



## Efecto de fosfitos de potasio sobre *Phytophthora* sp. y parámetros de crecimiento en plantas de piña (*Ananas comosus* var. *comosus*)

Potassium phosphites' effect on *Phytophthora* sp. and growth parameters in pineapple plants (*Ananas comosus* var. *comosus*)

Krystel García Cortés<sup>1</sup>, Marlen Camacho Calvo<sup>2</sup>, Xiomara Mata Granados<sup>3</sup>

### Palabras clave

Oomycetos, bioestimulantes, mecanismos de defensa, incidencia.

### Resumen

Durante un periodo de catorce semanas entre los meses de enero a junio del año 2016, se midió *in situ* el efecto de tres formulaciones de fosfitos de potasio sobre el agente causal de la pudrición del corazón (*Phytophthora* sp.) en plantas de piña (*Ananas comosus* var. *comosus*). Se establecieron siete tratamientos compuestos por las formulaciones 0-30-20, 0-48-40, 0-28-26 en la dosis alta, baja y un testigo absoluto; se midió el porcentaje de incidencia, longitud de la raíz, peso fresco y seco de la parte aérea y radical; además, de cada tratamiento se colectaron muestras de suelo y se les realizó análisis microbiológico y químico. El porcentaje de incidencia evidenció diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ( $p = 0,0037$ ); mediante una prueba de contrastes no ortogonales se comprobó que el tratamiento testigo presentó diferencias estadísticas ( $p = 0,0015$ ) con respecto a los demás, sobresaliendo para esta variable el tratamiento 0-28-26 dosis alta. Con base en el vector de medias para los parámetros de crecimiento, se conformaron tres grupos de tratamientos, mismos que mostraron diferencias estadísticas (ANAVAM, Wilks  $p < 0,0001$ ), siendo la formulación 0-28-26 y 0-30-20 en dosis baja los tratamientos promisorios. En los análisis microbiológicos se determinó la presencia de actinomicetos y especies del género *Penicillium*, mientras que la prueba de T no permitió detectar diferencias en el análisis químico de suelo.

### Key words

Oomycetes, biostimulants, defense mechanisms, incidence.

### Abstract

During a period of fourteen weeks between January and June 2016, the effect of three formulations of potassium phosphites was measured *in situ* on the causal agent of heart rot (*Phytophthora* sp.) in pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*) plants. Under a generalized block design, seven treatments composed on formulations under high and low doses of 0-30-20, 0-48-40, and 0-28-26, were compared to an absolute control. The percentage of incidence, length of the root, fresh, and dry weight of the aerial and radical sections was measured. In addition, from each treatment, soil samples were collected, microbiological and chemical analysis were performed. The percentage of incidence showed statistical differences between the treatments evaluated ( $p < 0.05$ ), by means of the test of non-orthogonal contrasts, was found that the control treatment showed statistical differences ( $p < 0.05$ ) with respect to the others, excelling for this variable the treatment 0-28-26 at high dose. Based on the vector of means for the growth parameters, which showed statistical differences (ANAVAM, Wilks  $p < 0.05$ ), three groups of treatments were formed, being the formulation 0-28-26 and 0-30-20 at low doses promising treatments. The microbiological analyzes showed the presence of actinomycetes and species of the genus *Penicillium*, while the t-test did not detect differences in the chemical analysis of soil.

1 Ing. Agrónoma. [krysgarciacortes@gmail.com](mailto:krysgarciacortes@gmail.com)

2 Docente. Escuela de Agronomía ITCR. [mcamacho@tec.ac.cr](mailto:mcamacho@tec.ac.cr)

3 Docente e Investigadora. Escuela de Agronomía ITCR.

[✉xmata@tec.ac.cr](mailto:xmata@tec.ac.cr)

## Introducción

Una de las plagas fúngicas más importantes en el cultivo de piña (*Ananas comosus* var. *comosus*), es *Phytophthora* sp., agente causal de la enfermedad conocida comúnmente como pudrición del corazón de la piña [1]. Esta enfermedad afecta cualquier etapa del ciclo de cultivo; Bartholomew *et al.* [1] y MAG [2] mencionan que se puede presentar pocas semanas después de la siembra, lo que constituye uno de los periodos de mayor susceptibilidad y que provoca pérdidas entre el 80% y 100% del cultivo total o a los tres o cuatro meses después de la siembra.

Los factores que favorecen su epidemiología son las condiciones de humedad y temperaturas cálidas. Bartholomew *et al.* [1], Garita [3] y Espinosa-Rodríguez *et al.* [4] indican que estas condiciones favorecen la diseminación de las estructuras infectivas, así como su penetración e invasión en los tejidos. Hernández *et al.* [5] y Cappa [6] mencionan que, durante el proceso infeccioso, la base de las hojas presenta un color pardo oscuro, la parte aérea se torna clorótica y se puede dar su desprendimiento al moverlas; además, en casos severos el cogollo se pudre. Usualmente para la prevención y el control de esta enfermedad se han utilizado sustancias sintéticas como la mezcla de Metalaxil + Mancozeb [7], [8], Metalaxil, Triadimefon, Fosetil aluminio [7], mezclas a base de Clorotalonil-Metalaxil, Clorotalonil-Cymoxanil-Mancozeb [9], así como la aplicación de extractos de semillas de cítricos, amonio cuaternario y productos con fuentes de cobre [7].

Lozoya y Hernández [9], Ezziyani *et al.* [10] y Fernández-Herrera *et al.* [11], mencionan que esta enfermedad puede manejarse de manera preventiva con agentes de control biológico, tales como *Trichoderma harzianum*, *Burkholderia cepacia* y *Streptomyces rochei*.

Lovatt y Mikkelsen [12] mencionan que los fosfitos de potasio, los cuales son sales que resultan de la neutralización del ácido fosforoso con hidróxido de potasio (KOH) comercializados comúnmente como fertilizantes, pueden ayudar al control de *Phytophthora* sp. Gómez y Trejo [13] indican que estos son inductores de resistencia en la planta y se categorizan como fungicidas de cuarta generación.

Jackson *et al.* [14] y Navarro *et al.* [15] indican que los fosfitos de potasio en concentraciones

bajas actúan de manera indirecta en el sitio de entrada del patógeno, estimulando las enzimas y sustancias que participan en la respuesta de defensa ante la entrada de un agente patógeno. Nemostothy y Guest [16], Guest y Grant [17], Jackson *et al.* [14], Daniel y Guest [18] y Lobato *et al.* [19] mencionan que las enzimas y sustancias que principalmente se estimulan son fitoalexinas, compuestos fenólicos, enzima fenil amoniacasa, coenzima A-4 ligasa, enzima oxidasa peroxidasa, deposición de lignina y aumento de quitinasa. Además, Jackson *et al.* [14] y Navarro *et al.* [15], mencionan que en altas concentraciones los fosfitos de potasio pueden actuar directamente sobre el patógeno, inhibiéndolo antes que se establezca en el hospedero.

Lo anterior constituye una herramienta trascendental a considerar en el manejo integrado de esta enfermedad, pues podría contribuir a reducir el uso de sustancias sintéticas, y por ende armonizar social y ambientalmente la producción de este cultivo. En este marco, el objetivo de esta investigación fue medir *in situ* el efecto de tres fosfitos de potasio sobre el control del agente causal de la pudrición del corazón en diferentes parámetros de crecimiento en plantas de piña.

## Materiales y métodos

El ensayo se estableció en finca La Esmeralda del Instituto Tecnológico de Costa Rica, localizada en Alajuela, Costa Rica, a 170 msnm, entre las coordenadas geográficas 10° 21' 42" de latitud norte y 84° 30' 36" de longitud oeste. Datos del Instituto Meteorológico Nacional [20] indican que el sitio presenta un promedio de precipitación mensual de 405,2 mm y temperaturas máximas y mínimas de 30°C y 23,2 °C respectivamente. Este se ejecutó bajo condiciones de campo semi-controladas, por un período de catorce semanas entre los meses de enero a junio del año 2016.

Se seleccionaron 350 semillas de piña híbrido MD-2 con un peso aproximado de 300 g ± 50 g, las cuales se sumergieron en una solución de Propiconazol y Metalaxil en la dosis alta recomendada, con el objetivo de eliminar estructuras infectivas de *Phytophthora* sp. y otros agentes infecciosos. Posteriormente, la semilla se colocó por un periodo de 24 horas de manera invertida para eliminar el exceso de agua. Transcurrido ese tiempo, se

sumergió durante cinco minutos en la formulación de fosfito de potasio asignada al azar (Cuadro 1).

Las plantas se sembraron en bolsas de polietileno de 10 x 10 cm con aproximadamente 3500 gramos del suelo tamizado y estéril. En el campo se colocaron al azar sobre un área cubierta de polietileno negro a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm de distancia entre hileras, por lo que el ensayo ocupó un área de 52,5 m<sup>2</sup>. Tres semanas después de la siembra, todas las plantas se inocularon con 5 ml de fragmentos miceliales y otras estructuras de *Phytophthora*, mediante una incisión en la axila de las hojas nuevas.

Una semana después de esta inoculación se aplicó a las plantas el tratamiento asignado (Cuadro 1) y, a partir de esta se realizaron aplicaciones cada 22 días, para un total de cuatro aplicaciones.

Se realizaron observaciones visuales cada siete días, durante un periodo de once semanas para determinar síntomas primarios y secundarios característicos de la enfermedad, así como obtener el porcentaje de incidencia. Al finalizar el ensayo, de cada tratamiento se seleccionó al azar diez plantas de las que se extrajo la hoja D para realizar un análisis foliar; luego, cada planta fue extraída cuidadosamente de la bolsa, lavada con suficiente agua y colocada en forma invertida para eliminar el exceso de humedad. Una vez seca, se midió la longitud de la raíz más prominente y se obtuvo el

peso fresco aéreo y radical con una balanza digital (marca OHAUS modelo ScoutPro); finalmente, ambas secciones se colocaron separadamente en bolsas de papel y se llevaron a una estufa de flujo constante de aire por un periodo de cuatro días a una temperatura de 55°C; luego cada sección se pesó para obtener el peso seco aéreo y radical.

Además, tanto al inicio como final del ensayo, de cada tratamiento se colectó una muestra de suelo compuesta de 200 g, de la que se extrajo una submuestra de 10 g para realizar un análisis microbiológico en el Laboratorio de Fitopatología y Biocontroladores; el resto de la muestra fue enviada al Laboratorio de Análisis Agronómicos, ambos de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Para evaluar la incidencia de la enfermedad a través del tiempo, se utilizó un diseño de bloques generalizados, con la semana de muestreo como factor de bloqueo; mientras que para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el resto de variables (pesos y longitud de raíz), se utilizó un diseño completamente al azar. Cada tratamiento estuvo conformado por diez repeticiones con cinco unidades experimentales cada uno.

El porcentaje de incidencia obtenido se correlacionó con variables del clima (temperatura, precipitación y humedad relativa) con respecto a una semana antes y la misma semana de observación, para lo

**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados bajo condiciones semicontroladas de tres formulaciones de fosfitos de potasio sobre el agente causal de la pudrición del corazón (*Phytophthora* sp.) en plantas de piña MD-2. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 1.** Treatments of three formulations of potassium phosphites evaluated under semi-controlled conditions over the causal agent of heart rot (*Phytophthora* sp.) in MD-2 pineapple plants. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Tratamiento	Formulación de fosfito de potasio	Dosis	Categoría de la dosis
T1	Testigo (agua)	-	-
T2	0-30-20	2 l/ha	Alta
T3	0-30-20	1 l/ha	Baja
T4	0-48-40	4 kg/ha	Alta
T5	0-48-40	1 kg/ha	Baja
T6	0-28-26	2 l/ha	Alta
T7	0-28-26	1 l/ha	Baja

cual se aplicó la prueba de Spearman. La variable incidencia de la enfermedad, en la interacción tratamiento x tiempo, fue analizada mediante modelos lineales generales y mixtos (MLMix) con corrección de la heterocedasticidad con la función *varident*, y la prueba de comparación múltiple Di Rienzo, González y Casanoves (DGC). Para identificar el efecto de los tratamientos sobre la incidencia (como promedio de las semanas cuatro a la siete), se analizaron los contrastes no ortogonales que se muestran en el Cuadro 2.

En vista de que se contó con una base de datos multivariada para las variables de crecimiento, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para verificar la importancia de cada una de ellas. Posteriormente se realizó un análisis de conglomerados (AC) para agrupar los tratamientos con base en las variables de crecimiento y de incidencia de la enfermedad. Mediante el análisis de varianza multivariado (ANAVAM) y la prueba de comparación Hotelling-Bonferroni, se evaluó la existencia de diferencias significativas entre conglomerados. Finalmente, se utilizó la técnica de modelos lineales generales y mixtos (MLMix) con el fin de determinar diferencias significativas entre los conglomerados, a nivel de cada variable.

Los valores del análisis químico para el inicio y el final del ensayo se analizaron mediante una prueba de "t de student" para muestras apareadas. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico

InfoStat/P [21], con un nivel de significancia de 0,05%.

## Resultados

### Porcentaje de Incidencia

A partir de la semana cuatro después de la inoculación, las hojas nuevas se tornaron cloróticas de manera ascendente, manifestando síntomas de tipo secundario inducidos por el agente causal inoculado (*Phytophthora* sp.); no obstante, la clorosis no se dio en toda el área foliar, abarcando en la mayoría de los casos un tercio de la misma. En el 10% de las plantas que manifestaron estos síntomas, se determinó que el área clorótica estaba delimitada por un halo acuoso brillante. Al tocar las hojas cloróticas y hacer movimientos laterales, estas se mostraron flexibles y podían desprenderse fácilmente al halarlas. De igual forma, al hacer los muestreos destructivos y cortar longitudinalmente el tallo, se observó los puntos de infección, los cuales iniciaron en la base de las hojas centrales hacia el corazón, con descomposición de tejido y rodeados por un halo de color café. Se determinó que, en los puntos de infección en el tallo, el nivel de avance fue reducido; además, las plantas afectadas despidieron un olor no fétido.

Se encontró correlación lineal significativa (Spearman,  $p = 0,0001$  en todos los casos) entre el porcentaje de incidencia de la enfermedad con las variables climáticas de precipitación y humedad

**Cuadro 2.** Contrastes no ortogonales establecidos para evaluar el efecto de tres formulaciones de fosfitos de potasio sobre la incidencia del agente causal de la pudrición del corazón (*Phytophthora* sp.) en plantas de piña MD-2. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 2.** Non-orthogonal tests established to compare the effect of three formulations of potassium phosphites over the incidence of the causative agent of heart rot (*Phytophthora* sp.) in MD-2 pineapple plants. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Referencia	Contrastes	Descripción del tratamiento
Ct.1	T1 vs T2, T3, T4, T5, T6, T7	Testigo vs todos los tratamientos
Ct.2	T2, T4, T6 vs T3, T5, T7	Tratamientos dosis altas vs tratamientos dosis bajas
Ct.3	T2 vs T3	0-30-20 dosis alta vs 0-30-20 dosis baja
Ct.4	T4 vs T5	0-48-40 dosis alta vs 0-48-40 dosis baja
Ct.5	T6 vs T7	0-28-26 dosis alta vs 0-28-26 dosis baja

relativa de la misma semana y de una semana antes de la evaluación (precipitación:  $r= 0,61$  y  $r= 0,63$ ; humedad relativa:  $r= 0,55$  y  $r= 0,53$ ), no así para la temperatura durante y una semana antes de la evaluación.

Con base en el resultado anterior, se categorizaron los valores de precipitación y humedad relativa para expresar tres condiciones de precipitación diaria: baja (0 a 10 mm), media (11 a 25 mm) y alta (más de 25 mm), y tres de humedad relativa: baja (menos de 80%), media (de 80 a 89%) y alta (más de 90%). Para ambas variables climáticas categorizadas se encontraron diferencias estadísticas ( $p < 0,0001$ ), de manera que la incidencia de la enfermedad aumentó significativamente en presencia de precipitaciones superiores a 11 mm por día o humedades relativas superiores a 80% (Cuadro 3).

La interacción tratamiento x semanas fue evaluada únicamente para la cuarta a la séptima semana puesto que no se presentaron síntomas de la enfermedad en las tres primeras semanas después de establecido el ensayo.

A partir de la cuarta semana se determinó 76% de incidencia de la enfermedad en el tratamiento testigo (T1), mientras que el resto de tratamientos se mantuvieron valores por debajo del 50% de incidencia, e incluso el tratamiento 0-28-26 dosis alta (T6) mostró valores estadísticamente inferiores en esta y la siguiente semana (24% y 60% de incidencia) con respecto al resto de tratamientos. A partir de la sexta semana aumentó la incidencia por encima del 80% en todos los tratamientos, excepto en el tratamiento 0-48-40 dosis alta (T4) con el 70%. Para la séptima semana, todos los tratamientos alcanzaron incidencias iguales o mayores al 90%, sin diferencias estadísticas entre ellos. Llama la atención la ausencia de interacción que se observó entre los tratamientos en dosis bajas en el tiempo (Figura 1).

Mediante la prueba de contrastes no ortogonales (Cuadro 4), se determinó que el tratamiento testigo (T1) presentó una media de incidencia estadísticamente superior al resto de tratamientos, mientras que los tratamientos en dosis bajas registraron una media de incidencia más alta que los tratamientos en dosis altas. La comparación

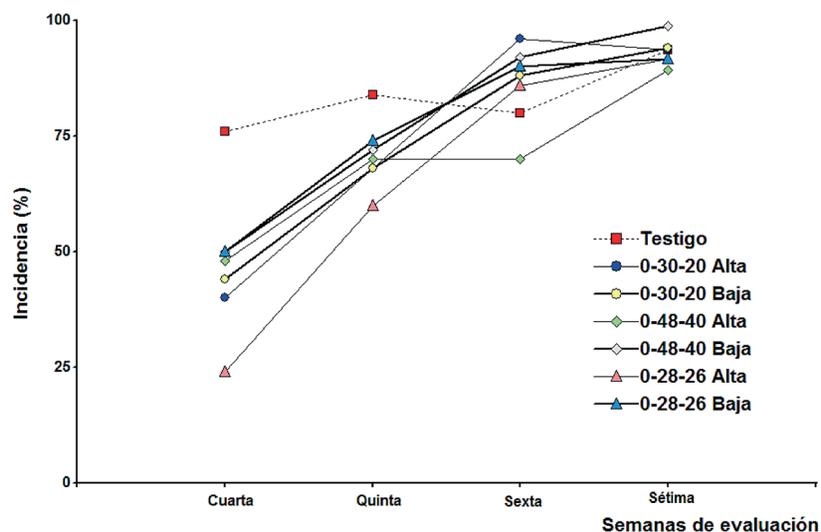
**Cuadro 3.** Porcentaje de incidencia de *Phytophthora* sp. en plantas de piña MD-2, por categorías de precipitación y de humedad relativa durante el periodo de marzo a junio del 2016. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 3.** Percentage of incidence of *Phytophthora* sp. in MD-2 pineapple plants under precipitation and relative humidity categories during the period from March to June 2016. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Categorías	Categorías	% de incidencia	
		Una semana antes	Semana observación
Precipitación (mm)			
I	0-10	51,07 ± 1,65 <sup>b</sup>	39,43 ± 1,65 <sup>b</sup>
II	11-25	92,10 ± 1,91 <sup>a</sup>	90,00 ± 1,65 <sup>a</sup>
III	>25	94,86 ± 2,33 <sup>a</sup>	94,00 ± 1,65 <sup>a</sup>
Humedad relativa (%)			
I	70-79	64,71 ± 1,56 <sup>b</sup>	59,14 ± 2,19 <sup>b</sup>
II	80-89	94,57 ± 3,82 <sup>a</sup>	93,71 ± 0,82 <sup>a</sup>
II	>90	93,71 ± 2,70 <sup>a</sup>	93,57 ± 0,82 <sup>a</sup>

Medias (± error estándar) con letras en común no son significativamente diferentes (DGC,  $p > 0,05$ ).

Means (± standard error) with a common letter are not significantly different (DGC Test,  $p > 0.05$ ). Letters are read vertically within each variable.



**Figura 1.** Porcentaje de incidencia de *Phytophthora* sp. de la cuarta a la séptima semana en plantas de piña MD-2 sometidas a diferentes formulaciones de fosfitos de potasio. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Figure 1.** Percentage of incidence of *Phytophthora* sp. from the fourth to the seventh week in MD-2 pineapple plants subjected to different formulations of potassium phosphites. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Cuadro 4.** Contrastes no ortogonales para el porcentaje de incidencia del agente causal de la pudrición del corazón (*Phytophthora* sp.), en plantas de piña MD-2 sometidas a diferentes formulaciones de fosfitos de potasio. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 4.** Non-orthogonal contrasts for the incidence rate of the causative agent of heart rot (*Phytophthora* sp.) in MD-2 pineapple plants subjected to different formulations of potassium phosphites. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Contrastes no ortogonales			Media ± E.E. (1)	Media ± E.E. (2)	p-valor
T1	vrs	T2, T4, T5, T6, T7	66,72 ± 5,34	58,29 ± 2,28	0,0015
T2, T4, T6	vrs	T3, T5, T7	55,76 ± 3,25	60,83 ± 3,21	0,0301
T2	vrs	T3	59,52 ± 5,68	58,80 ± 5,49	0,8428
T4	vrs	T5	55,44 ± 5,61	62,56 ± 5,80	0,1292
T6	vrs	T7	52,32 ± 5,63	61,12 ± 5,48	0,0176

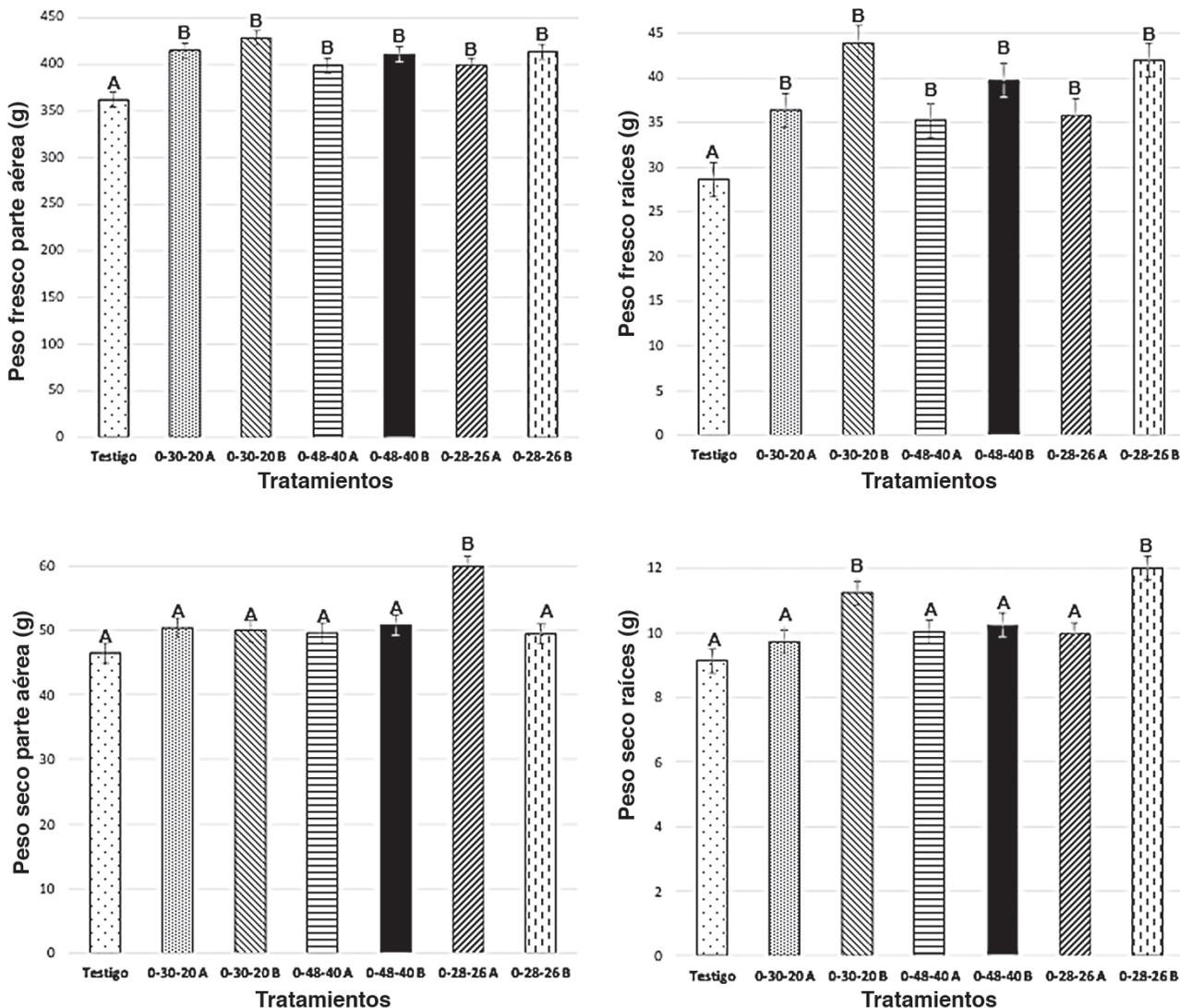
entre ambas dosis dentro de una misma formulación indicó diferencias significativas únicamente en la formulación 0-28-26, siendo la media de incidencia de la dosis alta (T6) estadísticamente inferior a la de la dosis baja (T7).

#### Variables de crecimiento

Únicamente el tratamiento testigo (T1) difirió del resto de tratamientos en el peso fresco de la parte aérea ( $p = 0,0187$ ) y de la raíz ( $p < 0,0001$ ). En el peso seco, se encontraron diferencias significativas

en la parte aérea ( $p = 0,0020$ ) y el tratamiento 0-28-26 dosis alta (T6) resultó con un valor promedio más alto que el resto de tratamientos; mientras que todos los tratamientos reportaron valores estadísticamente similares para el peso seco de la raíz ( $p > 0,05$ ) (Figura 2).

Para la variable longitud de la raíz más prominente se obtuvo diferencias estadísticas ( $p < 0,0001$ ) entre tratamientos, siendo el tratamiento 0-30-20 dosis baja (T3) y 0-28-26 dosis alta (T6) los que mostraron raíces más largas, aunque sin diferencias



**Figura 2.** Peso aéreo y de la raíz en plantas de piña MD-2 sometidas a diferentes formulaciones de fosfitos de potasio. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos según la prueba DGC,  $p < 0,05$ .

**Figure 2.** Aerial and root weight in MD-2 pineapple plants subjected to different formulations of potassium phosphites. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Different letters indicate differences between treatments according to the DGC Test,  $p < 0.05$ .

con el tratamiento testigo (T1) y tratamiento 0-48-40 dosis baja (T5). Las formulaciones 0-30-20 dosis alta (T2), T4 0-48-40 dosis alta (T4) y 0-28-26 dosis baja (T7) presentaron las longitudes de raíces más bajas para este ensayo.

El biplot del análisis de componentes principales, considerando las seis variables evaluadas (incidencia obtenida del promedio de la semana

tres a la semana siete, longitud de la raíz más prominentes, pesos frescos y pesos secos de la parte aérea y de la raíz) mostró que los dos primeros componentes principales explicaron el 78% de la variabilidad de las observaciones, mientras que, al eliminar la longitud de la raíz más prominente, se logró explicar el 90% la variabilidad observada. Además, todas las variables resultaron importantes y no redundantes.

El análisis de conglomerados con estas cinco variables seleccionadas generó tres grupos de tratamientos estadísticamente diferentes entre ellos de acuerdo con el análisis de varianza multivariado (Wilks,  $p < 0,0001$ ). El grupo 1 estuvo conformado por las dosis baja y alta de 0-48-40, la alta de 0-30-20 y la alta de 0-28-26, mientras que en el grupo 2 se encontraron las dosis bajas de 0-30-20 y de 0-28-26. El tratamiento testigo conformó el grupo 3.

El vector de medias de los conglomerados (Cuadro 5) muestra que las medias más altas en las variables de peso fresco parte aérea y raíz así como peso seco raíz, se presentó en el grupo de tratamientos conformados por las dosis bajas de 0-30-20 (T3) y 0-28-26 (T7), por lo que se consideran como los dos tratamientos más prominentes; mientras que el conglomerado dos conformado por el tratamiento 0-30-20 dosis alta (T2), 0-48-40 dosis alta y baja (T4, T5) y 0-28-26 dosis alta (T6) presentó la media más alta para la variable peso seco de la parte aérea y más baja para el porcentaje de incidencia.

Las variables evaluadas en el análisis químico de suelos al inicio y al final del ensayo no mostraron diferencias estadísticas (T pareado,  $p > 0,05$ ), excepto para el pH, el fósforo (P) y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), con media estadística inferior al finalizar el ensayo en las dos primeras y más alto en la última (Cuadro 6).

El análisis foliar en la hoja D de las plantas evaluadas catorce semanas después de realizada la siembra (Cuadro 7), indicó que los elementos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se encontraron por encima de los niveles críticos para estos nutrientes [22],

y que otros de los elementos menores mostraron valores en el límite inferior o ligeramente por debajo de ese nivel crítico.

El análisis microbiológico del suelo, al inicio y final del ensayo (Cuadro 8), demostró que el sustrato se mantuvo libre de microorganismos y otros agentes patógenos que pudieran interferir en el desarrollo del ensayo o confundirse con el agente de interés para la investigación.

## Discusión

Los síntomas manifestados en las plantas inoculadas con *Phytophthora* sp., coinciden con los observados por Cappa [6], Sánchez *et al.* [23], Hernández *et al.* [5] y Garita [3]. Al respecto Hernández *et al.* [5] y Garita [3] señalan que la enfermedad suele avanzar rápidamente, observándose puntas y bordes de hojas necrosadas, desprendimiento de hojas, tejidos de la base acuosos con lesiones de color pardo oscuro, podredumbre en el cogollo de la planta, y un olor fétido debido a la descomposición. Por su parte, Bartholomew *et al.* [1] y Arauz y Ortega [24] indican que es posible que la infección se limite únicamente al tallo y la porción no clorótica de la hoja, donde se manifiesta el síntoma primario de la enfermedad, caracterizado por un halo necrótico que circunscribe un tejido blanco, duro y momificado, el cual avanza infectando el corazón del tallo de arriba hacia abajo:

Estos mismos síntomas se observaron en las plantas bajo observación en esta investigación.

**Cuadro 5.** Vector de medias para la incidencia (en %) y peso fresco y peso seco (en g) de la parte aérea y raíz, en plantas de piña MD-2 sometidas a diferentes formulaciones de fosfitos de potasio. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 5.** Vector of means for the incidence (%), fresh and dry weight (g), of the aerial and root sections, in MD-2 pineapple plants subjected to different formulations of potassium phosphites. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Conglomerado	Incidencia	Peso fresco		Peso seco	
		Parte aérea	Raíz	Parte aérea	Raíz
1: T1	66,72 <sup>a</sup>	361,16 <sup>a</sup>	28,63 <sup>a</sup>	46,49 <sup>b</sup>	9,12 <sup>b</sup>
2: T2, T4, T5 y T6	57,46 <sup>b</sup>	405,28 <sup>a</sup>	36,78 <sup>b</sup>	52,66 <sup>a</sup>	9,99 <sup>b</sup>
3: T3 y T7	59,96 <sup>b</sup>	420,44 <sup>b</sup>	42,96 <sup>c</sup>	49,67 <sup>b</sup>	11,62 <sup>a</sup>

Para cada variable, medias con letras diferentes indican diferencias entre conglomerados ( $p < 0,05$ ) según la prueba DGC.

**Cuadro 6.** Análisis de suelos al inicio y al final del ensayo para evaluar el efecto de fosfitos de potasio sobre *Phytophthora* sp. y parámetros de crecimiento en plantas de piña MD-2. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 6.** Soil analysis at the beginning and end of the trial evaluating the effect of potassium phosphites over *Phytophthora* sp. and growth parameters in MD-2 pineapple plants. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Variable	Media inicial	Media final	P valor
pH	5,4 8± 0,07	5,33 ± 0,01	0,0422
Acidez ext.	0,28 ± 0,04	0,33 ± 0,01	0,2641
Ca	1,50 ± 0,11	1,70 ± 0,05	0,0841
Mg	0,73 ± 0,07	0,87 ± 0,02	0,1297
K	0,21 ± 0,05	0,26 ± 0,01	0,4179
Cu	17,00 ± 0,79	19,00 ± 1,54	0,3738
Mn	1378,00 ± 127,80	1433,00 ± 57,68	0,7585
Fe	94,14 ± 7,15	74,43 ± 7,04	0,1008
Zn	4,39 ± 0,21	4,81 ± 0,07	0,1151
P	10,67±1,12	6,89 ± 0,32	0,0138
Ca/Mg	2,07± 0,04	1,96 ± 0,08	0,3390
Ca/K	8,41±1,03	6,57 ± 0,44	0,1745
Mg/K	4,04 ± 0,48	3,31 ± 0,14	0,2250
CICE	2,72 ± 0,19	3,16 ± 0,06	0,0496
Sat ACI	10,81±1,87	10,53 ± 0,22	0,8919

**Cuadro 7.** Resultados del análisis foliar<sup>1</sup> de la hoja D de plantas de piña MD-2. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 7.** Leaf analysis results of *D leaf* on MD-2 pineapple plants. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Tratamiento	%					mg/l			
	N-total	K	Ca	Mg	P	Cu	Mn	Fe	Zn
T1: testigo	1,14	1,89	0,13	0,13	0,10	6	599	103	7
T2: 0-30-20 alta	1,27	2,25	0,13	0,13	0,13	5	844	146	12
T3: 0-30-20 baja	1,16	2,08	0,20	0,16	0,11	7	868	226	81
T4: 0-48-20 alta	1,23	2,26	0,13	0,10	0,16	4	812	639	7
T5: 0-48-20 baja	1,19	2,16	0,14	0,13	0,18	7	787	120	5
T6: 0-28-26 alta	1,21	2,37	0,15	0,13	0,15	5	762	81	6
T7: 0-28-26 baja	1,29	2,16	0,16	0,16	0,11	7	807	108	8

1 Reporte del análisis realizado en el Laboratorio de Análisis Agronómicos del ITCR, Sede San Carlos, Costa Rica.

**Cuadro 8.** Análisis microbiológico del suelo al inicio y al final del ensayo para evaluar plantas de piña MD-2. Finca La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

**Table 8.** Microbiological soil analysis at the beginning and end of the trial evaluating MD-2 pineapple plants under different treatments. La Esmeralda, Alajuela, Costa Rica.

Tratamiento	Inicio		Final	
	UFC/ g de suelo húmedo	Microorganismo	UFC/g de suelo húmedo	Microorganismo
T1: testigo	1,09 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	4,12 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.
T2: 0-30-20 alta	1,33 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	2,80 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.
T3: 0-30-20 baja	1,33 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	2,97 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.
T4: 0-48-20 alta	1,76 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	5,70 x 10 <sup>4</sup>	Actinomycetes <i>Penicillium</i> spp.
T5: 0-48-20 baja	1,43 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	9,07 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.
T6: 0-28-26 alta	3,16 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	6,03 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.
T7: 0-28-26 baja	9,3 x 10 <sup>3</sup>	<i>Penicillium</i> spp.	4,05 x 10 <sup>4</sup>	<i>Penicillium</i> spp.

Es importante el hecho de que mediante los análisis microbiológicos se verificó que el sustrato utilizado se mantuviera completamente inocuo, los cuales confirmaron que el mismo se mantuvo libre de microorganismos y otros agentes patógenos que pudieran interferir en el desarrollo del ensayo o confundirse con el agente de interés para la investigación.

Dadas las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo del patógeno se analizó el porcentaje de incidencia de la enfermedad asociada a las variables climáticas de precipitación y humedad relativa; encontrándose diferencias estadísticas en el efecto de las categorías de precipitación y de humedad relativa sobre la incidencia de la enfermedad. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Escalante y Farrera [25], quienes mostraron que *Phytophthora* alcanza su fase exponencial de crecimiento con valores de precipitación de aproximadamente 70 mm y humedad relativa entre 75% a 100%, aunado a temperaturas entre los 18,3°C a 23,3°C. Vaillant y Gómez [26] observaron que la persistencia de la enfermedad es baja cuando se presentan períodos largos de sequía y aumento de la temperatura, de manera tal que la manifestación de la enfermedad o

periodo de incubación se prolonga. A pesar de que en esta investigación se presentó alta incidencia, los síntomas de la enfermedad causados por el agente inoculado no alcanzaron estados severos como deterioro del tejido o muerte de las plantas, lo que en alguna medida se puede atribuir a las condiciones climáticas que prevalecieron durante el periodo de evaluación, las cuales favorecieron la infección, pero no el avance de la enfermedad, esto sumado al efecto que produce el tratamiento.

En este ensayo se logró demostrar cuatro efectos de tratamiento con respecto a la incidencia: el testigo presentó mayor incidencia de la enfermedad con respecto al resto de tratamientos (66,7% y 58,3% respectivamente), las dosis altas de los tratamientos 0-30-20 (T2), 0-48-40 (T4), 0-28-26 (T6) exhibieron medias bajas respecto a sus dosis bajas (55,76% y 60,83 respectivamente), la dosis alta de 0-28-26 (T6) mostró medias más bajas de incidencia con respecto a las dosis bajas (T7) (52,32% y 61,12% respectivamente), y finalmente, el testigo alcanzó una incidencia del 76% en la semana cuatro, mientras que el resto de los tratamientos con excepción del tratamiento 0-48-40 (T4) alcanzaron porcentajes de incidencia similares en la semana sexta.

Se han realizado estudios que comprueban que los fosfitos reducen de manera efectiva la incidencia de la podredumbre de raíz y corazón por ataque de *Phytophthora* sp. en cultivos hidropónicos de chile (*Capsicum annuum*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*), observando que, en el caso de los tratamientos con fosfitos, la incidencia fue igual o menor al 20%, mientras que en el testigo absoluto alcanzó el 100% [27]. Así mismo, Velandia *et al.* [8], al evaluar el efecto del fosfito de potasio sobre *Peronospora destructor* en cebolla (*Allium cepa*), determinaron que, al realizar aplicaciones de fosfito de potasio, la incidencia de la enfermedad se redujo entre el 20 y el 37% en 70 y 77 días después del trasplante. Estos resultados coinciden con los encontrados en este estudio, ya que se observó una reducción entre el 25 y el 50% de la incidencia de la enfermedad respecto al testigo (T1) en las primeras cuatro semanas de observación (28 días después de la inoculación).

Guest y Grant [17] indican que las aplicaciones con fosfitos reducen el crecimiento de *Phytophthora* sp. e inhiben la esporulación del mismo debido a que interrumpen procesos del metabolismo del hongo como la disminución de la cadena de polifosfato y la formación de ATP, provocando de esta manera una disminución en la producción de energía y consecuentemente un retraso en la manifestación de este patógeno. Daniel y Guest [18] indican que los fosfitos de potasio logran inducir una respuesta de defensa en la planta ante la invasión del hongo por medio de un aumento de la actividad citoplasmática dentro de la célula vegetal; una vez que las plantas son tratadas con fosfitos las células activan sus vías biosintéticas ligadas al sistema de defensa de la planta, como el fortalecimiento de la pared celular y la acumulación de altos niveles de fitoalexinas y compuestos fenólicos. Al respecto Jackson *et al.* [14] al inocular *Phytophthora* a plántulas de *Eucalyptus marginata*, determinaron que cuando las plantas son tratadas con fosfitos se elevó la concentración de enzimas involucradas en la defensa, específicamente fenil amoniacasa (PAL), Coenzima A-4 Ligasa (4-CL) y compuestos fenólicos; por su parte Nemostothy y Guest [16] observaron que las aplicaciones de fosfitos sobre plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) provocan el aumento de la actividad PAL, la acumulación de fitoalexinas y la deposición de lignina en la célula.

Los resultados obtenidos para los pesos frescos de la parte aérea y de la raíz de las plantas de piña indicaron diferencias estadísticas entre el tratamiento testigo (T1) con respecto al resto de tratamientos; mientras que, en la longitud de la raíz más prominente, el tratamiento 0-30-20 dosis baja (T3) y 0-28-26 dosis alta (T6) resultaron los tratamientos más sobresalientes para esta variable, como efecto de la aplicación de fosfitos de potasio. Cervera *et al.* [28] afirman que al aplicar fosfitos de calcio y de potasio en una dosis de 0,3% sobre aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Hass, cultivado en contenedores, algunas características agronómicas tales como número de hojas y densidad del sistema radicular mejoraron. Sin embargo, contrario a esta afirmación, Jackson *et al.* [14] determinó que al aplicar fosfitos sobre *Eucalyptus marginata* inoculados con *Phytophthora cinnamomi* las plantas exhibían menos crecimiento o extensión de las raíces en comparación con su testigo absoluto, lo cual se atribuyó al esfuerzo que realiza la planta por recubrir y proteger las puntas de las raíces, lo que repercute en menor desarrollo del sistema radicular.

Con el análisis de conglomerados se logró aislar al tratamiento testigo (T1), con las medias más bajas en las cuatro variables de crecimiento y la más alta en incidencia; mientras que el grupo conformado por los tratamientos 0-30-20 (T3) y 0-28-26 (T7) ambos en dosis bajas, exhibieron los mejores resultados, de manera que se evidencia estadísticamente el efecto beneficioso de la aplicación de fosfitos de potasio sobre las variables evaluadas. Al respecto Guest y Grant [17] y McDonald *et al.* [29], mencionan que se ha encontrado que cuando las plantas son tratadas con fosfitos, estos se mueven por el sistema vascular de forma acropetala y basipetala, acumulándose en los diferentes órganos de la planta, principalmente en los tejidos sumideros; sin embargo, parece ser que una vez dentro de la célula vegetal, la planta no es capaz de metabolizar el fosfito, el cual es persistente dentro del organismo vegetal, disminuyendo gradualmente como resultado del crecimiento de la planta o la caída de órganos, como las hojas.

Aunado a lo anterior, cuando se aplica vía radicular generalmente la planta absorbe el fósforo en forma de fosfato, por lo que aprovechar el fosfito como fertilizante no sucede a corto plazo, sino que el mismo debe pasar por un proceso de oxidación

de fosfito a fosfato que puede tardar entre cuatro a doce meses [30], [29]. Por esta razón es que el uso de fosfito como fuente fertilizante ha sido cuestionado y los autores recomiendan el uso de fosfitos en conjunto con un manejo regular de fertilización.

No obstante, no se debe dejar de lado el potasio que contiene el fosfito de potasio, ya que es un elemento fundamental en una serie de procesos fisiológicos que se desarrollan en la planta. De acuerdo con Melgar *et al.* [31] y Tasistro [32], dentro de las funciones que cumple el potasio en la planta se destaca que regula la presión osmótica y al menos 60 sistemas enzimáticos propios del crecimiento, participa en los procesos fotosintéticos, favorece la translocación de fotoasimilados, permite el balance de cargas (por ejemplo el movimiento del nitrógeno en forma de nitrato dentro de la planta), participa en el mantenimiento de la turgencia, promueve la síntesis de proteínas, además de ser esencial en la activación de enzimas necesarias para la síntesis de ATP. Sumado a esto, los autores afirman que la fotosíntesis tiene una respuesta variable ante diversos niveles de potasio, ya que la asimilación de CO<sub>2</sub> aumenta en función de la concentración de potasio que presente el tejido, debido a la enzima encargada de catalizar dicha asimilación.

Jarmusz-kiewicz *et al.* [33] y Checchetto *et al.* [34] afirman que el potasio cumple un rol fundamental en la actividad de los canales mitocondriales, volviéndolo esencial porque la respiración en la mitocondria influye en la fotorespiración y, consecuentemente, en la eficiencia fotosintética.

Existen evidencias de que los fosfitos de potasio mejoran características agronómicas en algunos cultivos. Por ejemplo, Ferraris y Couretot [35], al aplicar fosfitos de potasio, magnesio y cobre sobre plantas de soja (*Glycine max*), encontraron que los tratamientos con fosfitos de cobre y potasio son los más sobresalientes, donde el tratamiento con fosfitos de potasio superó al testigo y a los demás tratamientos en rendimiento y número de vainas por planta. Resultados similares obtuvieron Salamanca y Alvarado [36], quienes con aplicaciones de la proteína harpin y fosfitos de potasio sobre plantas de tomate, observaron que el tratamiento con aplicaciones de fosfitos de potasio logró los mejores resultados en número de frutos y rendimiento por planta, además de obtener una buena respuesta

en la altura de la planta y provocar una mediana resistencia ante el mildiu polvoso (*Oidium* sp.).

Lo anterior concuerda con los resultados de este estudio, donde se demuestra que las aplicaciones de fosfitos de potasio en las diferentes dosis favorecieron el desarrollo de las plantas de piña tratadas. Se descarta que existiera un aporte nutricional del fósforo ya que este no está disponible a corto plazo, por lo que nutricionalmente este producto no puede ser utilizado como fuente única de suministro para la planta, aunado a que las cantidades que aportan no son suficientes para llenar los requerimientos de fósforo y potasio. Por otro lado, una nutrición deficiente en el cultivo provoca que la eficiencia en la labor que cumple el fosfito se vea reducida [30], [12].

Aun cuando en este ensayo no se aplicó ningún tipo de fertilización, las plantas no presentaron ningún síntoma observable de deficiencia relacionados con los macronutrientes principales N, P, K. Al respecto Bertsch [37] menciona que durante los primeros tres meses de edad, las plantas de piña absorben estos nutrientes en pequeñas cantidades en comparación con las absorbidas durante el resto del ciclo del cultivo; incluso en el tercer mes de edad suele verse una disminución en la absorción de nutrientes, lo cual concuerda con Bartholomew *et al.* [1], quienes mencionan que a partir del cuarto mes de edad los requerimientos de nitrógeno y potasio aumentan por el crecimiento de las plantas de piña hasta la inducción floral.

De acuerdo con Py *et al.* [38] y Bartholomew *et al.* [1], plantas de piña con deficiencias de potasio muestran un crecimiento reducido, hojas más cortas y estrechas y puntos necróticos en la lámina foliar; mientras que los síntomas visuales por deficiencias de fósforo no son frecuentes [1], aunque pueden notarse en hojas maduras una desintegración del tejido de la punta de la hoja y sus márgenes, seguido de una línea clorótica o rojiza-amarillenta, y en hojas más jóvenes, una tonalidad verde oscuro con pigmentación rojiza. Las deficiencias de nitrógeno, hierro y manganeso se expresan con un amarillamiento foliar en diferentes tonalidades, variando la ubicación de la hoja y la manera en que se observa, ya sea en franjas, zonas moteadas o líneas diagonales [38], [1]. Con base en lo anterior, se confirma que los síntomas observados en las plantas de este ensayo no corresponden a la expresión de deficiencia de

nutrientes, ya que la clorosis observada fue general en las hojas centrales, y hubo un límite del avance hasta aproximadamente media lámina foliar.

Aunado a ello, el análisis foliar de la hoja D no evidenció deficiencias de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio, según sus niveles críticos [22]. Aunque otros de los elementos menores se encontraron en el límite inferior o ligeramente por debajo del nivel crítico, ello no supone que se dé una deficiencia en la planta, ya que algunos de estos elementos necesitan de otros factores para mostrarse deficientes, tales como suelos con pH superior a 6,0 o una edad más avanzada del cultivo (etapa de la diferenciación floral, por ejemplo) [1].

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que:

- Se evidenciaron diferencias estadísticas en el porcentaje de incidencia de *Phytophthora* sp. entre los tratamientos con fosfitos de potasio frente a las plantas no tratadas.
- El tratamiento 0-28-26 (T6) dosis alta presentó la menor incidencia de *Phytophthora* sp. en la semana cuatro después de la inoculación, lo cual demostró que la plantación del tratamiento retrasó el inicio del desarrollo de la enfermedad en un 52% con respecto al testigo.
- Se determinó que los tratamientos 0-30-20 (T3) dosis baja y 0-28-26 (T7) dosis baja presentaron las medias más altas ( $p < 0,05$ ) en las variables peso fresco de la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso fresco de la raíz, con respecto a los otros tratamientos evaluados, siendo éstos los tratamientos más promisorios.
- Los fosfitos de potasio evaluados ejercieron un control efectivo sobre el agente causal *Phytophthora* sp. y a su vez condujeron a la mejora de las variables de crecimiento medidas en esta investigación, específicamente en plantas de piña MD-2.
- Los resultados del análisis químico de suelo y análisis foliar mostraron que los fosfitos de potasio aplicados no provocaron un efecto nutricional en las plantas. De acuerdo con la literatura, estos requieren de un periodo

de tres a doce meses para oxidarse y ser absorbidos por la planta.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen al Laboratorio de Fitopatología y Biocontroladores del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el financiamiento otorgado para la ejecución de esta investigación.

## Bibliografía

- [1] D.P. Bartholomew, R.E. Paull, K.G. Rohrbach, The Pineapple: Botany, Production and Uses. Cabi Publishing Series, 2003.
- [2] Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica (MAG): "Cadena Agroalimentaria del Cultivo de Piña en Distrito de Chires de Puriscal," 2007. [en línea]. Disponible <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00059.pdf>. [Consultado: Enero. 22, 2016].
- [3] R.A. Garita, La Piña. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica, 2014.
- [4] C. Espinosa-Rodríguez, D. Nieto-Angel, C. De León-García de Alba, A. Villegas-Monter, L.A. Aguilar-Pérez, V. Ayala-Escobar, "Etiología de la pudrición del cogollo de la piña (*Ananas comosus* L. Merrill) cultivar MD2 en Isla, Veracruz, México," *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 33, no. 1, pp. 104-115, 2015.
- [5] A. Hernández, B. Lina, C. Rosón, C. Cazola, C. "Hongos y oomycetes fitopatógenos en viveros de piña *Ananas comosus* (L.) Merrill en Ciego de Ávila, Cuba," *Fitosanidad*, vol.15, no 3, Set., pp.137-142, 2011.
- [6] M.I. Cappa, "Control de *Phytophthora* sp. en piña (*Ananas comosus* L. Merr.) Híbrido MD2, diagnóstico y servicios realizados en Finca San Luis - El Manguito, ubicada en Santo Domingo Suchitepéquez, Guatemala," Lic. Tesis, Universidad de San Carlos, Guatemala, 2014.
- [7] Proyecto Gef-repcar, "Validación de un manejo alternativo de pudre seco (*Phytophthora* sp.) y pudre bacteriana (*Erwinia* sp.) en el cultivo de piña. Zona norte de Costa Rica," 2009. [en línea]. Disponible: <http://cep.unep.org/repcar/proyectos-demostrativos/costa-rica-1/publicaciones-proagroin/protocolo-pudres.pdf>. [Consultado: Nov, 4, 2015].
- [8] J. Velandia, S.E. Viteri, N.J. Rubio, F.O. Tovar. "Efecto del Fosfito de Potasio en Combinación con el Fungicida Metalaxyl + Mancozeb en el Control de Mildeo Velloso (*Peronospora destructor* Berk) en Cebolla de Bulbo (*Allium cepa* L.)," *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 65, no. 1, pp. 6317-6325, 2012.
- [9] H. Lozoya, A. Hernández, "Registered and section 18 compounds for control of late blight (*Phytophthora*

- infestans* Mont. De By) in potatoes in Toluca, México.” *Agrociencia*, vol. 35, no. 4, Jul-Aug., pp. 451-458, 2001.
- [10] M. Ezziyyani, M.E. Requena, C. Pérez-Sánchez, M.E. Candela, “Efecto del sustrato y la temperatura en el control biológico de *Phytophthora capsici* en pimiento (*Capsicum annuum* L.),” *Anales de Biología*, no. 27, pp.119-126, 2005.
- [11] E. Fernández-Herrera, M. Acosta-Ramos, V.M. Pinto, “Efecto de aplicaciones de fungicidas sobre la incidencia de la marchitez (*Phytophthora capsici* Leo.) del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero,” *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 25, no. 2, pp.186-189, 2007.
- [12] C.J. Lovatt, R.L. Mikkelsen, “Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do?,” *Better Crops With Plant Food*, vol. 90, no. 4, pp. 11-13, 2006.
- [13] F.C. Gómez-Merino, L. Trejo-Tellez, “Biostimulant activity of phosphite in horticulture,” *Scientia Horticulturae*, vol. 196, pp.82–90, 2015.
- [14] T.J. Jackson, T. Burguess, I. Colquhoun, G.E. Hardy, “Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*,” *Plant Pathology*, vol. 49, pp. 147-154, 2000.
- [15] R.M. Navarro, L. Gallo, E. Sánchez, P. Fernández, A. Tapero, “Efecto de distintas fertilizaciones de fósforo en la resistencia de brinzales de encina y alcornoque a *Phytophthora cinnamomi* Rands,” *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, vol.13, no. 3, pp. 550-558, 2004.
- [16] G.S. Nemostothy, D.I. Guest, “Phytoalexin accumulation, phenylalanine ammonia lyase activity and ethylene biosynthesis in fosetyl-Al treated resistant and susceptible tobacco cultivars infected with *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*,” *Physiological and Molecular Plant Pathology*, vol. 37, no. 3, Sep., pp. 207-219, 1990.
- [17] D. Guest, B. Grant, B. “The complex action of phosphonates as Antifungal agents,” *Biological Reviews*, vol. 66, no. 3, May, pp. 159-187, 1991.
- [18] R. Daniel, D. Guest, “Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora*-challenged *Arabidopsis thaliana*,” *Physiological and Molecular Plant Pathology*, vol. 67, no. 3-5, Sep., pp.194-201, 2006.
- [19] M.C. Lobato, M.F. Machinandiaarena, C. Tambascio, G. Dosio, G; D. Caldiz, G. Daleo, A. Andreu, F. Olivieri, “Effect of foliar applications of phosphite on post-harvest potato tubers,” *European Journal of Plant Pathology*, vol. 130, no. 2, Jun., pp. 155-163, 2011.
- [20] Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica (IMN): “Boletín Meteorológico Mensual,” 2015. [en línea]. Disponible: [http://www.imn.ac.cr/boletin\\_meteo/bmetoactual.pdf](http://www.imn.ac.cr/boletin_meteo/bmetoactual.pdf). [Consultado: Oct. 21, 2016].
- [21] J.A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, C.W. Robledo, InfoStat. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, 2017.
- [22] G. Meléndez, E. Molina, “Tabla de interpretación de análisis foliar en piña. Laboratorio de Suelos y Foliar,” San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, 2002.
- [23] M.E Sánchez, S. Andicoberry, A. Trapero, “Patogenicidad de *Phytophthora* spp. causantes de podredumbre radical de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en viveros forestales,” *Boletín Sanidad Vegetal, Plagas*, vol. 30, pp. 385-401, 2004.
- [24] A. Arauz, E. Ortega, “Plagas de importancia durante las etapas fenológicas del cultivo de la piña (*Ananas comosus*)”. Curso de entomología agrícola aplicada: Especialización en cultivos tropicales. Chiriquí, Panamá, 2015.
- [25] M. Escalante, R. Farrera, “Epidemiología del tizón tardío (*Phytophthora infestans* mont de bary) de la papa en zonas productoras del Estado Táchira, Venezuela,” *Bioagro* vol. 16, no. 1, pp. 47-54, 2004.
- [26] D. Vaillant, G. Gómez, “Incidencia de *Phytophthora nicotianae* y *Phytophthora infestans* en Cuba,” *Agricultura Técnica en México*, vol. 35, no. 2, Apr-Jun., pp. 219-223, 2009.
- [27] H. Förster, J.E. Adaskaveg, D.H. Kim, M.E. Stanghellini, “Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic Culture,” *Plant Disease*, vol. 82, no. 10, Oct., pp.1165-1170, 1998.
- [28] M. Cervera, R. Cautín, G. Jeria, “Evaluación del fosfito cálcico, potásico y magnésico en el control de *Phytophthora cinnamomi* en paltos (*Persea americana mill*) cv. hass plantados en contenedor”. In Proceedings VI World Avocado Congress, Viña Del Mar, Chile, 2007, pp. 8.
- [29] A. McDonald, B. Grant, W. Plaxton, “Phosphite (phosphorous acid): Its Relevance in the Environment and Agriculture, and Influence on the Plant Phosphate Starvation Response,” *Journal of Plant Nutrition*, vol. 24, no. 10, pp. 1505-1519, 2001.
- [30] F. Bertsch, F. Ramírez, C. Henríquez, C. “Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar”. In XI Congreso Ecuatoriano de la ciencia del Suelo. Quito, Ecuador, 2008, pp. 17.
- [31] R. Melgar, H. Magen, P. Imas, “Rol del potasio en la producción agrícola”. In Seminario El Potasio en la Agricultura, desde la tierra a su mesa, Mendoza, Argentina, 2011, pp. 71.
- [32] A. Tasistro, A. “Aspectos básicos del manejo del potasio”, International Plant Nutrition Institute, México, Feb 9, 2015.
- [33] W. Jarmuszkiewicz, K. Matkovic, I. Koszela-Piotrowska, “Potassium channels in the mitochondria

- of unicellular eukaryotes and plants," *FEBS Letters*, vol. 584, pp. 2057-2062, 2010.
- [34] V. Checchetto, E. Teardo, L. Carraretto, L. Leanza, I. Szabo, "Physiology of intracellular potassium channels: a unifying role as mediators of counterion fluxes?," *Bioenergetics*, vol. 1857, no. 8, Aug., pp. 1258-1266, 2016.
- [35] G.N. Ferraris, L.A. Couretot. Tratamientos foliares con aplicación de fosfitos en soja. Argentina, 2012-2013.
- [36] M. Salamanca, A. Alvarado, "Efecto de la proteína Harpin y el fosfito de potasio en el control del mildio polvoso (*Erysiphe polygoni* D.C.) en tomate, en Sutamarchán (Boyacá)," *Ciencia y Agricultura*, vol. 9, no. 2, Jul-Dec., pp. 65-75, 2012.
- [37] F. Bertsch, Absorción de nutrimentos por los cultivos, San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 2003.
- [38] C. Py, J.J. Lacoëuilhe, C. Teisson, The pineapple Cultivation and uses. Paris: France, G.P. Maisonneuve et Larouse, 1987.

De acuerdo con la norma IEEE, este documento debe citarse:

K. García Cortés, M. Camacho Calvo, X. Mata Granados, "Efecto de fosfitos de potasio sobre *Phytophthora* sp. y parámetros de crecimiento en plantas de piña (*Ananas comosus* var. *comosus*)", *Revista AgrolInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 1, no. 1, pp.10-24, 2018, DOI: 10.18860/rath.v1i1.3923.