

Viviana Alexandra Carvajal-Salazar¹ 

<https://orcid.org/0000-0002-0930-0603>

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Carretera México-Texcoco, México. viviana.carvajal.salazar@gmail.com

Luis Alberto Agudelo² 

<https://orcid.org/0000-0002-1249-2239>

² Consultor Independiente. Manizales, Caldas, Colombia. agudeloalberto40@gmail.com

Gladys Cardona-Cortés³ 

<https://orcid.org/0000-0002-4371-5917>

³ Instituto Colombiano Agropecuario. Manizales, Caldas, Colombia. gladys.cardona@ica.gov.co

Bertha Lucia Castro-Caicedo⁴ 

<https://orcid.org/0000-0003-3207-1834>

⁴ Consultor Independiente. Manizales, Caldas, Colombia. bluciacaastro@gmail.com

Mauricio Salazar⁵ 

<https://orcid.org/0000-0002-2698-1711>

⁵ Investigación Agrícola (Cacao y Chocolate), Casa Luker, Manizales, Colombia. msalazar@casaluker.com.co

Álvaro León Gaitán-Bustamante⁶ 

<https://orcid.org/0000-0001-5093-0677>

⁶ Centro Nacional de Investigación del Café. Manizales, Caldas, Colombia. alvaro.gaitan@cafedecolombia.com

Luis Fernando Contreras-Cruz⁷ 

<https://orcid.org/0000-0003-4226-1121>

⁷ Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de Horticultura. Carretera México-Texcoco, México. lufecon@gmail.com

Guillermo Andrés Enciso Maldonado⁸ 

<https://orcid.org/0000-0002-9528-7627>

⁸ Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de Horticultura. Carretera México-Texcoco, México. gui77eenciso@gmail.com

Resumen

En Colombia son comunes las epidemias causadas por *Rosellinia spp.*, provocando pérdidas de cosechas en cacao. El objetivo fue evaluar tratamientos alternativos para el manejo de enfermedades de suelo en el cultivo de cacao. Se realizó un experimento en Palestina, Caldas, Colombia, en árboles de cacao con 4 años. Los tratamientos fueron T1) Manejo convencional; T2) Aplicación foliar de inductores de resistencia T3) Combinación del T2 + *Trichoderma spp.*; T4) *Bacillus subtilis* + *Trichoderma spp.*; T5) Testigo. Se evaluó la severidad de los árboles utilizando una escala de seis grados: G0 = árbol sano; G1 = clorosis y amarillamiento de pocas hojas; G2 = 20% de amarillamiento en hojas y en yemas apicales; G3 = árbol con 50% de hojas marchitas; G4 = árbol con 70% de hojas marchitas; G5 = árbol muerto. Para el análisis estadístico se modeló las categorías observadas con

una distribución multinomial. El modelo estadístico usado fue el *logit* acumulativo con los tratamientos como la covariable y se estimaron los parámetros a un nivel de significancia del 5%. El T2 mostró que el 93% de árboles se mantuvieron sanos, mientras que con T3 el 14% de los árboles mostraron síntomas de clorosis y amarillamiento de pocas hojas y el 12% murió, evidenciando un incremento del progreso de la enfermedad. Los tratamientos T1 y T4 mostraron valores de probabilidad similares al testigo (T5) para todas las categorías, lo que podría indicar que estos tratamientos tienen una baja respuesta en el control de la enfermedad.

Palabras Claves: *Bacillus*. *Theobroma cacao* L. *Trichoderma*. Control biológico. Enfermedades transmitidas por el suelo.

Área del conocimiento: Ciencias Agrícolas.

Correo de Correspondencia: gui77eenciso@gmail.com

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY

Fecha de recepción: 10/01/2022 Fecha de Aprobación: 30/06/2022

Página Web: <http://publicaciones.uni.edu.py/index.php/rseisa>

Citación recomendada: Carvajal-Salazar, V. A.; Agudelo, L. A.; Cardona-Cortés, G.; Castro-Caicedo, B. L.; Salazar, M.; Gaitán-Bustamante, A. L.; Contreras-Cruz, L. F.; Enciso Maldonado, G. A. (2022). Alternativas para el manejo de pudriciones de raíz del cacao causada por *Rosellinia spp.* Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 16(16): e2022015

Abstract

Epidemics caused by *Rosellinia* spp. are common in Colombia, causing cocoa crop losses. The aim was to evaluate alternative treatments for the management of soil diseases. An experiment was carried out in Palestina, Caldas, Colombia, on 4-year-old cocoa plants. The treatments were T1) Conventional management; T2) Foliar application of resistance inducers T3) Combination of T2 + *Trichoderma* spp.; T4) *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* spp.; T5) Control. Tree severity was evaluated using a six-grade scale: G0 = healthy tree; G1 = chlorosis and yellowing of few leaves; G2 = 20% yellowing of leaves and apical buds; G3 = tree with 50% withered leaves; G4 = tree with 70% withered leaves; G5 = dead tree. For the statistical analysis, the observed categories were modeled with a multinomial distribution. The statistical model used was the cumulative logit with the treatments as the covariate and the parameters were estimated at a significance level of 5%. T2 showed that 93% of trees remained healthy, while with T3 14% of trees showed symptoms of chlorosis and yellowing of few leaves and 12% died, showing an increase in the progress of the disease. Treatments T1 and T4 showed similar probability values to the control (T5) for all categories, which could indicate that these treatments have a low response in disease control.

Keywords: *Bacillus*. *Theobroma cacao* L. *Trichoderma*. Biological control. Soilborne diseases.

Introducción

La producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia se ve constantemente afectada por la ocurrencia de enfermedades del fruto como la monilia (*Moniliophthora roreri*) y de la mazorca (*Phytophthora infestans*), provocando una disminución en el rendimiento (Castañeda et al., 2021). Por otro lado, los hongos del género *Rosellinia* son habitantes naturales del suelo que causan pudriciones en la raíz, así como también una enfermedad conocida como llaga estrellada. Estos patógenos son parásitos facultativos que sobreviven en restos de cultivo, mientras que en su fase parasítica el micelio se multiplica abundantemente sobre la superficie del huésped en donde produce una masa algodonosa que está formada por el micelio del hongo (Aranzazu, 1997a). Las pudriciones se propagan principalmente por contacto de raíces entre árboles enfermos y sanos. Además, los árboles muertos forman focos que se extienden a medida que incrementa la densidad de inóculo (Gaitán et al., 2013).

El diagnóstico oportuno de la llaga estrellada es determinante para el manejo del cultivo de cacao,

debido a que cuando se manifiestan los síntomas (amarillamiento de hojas, marchitamiento, defoliación, secamiento de ramas) el patógeno ya ha colonizado los tejidos vasculares y ha destruido gran parte del sistema radicular, lo que lleva a la reducción del ciclo productivo y muerte de los árboles (Aranzazu, 1997a).

En Colombia son comunes las epidemias causadas por *Rosellinia* spp., provocando pérdidas difíciles de estimar, especialmente por la infestación de los suelos que los inhabilitan para su uso por un largo período (ten Hoopen y Krauss, 2006). Por otro lado, el manejo de enfermedades de plantas en Colombia se caracteriza por un uso mínimo del control químico y una promoción del manejo integrado que incluye alternativas agronómicas como la solarización de suelos para las enfermedades transmitidas por el suelo (Cadena-Gómez y Gaitán-Bustamante, 2006). Para el manejo de la llaga estrellada, hay varias estrategias, primero, se debe evitar cultivar en suelos con antecedentes de prevalencia de *Rosellinia* spp., sin embargo, en el caso de que ocurra la enfermedad, se debe remover el suelo y también, se deben extraer los árboles que rodean el foco, además se deben eliminar los residuos vegetales y tratar el suelo mediante solarización o aplicación de controladores biológicos y proteger a las raíces de los árboles nuevos con micorrizas (Aranzazu, 1997b).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de tratamientos alternativos para el manejo de pudriciones de raíz ocasionadas por *Rosellinia* spp. en un campo de producción de cacao en Caldas, Colombia.

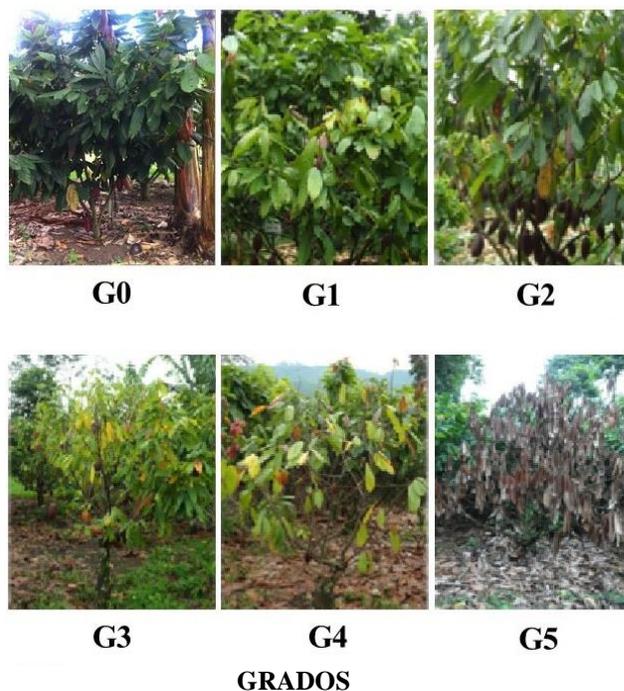
Materiales y Métodos

El estudio se estableció en el Lote SAF IV Fase III, con un área de 1,13 has, dentro de la Granja Luker ubicada en la vereda Santaguada del municipio de Palestina (Latitud 5° 4' N, Longitud 75° 41' W) Caldas a una altura de 1058 m.s.n.m. con precipitación anual promedio de 2200 mm, con brillo solar de 2200 horas, humedad relativa de 75% y temperatura promedio de 23 °C. Los suelos dentro de la granja son derivados de cenizas volcánicas en los cuales se cultiva cacao desde 1964, con un área de 22,2 ha, bajo el sistema de siembra en triángulo con una distancia de 3 metros entre árboles por 3 metros entre surcos. En las parcelas de la Granja Luker la presencia de pudriciones por *Rosellinia* spp. se reporta desde mediados de 1980.

El experimento se estableció en un lote de árboles de cacao tipo trinitario y forastero con 4 años, durante marzo de 2014 a marzo de 2015. Se evaluaron 180 árboles que tenían un promedio de incidencia de la enfermedad de 4,2 %; 36 plantas por tratamiento. Las

alternativas de manejo fueron: T1) Manejo convencional (eliminación del árbol foco con extracción de raíces, aplicación de cal agrícola en el foco y repique del suelo en la semicircunferencia de los árboles aledaños; T2) Aplicación foliar de inductores de resistencia Q-Complex 2 L ha⁻¹ + Q-Clean 2 L ha⁻¹; T3) Combinación del T2 + Aplicación en *drench* en la circunferencia de la copa del árbol con Tribiol a 500 g ha⁻¹ (5 x 10⁹ esporas g⁻¹ de *Trichoderma harzianum* T. *viridae* y T. *koningii*, Bio Protección S. A. S, Colombia); T4) *Bacillus subtilis* + Tribiol; T5) Testigo sin aplicación de insumos ni realización de prácticas culturales. Las aplicaciones de los tratamientos T2, T3 y T4 se realizaron a primera hora de la mañana con intervalo de aplicación de 15 días durante un periodo de tres meses, posteriormente se dejó de aplicar tratamientos por un periodo de tres meses y, así consecutivamente hasta completar un año. La medición de la severidad se realizó utilizando la escala diagramática de seis grados (G) de Agudelo y Aranzazu (datos no publicados), donde G0 = árbol sano; G1 = clorosis y amarillamiento de pocas hojas; G2 = 20% de amarillamiento en hojas y en yemas apicales; G3 = árbol con 50% de hojas marchitas; G4 = árbol con 70% de hojas marchitas; G5 = árbol muerto (Figura 1)

Figura 1. Escala diagramática de severidad de pudriciones de raíz por *Rosellinia spp.* en cacao (Agudelo y Aranzazu).



Con base en los seis niveles de severidad (categorías ordenadas) se procedió a modelar las categorías

observadas con una distribución multinomial, es decir, la variable respuesta representa el número de árboles en alguna de las seis categorías. Además, se estudiaron 5 tratamientos. El modelo estadístico usado fue el *logit* acumulativo con los tratamientos como la covariable y se estimaron los parámetros del modelo usando la librería VGM del *software R* y se usó un nivel de significancia del 5%.

Resultados

En la Tabla 1 se muestran las probabilidades estimadas de que el árbol corresponde a uno de los seis niveles, dado que se aplicó algunos de los 5 tratamientos, donde se puede ver que es muy probable que el árbol muestre mayor sanidad al aplicar el T2, mientras que la probabilidad de que los árboles sanen con los demás tratamientos es menor que 86%. En cuanto al T3, la probabilidad de que el árbol sane es la más baja, observándose que 14% de los árboles mostraron síntomas de clorosis y amarillamiento de pocas hojas (G1) y 12% de los árboles murieron (G5), evidenciando un incremento del progreso de la enfermedad. La composición del T3 pudo desfavorecer a los controladores biológicos permitiendo colonizar al patógeno sin restricciones. Los tratamientos T1 y T4 mostraron valores de probabilidad similares al testigo (T5) para todas las categorías, lo que podría indicar que estos tratamientos tienen una baja respuesta en el control de la enfermedad. Según Aranzazu (1997b), el control convencional además de ser costoso también es ineficiente, lo cual se observó en este trabajo. Por otro lado, el uso de controladores biológico normalmente es muy efectivo bajo condiciones *in vitro*, sin embargo, la capacidad potencial de ejercer un control a nivel de campo puede ser influenciada por las genéticas de las especies utilizadas para el biocontrol y su efecto sobre las poblaciones de microorganismos existentes en el sistema suelo-planta; además, las condiciones climáticas y las características del genotipo vegetal en estudio son factores que pueden influir negativamente en la capacidad de los microorganismos benéficos sobre los patógenos de plantas en condiciones de campo (Velázquez y Ocampos, 2016; Pérez y García-Godos, 2019).

Tabla 1. Probabilidades estimadas de que el árbol corresponde a uno de los seis niveles.

| Tratamiento | G0 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| T1 | 0,86 | 0,07 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| T2 | 0,93 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| T3 | 0,70 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,12 |
| T4 | 0,83 | 0,08 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |
| T5 | 0,82 | 0,09 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |

| CV (%) | 0,2 | 2,54 | 2,70 | 0,00 | 3,74 | 1,16 |
|--------|-----|------|------|------|------|------|
|--------|-----|------|------|------|------|------|

Conclusión

El tratamiento a base de inductores de resistencia (T2) favoreció en el aumento de árboles de cacao sanos, mientras que el tratamiento basado en inductores de resistencia + aplicación en *drench* (T3) fue el menos efectivo en la manutención de plantas sanas, por lo que podría suponerse una interacción negativa entre la combinación de productos utilizadas para dicho tratamiento. El tratamiento convencional y la aplicación de controladores biológicos (T4) mostraron una respuesta similar a la del tratamiento testigo. Vale destacar que casi no existen metodologías estandarizadas para la inoculación de suelo y/o plantas con patógenos de suelo para cuantificar su resistencia, por lo tanto, se recomienda generar nuevas propuestas para realizar trabajos de investigación que permitan la obtención de datos cuantitativos acerca de este tipo de observaciones.

Referencias Bibliográficas

Aranzazu, H. (1997a). Epidemiología y manejo de la llaga estrellada (*Rosellinia pepo*) en cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Aranzazu, H. F. (1997b). Control de la llaga estrellada en cacao causada por *Rosellinia pepo* Pat. *Fitopatología Colombiana*, 21, 5-9.

Cadena-Gómez, G., Gaitán Bustamante, A. (2006). Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. Manejo

Integrado de Plagas y Agroecología Número 77 (Abril 2006).

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6479>

Castañeda, G. A. A., Serna, D. Y. C., Gáfarro, M. B., Nopsa, J. F. H., Morales, M. Á. P. (2021). Manual técnico para la producción de semilla de cacao en vivero para los Santanderes y Boyacá. Editorial AGROSAVIA.

https://www.agrosavia.co/media/11522/ver_documento_36615.pdf

Gaitán, A. L., Villegas, C., Rivillas, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2013). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo.

Pérez, D., & García-Godos, P. (2019). Identificación del agente causal del marchitamiento en *Caesalpinia spinosa* tara y el efecto antagónico de aislados de *Bacillus spp.* y *Trichoderma sp.* *Ecología Aplicada*, 18(1), 51-57.

<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1306>

ten Hoopen, G. M., & Krauss, U. (2006). Biology and control of *Rosellinia bunodes*, *Rosellinia necatrix* and *Rosellinia pepo*: a review. *Crop protection*, 25(2), 89-107. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.009>

Velázquez, A. D. S., & Ocampos, C. J. G. (2016). Control biológico de *Rosellinia sp.* causante de la muerte súbita en macadamia (*Macadamia integrifolia*) con aislados de *Trichoderma spp.* *Investigación Agraria*, 18(2), 77-86.

<https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/306>