](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2007-0705202200010010100056&lng=en)