

Efecto de la aplicación de sustancias húmicas y rizobacterias en fruto de frambuesa

Simeón Martínez de la Cruz¹

José Antonio González-Fuentes^{1,5}

Armando Robledo-Olivo²

Rosalinda Mendoza-Villarreal¹

Armando Hernández-Pérez¹

Miriam Desiree Dávila-Medina³

1 Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP. 25315. (sime642@hotmail.com; rosalingdamendoza@hotmail.com; hernandez865@hotmail.com).

2 Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP. 25315. (armando.robledo@outlook.com).

3 Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Autónoma de Coahuila. Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, República, Saltillo, Coahuila. CP. 25280. (desireedavila@uadec.edu.mx).

Autor para correspondencia: jagf252001@gmail.com

Resumen

México es un importante productor en el cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.); sin embargo, la agricultura intensiva plantea serios problemas como la disminución de la fertilidad del suelo, por uso indiscriminado de fertilizantes químicos y plaguicidas, se buscan alternativas biotecnológicas favorables al medio ambiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un bioestimulante con sustancias húmicas y rizobacterias en variables agronómicas y de calidad en fruto de frambuesa. La investigación se realizó en 2021 en un invernadero del Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizaron los siguientes tratamientos: 1) ácidos fúlvicos y mezcla de microorganismos; 2) ácidos húmicos y *Pseudomonas fluorescens*; 3) ácidos fúlvicos y *Azospirillum*; 4) ácidos fúlvicos y *Pseudomonas fluorescens*; 5) mezcla de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos más *Azospirillum* y el testigo, con dos diferentes dosis: D1) ácidos húmicos y fúlvicos: 3 ml y microorganismo 5 ml; D2) ácidos húmicos y fúlvicos 3.5 ml y microorganismo 4 ml, con cuatro repeticiones por tratamiento. La altura de planta incrementó con AFyAzoz d1 en 24.3%, el peso de fruto se favoreció con AFyMM d2 en 37.8%, el rendimiento aumentó con AFyPF d2 en 78.2%, los SST con AFyMM d1 en 23%, la vitamina C acrecentó 20% con aplicación de AFyPF d2. En el análisis de componentes principales existió correlación positiva entre número de frutos y altura de planta ($r= 0.94^{**}$), rendimiento y número de frutos ($r= 0.91^{**}$). Los bioestimulantes con rizobacterias y sustancias húmicas son una alternativa biotecnológica para ser aplicada al cultivo de frambuesa.

Palabras clave:

ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, calidad, microorganismos.

Introducción

La frambuesa (*Rubus idaeus* L.), es una frutilla de gran importancia en algunos países, así como en México, es un arbusto del grupo de los berries se cultiva en algunos estados como Jalisco, Michoacán y Baja California con una producción de 104 080.19; 28 895.4 y 10 221.74 t ha⁻¹ respectivamente (SIAP, 2020). El mercado de la frambuesa y berries, presenta condiciones en el crecimiento de la demanda y su consumo, se busca desarrollar tecnologías innovadoras que aumenten la calidad, rendimiento y ayuden disminuir el daño ambiental (García y Sommerfeld, 2016).

El uso extensivo de fertilizantes químicos plantea serios problemas como la contaminación ambiental, desarrolla la resistencia a plagas y pérdida de fertilidad del suelo (Ye *et al.*, 2020). Los bioestimulantes ofrecen un potencial para mejorar la producción y calidad de los cultivos, así como reducir el uso de fertilizantes (Quintero *et al.*, 2018). El uso de estos se está convirtiendo en una práctica común en los sistemas de producción, debido a su capacidad para cambiar los procesos fisiológicos de las plantas, relacionados con el crecimiento, la producción y la mitigación del estrés (Afonso *et al.*, 2022).

Las sustancias húmicas (SH), son los constituyentes naturales de la materia orgánica del suelo, resultantes de la descomposición de los residuos de la planta, animales y microbianos (Canellas y Olivares, 2014). Estas sustancias tienen efectos considerables sobre la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos debido a sus propiedades fisicoquímicas y bioquímicas, juegan un papel vital en establecer interacciones bióticas y abióticas dentro de la rizosfera vegetal (Shah *et al.*, 2018). Las rizobacterias pueden interactuar con las plantas directamente, aumentan la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, hierro, la producción de compuestos involucrados en el crecimiento de las plantas como fitohormonas (Olenska *et al.*, 2020).

La aplicación combinada de un consorcio microbiano y sustancias húmicas mejoró el rendimiento en arándanos, lo que resulta en un efecto sinérgico cuando se combinan microorganismos benéficos y sustancias húmicas (Schoebitz *et al.*, 2016). Es probable que el mecanismo de las sustancias húmicas que afectan el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas se explique por su conexión con los microorganismos de la rizosfera y su activación por las secreciones de las raíces de las plantas tratadas con preparaciones húmicas (Bezuglova y Klimenko, 2022).

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y las sustancias húmicas son opciones prometedoras para reducir el uso de pesticidas y fertilizantes minerales (Da Silva *et al.*, 2021). Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un bioestimulante a base de sustancias húmicas y rizobacterias, en variables agronómicas y calidad en fruto de frambuesa.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en un invernadero tipo túnel del Departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México, que se localiza entre las coordenadas geográficas 25° 22' de latitud norte y 101° 02' longitud oeste y a una altitud de 1 742 m. Se utilizaron plantas de frambuesa (xz28), fueron plantadas en el mes de febrero de 2021 a una edad de dos meses, en la plantación se utilizaron tres camellones de suelo con 12 m de largo y 1 m de ancho, se utilizó un sistema de riego por goteo con cintilla de 20 cm de separación entre goteros.

Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas y fúlvicas se extrajeron de Leonardita, compuesto orgánico mineral, aportado por la empresa minera DHD de México ubicada en Sabinas, Coahuila. La extracción se

realizó con la metodología de López *et al.* (2014), se utilizó hidróxido de potasio (KOH) 1 N y para la separación se utilizó ácido acético hasta obtener un pH de 4, después de 24 h, por decantación, se obtuvieron los ácidos fúlvicos con una coloración amarilla dorada, mientras los ácidos húmicos con apariencia de suelo y color café oscuro permanecieron en el fondo del contenedor.

Material microbiológico y preparación de cepas bacterianas

Las cepas de rizobacterias de *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens* descubiertas por Johana Dobereiner, Ananda Mohan Chakrabarty y Migula respectivamente, fueron proporcionadas por la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. La rizobacteria *Azospirillum brasilense* se reactivó en medio de cultivo NRCB, las especies de *Pseudomonas* se sembraron en medio King B. En la preparación, las bacterias se cultivaron en caldo nutritivo y en agitación constante a 150 rpm durante 48 h a 25 °C \pm 5 °C, donde el crecimiento bacteriano fue evidenciado por la turbidez en el medio. La concentración celular bacteriana fue de 10^9 cel ml⁻¹ de acuerdo con la escala de turbidez de Mc Farland (Mc Farland, 1907).

Tratamientos

Se aplicaron cinco mezclas diferentes con dos dosis, resultando 10 tratamientos más un control con cuatro repeticiones cada uno, aplicados en un diseño completamente al azar. En el experimento se utilizaron los siguientes tratamientos: 1) ácidos fúlvicos + mezcla de microorganismos dosis 1 (AFyMM d1); 2) ácidos fúlvicos + mezcla de microorganismos dosis 2 (AFyMM d2); 3) ácidos húmicos + *Pseudomonas fluorescens* dosis 1 (AHyPF d1); 4) ácidos húmicos + *Pseudomonas fluorescens* dosis 2 (AHyPF d2); 5) ácidos fúlvicos + *Azospirillum brasilense* dosis 1 (AFyAzoz d1); 6) ácidos fúlvicos + *Azospirillum brasilense* dosis 2 (AFyAzoz d2); 7) ácidos fúlvicos + *Pseudomonas fluorescens* dosis 1 (AFyPF d1); 8) ácidos fúlvicos + *Pseudomonas fluorescens* dosis 2 (AFyPF d2); 9) mezcla de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos + *Azospirillum brasilense* dosis 1 (MHyF+Azoz d1); 10) mezcla de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos + *Azospirillum brasilense* dosis 2 (MHyF+Azoz d2) y 11) control se aplicó solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961).

En la mezcla de microorganismos se utilizaron: *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* y *Azospirillum brasilense*. La dosis 1) ácidos húmicos o fúlvicos: 3 ml y microorganismo 5 ml, en dosis 2) ácidos húmicos y fúlvicos: 3.5 ml y microorganismo 4 ml, los tratamientos fueron aplicados directamente en el suelo cerca de la base de las raíces de la planta, las sustancias húmicas cada 15 días y las rizobacterias cada 30 días.

VARIABLES EVALUADAS

Las variables agronómicas se evaluaron al final del ciclo de cultivo, 180 días después del trasplante. La altura de planta se midió con cinta métrica desde la base de la corona hasta el ápice de la hoja más alta, el diámetro basal del tallo fue medido con un calibrador digital vernier marca Steren modelo HER-411. El peso de fruto fue registrado con báscula gramera marca TJ modelo MH-500. El diámetro polar de fruto y diámetro ecuatorial de fruto fue medido con un calibrador digital vernier marca Steren modelo HER-411, el peso de fruto fue registrado con báscula gramera marca TJ modelo MH-500, el número de frutos se registró por planta y en el rendimiento se pesó el total de frutos por planta, se reportó como g planta⁻¹.

En las variables de calidad, los sólidos solubles totales (SST) se midieron al colocar una gota de jugo del fruto de frambuesa sobre el lente del refractómetro digital marca Hanna modelo 96-801, las lecturas fueron expresadas en °Brix. El potencial de hidrogeno (pH), se midió con un potenciómetro digital HI98130 (Hanna Instruments). La acidez titulable se determinó por colorimetría de acuerdo con la AOAC (2000). La determinación de vitamina C en fruto de frambuesa fue con la metodología de Padayatt *et al.* (2001).

Análisis estadístico

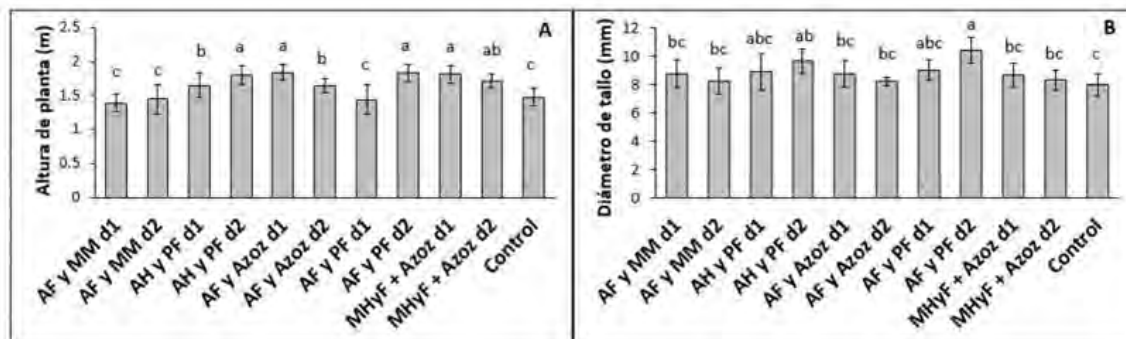
Los datos se analizaron por medio de un análisis de varianza (Anova), se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2020. Para la separación de medias se utilizó la prueba de LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). El análisis de componentes principales se realizó con el paquete computacional Minitab16, 2009.

Resultados y discusión

Variables agronómicas y de producción

Se evaluó la altura de planta de frambuesa (Figura 1A), se observaron diferencias significativas entre tratamientos, la altura se benefició con la aplicación de AFyAzoz d1, AFyPF d2, MHyF + Azoz d1, AHyPF d2, MHyF + Azoz d2, AHyPF d1, AFyAzoz d2 el incremento con respecto al control fue de 24.3, 23.6, 22.2, 21.6, 15.5, 11.4 y 10.8% respectivamente, el resto de los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales al testigo. Estos resultados coinciden con Schoebitz *et al.* (2016), al aplicar ácidos húmicos más un consorcio bacteriano en el cultivo de arándano incrementaron en 16% la altura de planta en comparación con el control. Con aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos se promueve el crecimiento de las plantas a través de efectos similares a las hormonas, ya que la descomposición de estas sustancias libera auxinas (Shahrajabian *et al.*, 2021).

Figura 1. Altura de planta (A) y diámetro basal de tallo (B) en frambuesa con aplicaciones de sustancias húmicas y rizobacterias. Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas entre tratamientos LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

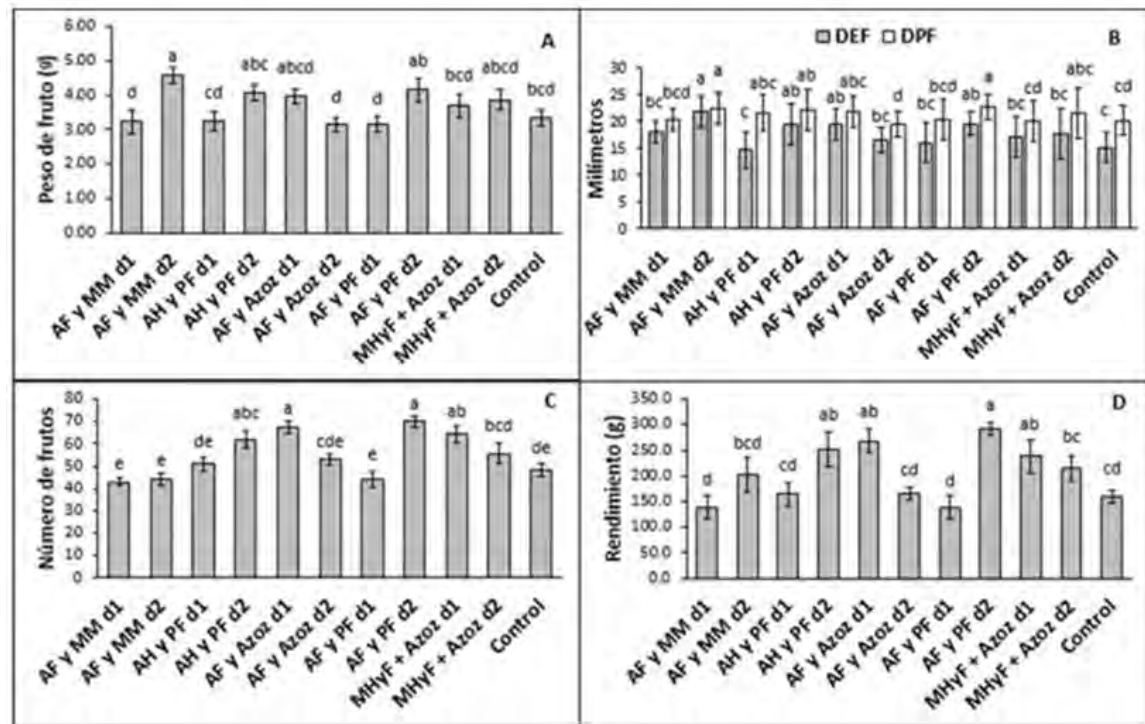


En la evaluación del diámetro basal de tallo en plantas de frambuesa (Figura 1B), se observó que la aplicación de AFyPFd2 y los AHyPF d2 incrementaron el diámetro de tallo en 30.4 y 20.8%, el resto de los tratamientos se comportaron iguales al testigo.

En un estudio realizado por Protim *et al.* (2017), al inocular cepas del género *pseudomonas* en plantas de ricino aumentaron el diámetro de tallo en 10.6% comparado con la fertilización química. Este aumento observado fue causado por la combinación de sustancias húmicas y rizobacterias, de acuerdo con Ahmad *et al.* (2018) encontraron que la aplicación combinada de ácido húmico y rizobacterias es mucho mejor que su efecto individual y observaron una mejora considerable del crecimiento de plantas de canola.

El peso de fruto Figura 2A, se favoreció en forma significativa con la aplicación de AFyMM d2 y con AFyPF d2 donde obtuvieron un incremento de 37.8 y 24.9%; sin embargo, este último tratamiento estadísticamente fue igual al control, como el resto de los tratamientos. En un estudio por Zejak *et al.* (2021), al evaluar la producción y calidad de frutos frambuesa reporta en peso de fruto valores entre 3.4 y 4.7 g los cuales fueron similares a los hallazgos en este trabajo.

Figura 2. Peso de fruto (A); diámetro ecuatorial de fruto (DEF) y diámetro polar de fruto (DPF) (B); número de frutos (C) y rendimiento (D) en frambuesa, con aplicaciones de sustancias húmicas y rizobacterias. Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas entre tratamientos LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).



El peso de fruto fue incrementado por los ácidos fúlvicos y húmicos, al respecto Kumar *et al.* (2019), al aplicar ácidos fúlvicos derivados de diferentes fuentes y aplicados al cultivo de maíz, obtuvo un crecimiento significativo en peso de grano de 4% con respecto al control, el aumento encontrado en la investigación es consecuencia a que los ácidos fúlvicos fueron extraídos de Leonardita y no de extractos de plantas como los utilizados por Kumar *et al.* (2019) en su investigación.

La evaluación del diámetro ecuatorial de fruto (DEF) se observa en la Figura 2B, el crecimiento observado en esta variable es con la aplicación de AFyMM d2, AFyPF d2, AFyAzoz d2 y AHyPF d2 con incrementos respecto al control de 44.5, 29.8, 28.6 y 28.4% respectivamente, los otros tratamientos aplicados se comportaron iguales al testigo. El diámetro polar de fruto (DPF) en la Figura 2B, se favoreció con los tratamientos AFyPF d2, AFyMM d2, AFyAzoz d1, con 13.3, 11.8 y 8.4%, los demás tratamientos estadísticamente fueron iguales al control.

En un estudio por Abd El-Razek *et al.* (2020) con aplicaciones de ácidos húmicos y materia orgánica en cultivo de olivo, al evaluar el fruto se benefició el DPF en 30.2% y el DEF en 28.9%. Abd El-Rheem *et al.* (2017) con aplicaciones de ácidos fúlvicos con dosis 2 ml L^{-1} en árbol de persimón (*Diospyros kaki* L.) incremento el DPF en 5.3% y el DEF 8.8%, este incremento inferior fue generado a que aplicaron dosis menores de ácidos fúlvicos, al utilizado en el estudio que fue de un rango de 3 a 3.5 ml L^{-1} más el uso de rizobacterias. Espinosa *et al.* (2017) al aplicar rizobacterias como *Pseudomonas lini* con diferentes sustratos en el cultivo de tomate, al evaluar el fruto aumentó el DPF en 6.1% y en DEF 4% con respecto a su testigo sin rizobacteria. Sin embargo, Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) al aplicar una bioinoculación con *Azospirillum brasilense* en cultivo de tomate no encontraron diferencias entre tratamientos al evaluar DPF y DEF.

El número de frutos (Figura 2C), fue favorecido con la aplicación de, AFyPF d2, AFyAzoz d1, MHyF + Azoz d2 y con AHyPF d2 con 45.8, 39.5, 33.3 y 29.1% respectivamente en comparación al control, el resto de los tratamientos estadísticamente fueron iguales al testigo. Estos resultados concuerdan

con lo reportado por García-Seco *et al.* (2015) con la inoculación de una rizobacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas fluorescens* incrementó en 42.8% el número de frutos en el cultivo de arándano.

En un estudio observado por Kamal *et al.* (2017) al usar ácidos húmicos en plantas de granada elevó el número de frutos en 38.2%. Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) realizaron un experimento donde aplicaron la cepa *Azospirillum brasilense* en el cultivo de tomate, donde aumentaron el número de frutos por planta en 27%.

El rendimiento que se observa en la Figura 2D, se favoreció con la aplicación de los tratamientos AFyPF d2, AFyAzoz d1, AHyPF d2 y con la MHyF+Azoz d2 registró un aumento de 78.2, 66.8, 57.5 y 48.7% respectivamente en comparación con el control, el resto de los tratamientos se comportaron iguales al testigo. Trabajos demostrados por Hernández-Montiel *et al.* (2017) al aplicar cepas de *Pseudomonas putida* en cultivo de tomate elevó el rendimiento en 20.7%. Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) en un experimento al aplicar la rizobacteria *Azospirillum brasilense* incremento el rendimiento en el cultivo de tomate en 35%. Sin embargo, Rosales *et al.* (2015), al aplicar ácidos fúlvicos en cultivo de melón, compararon tres tratamientos en suelo con un testigo sin aplicación de ácidos fúlvicos (AF0), aplicación de ácidos fúlvicos a pH6 (AF6) y de ácidos fúlvicos a pH7 (AF7) al evaluar el rendimiento no encontraron diferencias entre los tratamientos aplicados.

Este rendimiento más alto presentado en el estudio fue causado por la combinación de rizobacterias con sustancias húmicas que sirvieron de fuente de carbono. Olivares *et al.* (2017) menciona que las sustancias húmicas incrementan la exudación de ácidos orgánicos en la raíz, favoreciendo la interacción de la planta con microorganismos benéficos permitiendo incrementar la absorción y transporte de nutrientes minerales.

VARIABLES DE CALIDAD DE FRUTO

Se evaluaron atributos de calidad en fruto de frambuesa (Cuadro 1), los sólidos solubles totales (SST), que se midieron en °Brix, fueron favorecidos por los tratamientos AF y MM d1 en 12.3 °Brix y por los AF y PF d1 en 12.2 °Brix el aumento fue de 23 y 22% con respecto al control, los demás tratamientos se comportaron de acuerdo con el análisis estadístico de la misma forma que el testigo. Dujmović *et al.* (2012) al evaluar diferentes variedades de frambuesa encontraron en su investigación valores en sólidos solubles totales un rango de 9.4 a 11.5 °Brix.

Cuadro 1. Variables de calidad en fruto de frambuesa con aplicación de sustancias húmicas y rizobacterias.

Tratamientos	SST (°Brix)	pH	Acidez titulable (%)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)
AF y MM d1	12.3a	3.55ab	0.96c	51.6ab
AF y MM d2	10.3b	3.57a	1.23ab	49.1abc
AH y PF d1	9.5b	3.38bc	1.21ab	50abc
AH y PF d2	9.4b	3.45abc	1.18ab	53.8a
AF y Azoz d1	9.6b	3.5abc	1.23ab	52.5ab
AF y Azoz d2	9.3b	3.35c	1.25ab	48.4abc
AF y PF d1	12.2a	3.55ab	1.08bc	43.9c
AF y PF d2	10.4b	3.52abc	1.06bc	49.5abc
MHyF + Azoz d1	9.2b	3.47abc	1.28a	46.7bc
MHyF + Azoz d2	9.7b	3.37c	1.2ab	43.9c
Control	10b	3.38bc	1.2ab	44.7c
DMS	1.21	0.18	0.19	6.22
Significancia	**	.	.	**

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales LSD Fisher ($p \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa; * = significativo; ** = altamente significativo; ns= no significativo.

En el incremento de SST respecto al control, los resultados fueron diferentes a Aghaeifard *et al.* (2015), donde valoraron el impacto del ácido húmico aplicado a plantas de fresa y obtuvieron crecimientos de SST de 13.9% con respecto al control. Ortiz *et al.* (2016), al utilizar rizobacterias del género *Pseudomonas* reportaron incrementos en SST de 1.2% en el fruto de fresa en comparación con el testigo.

El pH del fruto se acrecentó con la aplicación de AFyMM d2 con un crecimiento respecto al control de 5.6%. Estos resultados fueron próximos a lo reportado por El-Beltagi *et al.* (2022), al aplicar un biofertilizante a base de rizobacterias de *Azospirillum* y *Azotobacter* en el cultivo de tomate cherry donde se incrementó el pH del jugo de fruto en 7% en comparación al testigo.

Sin embargo, fueron diferentes a lo mencionado por Shehata *et al.* (2011) al aplicar ácidos húmicos en el cultivo de fresa, al evaluar el pH de fruto no encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. Trujano-Fragoso *et al.* (2017), realizaron la evaluación en frutos de frambuesa de los cultivares Adelita, Erika, Lupita y Polka con valores de 3.42 a 3.83, estos mismos valores de pH fueron obtenidos en este estudio.

En la acidez titulable del fruto se observa que los tratamientos se comportaron en su mayoría iguales al control, a excepción de AF y MM d1 (0.96%) que presentó frutos con menor acidez con respecto a los demás tratamientos aplicados. Alvarado *et al.* (2016), al estudiar diferentes densidades de plantación en el cultivo de frambuesa al evaluar la acidez titulable reportó valores de 1.37 a 1.42% que fueron con más acidez a lo encontrado en la investigación.

En un estudio realizado por Todeschini *et al.* (2018), donde utilizaron cepas del género *Pseudomonas* en combinación con hongos micorrízicos encontraron un incremento de acidez titulable en fruto de fresa de 2.2% con respecto a su control. Mientras que González *et al.* (2018), al aplicar la *Pseudomonas lini* en cultivo de tomate aumentó en un 18.9% la acidez del fruto con respecto al testigo sin inoculación. Orhan *et al.* (2006), al aplicar rizobacterias en el cultivo de frambuesa no encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

La vitamina C se benefició con los AH y PF d2 en 53.8 mg 100 g⁻¹, AF y Azoz d1 52.5 mg 100 g⁻¹ y con aplicación de AF y MM d1 en 51.6 mg 100 g⁻¹, con incremento respecto al control de 20, 17 y 15% respectivamente, el resto de los tratamientos estadísticamente fueron iguales al testigo. Ponder y Hallmann (2020), en una investigación al comparar la agricultura convencional y de forma orgánica, reporta que las frutas de frambuesa convencionales obtuvieron valores de vitamina C de 55.4 mg 100 g⁻¹ en comparación con las frutas orgánicas con 46.2 mg 100 g⁻¹. Aminifard *et al.* (2012), con aplicaciones de ácidos fúlvicos en el cultivo de pimiento no observaron diferencias entre tratamientos al evaluar la vitamina C. Sin embargo, Eshghi y Garazhian (2015) al utilizar ácidos húmicos en aplicaciones al suelo vía drench en el cultivo de fresa, incrementaron la vitamina C en 45% con respecto al control.

Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) donde se incluyeron las variables agronómicas y de calidad en el cultivo de frambuesa. El análisis de los tres componentes principales de las poblaciones explicó el 85.9% de la variación de datos de las 11 variables analizadas tal porcentaje resultó en sumar consecutivamente los valores proporcionales determinados en el análisis (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 11 variables evaluadas en el cultivo de frambuesa.

Valores	Componentes principales		
	1	2	3
Valor propio	4.9677	3.0595	1.416
Proporción (%)	45.2	27.8	12.9

Valores	Componentes principales		
	1	2	3
Acumulada (%)	45.2	73	85.9
Variables	Vectores propios		
Peso de fruto	0.362	-0.124	0.435
SST	-0.219	-0.478	-0.128
Acidez	0.098	0.465	0.385
Vitamina C	0.24	-0.146	-0.122
DEF	0.31	-0.27	0.394
DPF	0.342	-0.197	0.153
pH	0.083	-0.499	0.117
Diámetro de tallo	0.269	-0.234	-0.516
Altura	0.362	0.263	-0.272
Numero de frutos	0.375	0.18	-0.309
Rendimiento	0.435	0.053	-0.057

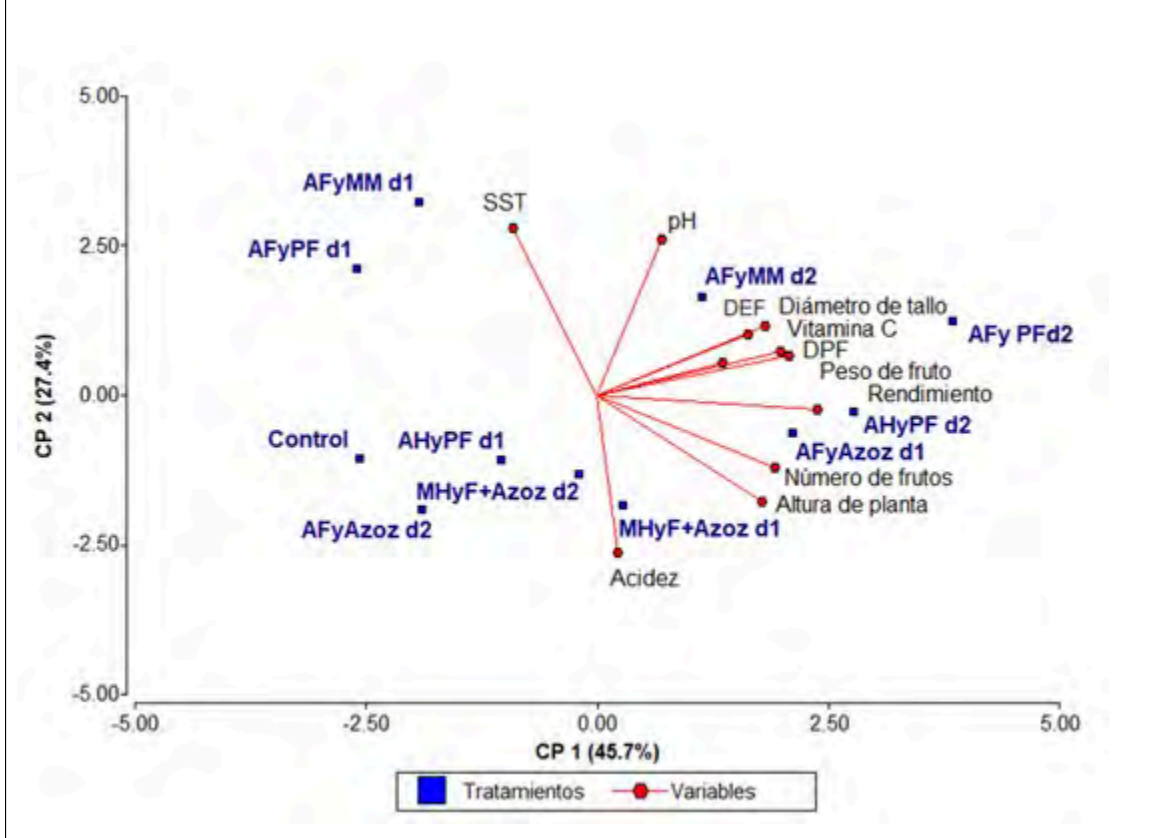
SST= sólidos solubles totales; DEF= diámetro ecuatorial de fruto; DPF= diámetro polar de fruto.

De acuerdo con los vectores propios, en el primer componente principal las variables originales más importantes fueron: peso fruto, altura, número de frutos, rendimiento, las cuales contrastan con SST. En el segundo componente principal las variables con mayor influencia fueron: acidez y altura que contrastan con SST y pH. El tercer componente estuvo fuertemente influido por las variables: peso de fruto y DEF que se relacionan negativamente con diámetro de tallo.

En la Figura 3 se observaron las correlaciones entre las variables según los ángulos de los vectores que las representan. Se presentó una correlación positiva y altamente significativa entre las siguientes variables: número de frutos y altura de planta ($r= 0.94^{**}$), rendimiento y número de frutos ($r= 0.91^{**}$), peso de fruto y DEF ($r= 0.89^{**}$), peso de fruto y DPF ($r= 0.85^{**}$).



Figura 3. Biplot de tratamientos con sustancias húmicas más rizobacterias y con variables agronómicas y de calidad de fruto en frambuesa. SST= sólidos solubles totales; DEF= diámetro ecuatorial de fruto y DPF = diámetro polar de fruto.



Esto indica que el número de frutos fue favorecido por la altura de planta, y el rendimiento por el número de frutos, el peso de fruto fue influenciado por el DEF y DPF. Respecto a las variables que presentan una relación negativa y altamente significativa se encuentran: acidez de fruto y los SST (-0.86^{**}). Por lo que los tratamientos con bajo porcentaje de acidez incrementaron los SST en el fruto de frambuesa.

Conclusiones

Los bioestimulantes a base de sustancias húmicas y rizobacterias aplicadas al cultivo de frambuesa aumentaron el peso del fruto con los ácidos fúlvicos + mezcla de microorganismos d2 y los ácidos fúlvicos + *Pseudomonas Fluorescens* d2; el rendimiento se favoreció con la aplicación de ácidos fúlvicos + *Pseudomonas Fluorescens* d2, los SST se beneficiaron con los tratamientos ácidos fúlvicos + mezcla de microorganismos d1 y por los ácidos fúlvicos + *Pseudomonas Fluorescens* d1; la vitamina C se incrementó con ácidos húmicos + *Pseudomonas Fluorescens* d2 y los ácidos fúlvicos + *Azospirillum brasilense* d1.

Existe correlación positiva y altamente significativa entre número de frutos y altura de planta, rendimiento y número de frutos. Se recomienda seguir investigando el efecto bioestimulante de las sustancias húmicas en combinación con rizobacterias en otros cultivos de importancia económica para analizar su acción favorable en variables agronómicas y de calidad de fruto, igualmente evaluar el impacto de su aplicación en condiciones ambientales desfavorables de estrés hídrico y salino.

Bibliografía

- 1 Abd El-Razek, E.; Haggag, L. F. and El-Hady, E. S. 2020. Effect of soil application of humic and biohumic acid on the yield and quality of the fruit of 'Kalamata' olive trees. *Bull Natl Res Cent.* 44(73):1-8. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00318-8>.
- 2 Abd El-Rheem, K. M.; Mohammed, A. S. and El Damarawy, Y. A. 2017. Effect of humic and fulvic acid on growth, yield and nutrients balance of 'costata' persimmon trees. *Journal of Agriculture and Food Technology.* 7(4):1-5.
- 3 Afonso, S.; Oliveira, I. V.; Meyer, A. S. and Gonçalves, B. 2022. Biostimulants to improved tree physiology and fruit quality: a review with special focus on sweet cherry. *Agronomy.* 12(3):1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030659>.
- 4 Aghaeifard, F.; Babalar, M.; Fallahi, E. and Ahmadi, A. 2015. Influence of humic acid and salicylic acid on yield, fruit quality, and leaf mineral elements of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) cv. Camarosa. *Journal of Plant Nutrition.* 39(13):1821-1829. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1088023>.
- 5 Aminifard, M. H.; Aroiee, H.; Nemati, H.; Azizi, M. and Jaafar, Z. E. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African Journal of Biotechnology.* 11(68):13179-13185. <https://doi.org/10.5897/AJB12.1507>.
- 6 Andrade-Sifuentes, A.; Fortis-Hernández, M.; Preciado-Rangel, P.; Orozco-Vidal, J. A.; Yescas-Coronado, P. and Rueda-Puente, E. O. 2020. *Azospirillum brasilense* and solarized manure on the production and phytochemical quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy.* 10(12):1-22. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121956>.
- 7 Ahmad, S.; Daur, I.; Al-Solaimani, S. G.; Mahmood, S.; Bakhashwain, A. A.; Madkour, M. H. and Yasir, M. 2018. Effect of rhizobacteria inoculation and humic acid application on canola (*Brassica napus* L.) *Pakistan Journal of Botany.* 48(5):2109-2120.
- 8 Alvarado-Raya, H. E.; Avitia-García, E. y Castillo-González, A. M. 2016. Producción de frambuesa 'Autumn Bliss' con diferentes densidades de caña en el Valle de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 7(1):17-29.
- 9 AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods. Official methods of analysis international. 17th Ed. Washington, DC. 1-30 pp.
- 10 Bezuglova, O. and Klimenko, A. 2022. Application of humic substances in agricultural industry. *Agronomy.* 12(3):1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030584>.
- 11 Canellas, L. P. and Olivares, F. L. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 1(3):1-12.
- 12 Da Silva, M. S. R. A.; dos Santos, B. D. M. S.; da Silva, C. S. R. A.; Antunes, L. F. S.; dos Santos, R. M.; Santos, C. H. B. and Rigobelo, E. C. 2021. Humic substances in combination with plant growth-promoting bacteria as an alternative for sustainable agriculture. *Front. Microbiol.* 12(1):1-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>.
- 13 Dujmović, P. D.; Duralija, B.; Voš, S.; Vokurka, A. and Ercisli, S. 2012. Comparison of fruit chemical characteristics of two wild grown *Rubus* species from different locations of Croatia. *Molecules.* 17(9):10390-10398. <https://doi.org/10.3390/molecules170910390>.
- 14 El-Beltagi, H. S.; Ahmad, I. and Basit, A. 2022. Effect of *azospirillum* and *azotobacter* species on the performance of cherry tomato under different salinity levels. *Gesunde Pflanzen.* 74(2):487-499. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00625-2>.
- 15 Espinosa-Palomeque, B.; Moreno-Reséndez, A.; Cano-Ríos, P.; Álvarez Reyna, V. P. J.; Sánchez-Galván, H. y González-Rodríguez, G. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Afrodita en invernadero. *Terra Latinoamericana.* 3(2):169-178.

- 16 Eshghi, S. and Garazhian, M. 2015. Improving growth, yield and fruit quality of strawberry by foliar and soil drench applications of humic acid. *Iran Agricultural*. 34(1):14-20. <https://doi.org/10.22099/IAR.2015.3031>.
- 17 García-Seco, D.; Zhang, Y.; Gutiérrez-Mañero, F. J.; Martín, C. and Ramos-Solano, B. 2015. Application of *Pseudomonas fluorescens* to blackberry under field conditions improves fruit quality by modifying flavonoid metabolism. *Plos One*. 10(11):1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142639>.
- 18 García, G. J. and Sommerfeld, M. 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *J. Appl. Phycol*. 28(3):1051-1061. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0625-2>.
- 19 González, R. G.; Espinosa, B. P.; Cano, P. R.; Moreno, A. R.; Leos, L. E.; Sánchez, H. G. and Sáenz, J. M. 2018. Influence of rhizobacteria in production and nutraceutical quality of tomato fruits under greenhouse condition. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(2):367-379. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078>.
- 20 Hernández-Montiel, L. G.; Chiquito-Contreras, C. J.; Murillo-Amador, B.; Vidal-Hernández, L.; Quiñones-Aguilar, E. E. and 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.
- 21 InfoStat. 2020. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC). Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=36>.
- 22 Kamal, H. M.; Elisa, M. A. and Mohammed, A. A. 2017. Effect of some mineral compounds on yield and fruit quality of pomegranate *Bioscience Research*. 14(4):1197-1203.
- 23 Kumar, M.; Zeng, X.; Su, S.; Wang, Y.; Bai, L.; Zhang, Y.; Li, T. and Zhang, X. 2019. The effect of fulvic acids derived from different materials on changing properties of albic black soil in the northeast plain of China. *Molecules*. 24(8):1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules24081535>.
- 24 Mc Farland, J. 1907. Nephelometer: an instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. *Journal of the American Medical Association*. 49(14):1176-1178. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.1907.25320140022001>.
- 25 Minitab, Inc. 2009. Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- 26 López, R. S.; González, G. C.; Vázquez, R. E.; Olivares, E. S.; Vidales, J. A.; Carranza, R. D. y Ortega, M. E. 2014. Metodología para obtener ácidos húmicos y fúlvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(5):1397-1407.
- 27 Oleńska, E. X.; Mańek, W. G. and Wójcik, M. 2020. Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review. *Science of the Total Environment*. 743(5):1-61. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140682>.
- 28 Olivares, F. L.; Galba, J. E.; Alessandra, M. P.; Da-Silva, L.; Oliveira, N. A. and Pasqualoto, L. C. 2017. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. *Chem. Biol. Technol. Agric*. 4(30):1-13.
- 29 Orhan, E.; Esitken, A.; Ercisli, S.; Turan, M. and Sahin, F. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae*. 111(1):38-43. <https://doi:10.1016/j.scienta.2006.09.002>
- 30 Ortiz, J. A.; Delgadillo, J. M.; Rodríguez, M. N. y Calderón, G. Z. 2016. Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana*. 34(2):177-185. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/95/95>.

- 31 Padayatt, S. J.; Daruwala, R.; Wang, Y.; Eck, P. K.; Song, J.; Koh, W. S. and Levine, M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. 30 p.
- 32 Ponder, A. and Hallmann, E. 2020. The nutritional value and vitamin C content of different raspberry cultivars from organic and conventional production. *Journal of Food Composition and Analysis*. 87(1):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103429>.
- 33 Protim, S. S.; Moni, P. B.; Nageshappa, V.; Kumar, D. G. and Kardong, D. 2017. Impact of *pseudomonas aeruginosa* MAJ PIA03 affecting the growth and phytonutrient production of castor, a primary host-plant of *Samia ricini*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17(2):499-515.
- 34 Quintero, E. R.; Calero, A. H.; Pérez, Y. D. y Enríquez, L. G. 2018. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Revista Centro Agrícola*. 45(3):73-80.
- 35 Rosales-Serrano, L. A.; Segura-Castruita, M. A.; González-Cervantes, G.; Potisek-Talavera, M. C.; Orozco-Vidal, J. A. y Preciado-Rangel, P. 2015. Influence of fulvic acid on the stability of aggregates and melon root in shadow-house. *Interciencia*. 40(5):317-323.
- 36 Schoebitz, M.; López, M. D.; Serrí, H.; Martínez, O. A. and Zagal, E. 2016. Combined application of microbial consortium and humic substances to improve the growth performance of blueberry seedling. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 16(4):1010-1023.
- 37 Shahrajabian, M. H.; Chaski, C.; Polyzos, N. and Petropoulos, S. A. 2021. Aplicación de bioestimulantes: una herramienta de gestión de cultivos de bajos insumos para la agricultura sostenible de hortalizas. *Biomoléculas*. 11(5):1-23. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>.
- 38 Shah, Z. H.; Rehman, H. M.; Akhtar, T.; Alsamadany, H.; Hamooh, B. T.; Mujtaba, T.; Daur, I.; Al-Zahrani, Y.; Alzahrani, H. A. S.; Ali, S.; Yang, S. H. and Chung, G. 2018. Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants. *Front. Plant Sci*. 9(263):1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00263>.
- 39 Shehata, S. A.; Gharib, A. A.; Mohamed, M. X.; El-Mogy, A. G. K. F. and Shalaby E. A. 2011. Influence of compost, amino and humic acids on the growth, and yield and chemical parameters of strawberries. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(11):2304-2308.
- 40 SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadística de Producción Agrícola.. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera gov.mx . <https://www.gob.mx/siap>
- 41 Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15(2):134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
- 42 Todeschini, V.; AitLahmidi, N.; Mazzucco, E.; Marsano, F.; Gosetti, F.; Robotti, E.; Bona, E.; Massa, N.; Bonneau, L.; Marengo, E.; Wipf, D.; Berta, G. and Lingua, G. 2018. Impact of beneficial microorganisms on strawberry growth, fruit production, nutritional quality, and volatilome. *Front. Plant Sci*. 9(1):1-22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01611>.
- 43 Trujano-Fragoso, D. E.; Trinidad-Santos, A.; López-Romero, R. M.; Velasco-Cruz, C.; Becerril-Román, A. E. y Cortés-Penagos, C. J. 2017. Características pomológicas, capacidad antioxidante y ácido elágico en frambuesa (*Rubus idaeus* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40(3):261-269.
- 44 Ye, L.; Zhao, X.; Bao, E.; Li, J.; Zou, Z. and Cao, K. 2020. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. *Sci Rep*. 10(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>.
- 45 Zejak, D.; Glisic, I.; Spalevic, V.; Maskovic, P. and Dudic, B. 2021. Sustainable management of fruit growing in rural areas of Montenegro: the impact of location on the phenological and nutritional properties on raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Agronomy*. 11(8):1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081663>.

Efecto de la aplicación de sustancias húmicas y rizobacterias en fruto de frambuesa

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 September 2024
Date accepted: 01 January 2025
Publication date: 15 February 2025
Publication date: Jan-Feb 2025
Volume: 16
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3191
DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3191

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

ácidos fúlvicos
ácidos húmicos
calidad
microorganismos

Counts

Figures: 3
Tables: 2
Equations: 0
References: 45
Pages: 0