

IDENTIFICACIÓN DE AGENTES CAUSALES DE LA PUDRICIÓN SECA DE *Agave potatorum* Zucc EN VIVERO

IDENTIFICATION OF CAUSAL AGENTS OF DRY ROT OF *Agave potatorum* Zucc IN NURSERY

§Álvaro Zuriel Bailón-Ortiz^{ORCID}, Manuel Jesús Amábilis-Sánchez^{ORCID}

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán 71230, Oaxaca, México. §Autor de correspondencia: (abailono2300@alumno.ipn.mx).

RESUMEN

Actualmente no se han identificado los agentes causales asociados a la pudrición seca de *Agave potatorum* Zucc en la etapa de vivero. En diversas especies de *Agave* se han identificado cepas de hongos de los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phoma*, *Botryodiplodia*, *Cercospora*, *Aspergillus* y la bacteria *Dickeya chrysanthemi* causando diversas enfermedades. Debido a la importancia de la especie en el estado de Oaxaca y su alta demanda, el objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico fitosanitario de la pudrición seca de *A. potatorum* en la etapa de vivero en el distrito de Sola de Vega, e identificar los principales daños y los agentes causales asociados con bases morfológicas. Se midió incidencia, severidad y mortalidad de las plantas, se aislaron los agentes causales y se purificaron por el método de cultivos monospóricos. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y pruebas de medias (Duncan, $\alpha = 0.05$). La incidencia fue semejante en los viveros diagnosticados; sin embargo, la severidad y mortalidad tuvieron valores más altos en el vivero ubicado en Santa María Sola, los menores valores de mortalidad se encontraron en la comunidad de Quialela. Se aislaron cinco cepas asociadas a la enfermedad de las cuales tres presentaron características morfológicas del género *Fusarium* y dos del género *Alternaria*. La cepa 2 CRCH perteneciente al género *Fusarium* tuvo mayor presencia en los tejidos radicales y del tallo de las plantas enfermas y la cepa 4 CRCH tuvo mayor presencia en los daños foliares.

Palabras clave: *Alternaria*, *Fusarium*, incidencia, maguey mezcalero, mortalidad, severidad.

ABSTRACT

Currently, the causal agents associated with dry rot of *Agave potatorum* Zucc at the nursery stage have not been identified. Fungal strains of the genera *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phoma*, *Botryodiplodia*, *Cercospora*, *Aspergillus* and the bacterium *Dickeya chrysanthemi* have been identified in various species of *Agave* causing various diseases. Due to the importance of the species in the state of Oaxaca and its high demand, the objective of the present work was to carry out a phytosanitary diagnosis of dry rot of *A. potatorum* at the nursery stage in the district of Sola de Vega, and to identify the main damages and the causal agents associated with morphological bases. Incidence, severity and mortality of the plants were measured, and the causal agents were isolated and purified by the monosporic culture method. Data were analyzed by analysis of variance and mean tests (Duncan, $\alpha = 0.05$). Incidence was similar in the diagnosed nurseries; however, severity and mortality had higher values in the nursery located in Santa María Sola, the lowest mortality values were found in the community of Quialela. Five strains associated with the disease were isolated, three of which showed morphological characteristics of the genus *Fusarium* and two of the genus *Alternaria*. Strain 2 CRCH belonging to the genus *Fusarium* had a greater presence in root and stem tissues of

diseased plants and strain 4 CRCH had a greater presence in foliar damage.

Index words: *Alternaria*, *Fusarium*, incidence, maguay mezcalero, mortality, severity.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* es endémico de América y cuenta con alrededor de 210 especies en el mundo; México es el país con mayor riqueza de especies debido a que dentro de su territorio se encuentran alrededor de 159, de las cuales 129 son endémicas (Giraldo-Cañas, 2020; García-Mendoza, Franco-Martínez y Sandoval-Gutiérrez, 2019). El estado de Oaxaca cuenta con alrededor de 61 especies y 15 de ellas son endémicas (García-Mendoza y Meave, 2011).

Las especies del género *Agave* cuentan con una gran importancia en la vida humana, ya que desde tiempos inmemorables se han usado como alimento, material para construcción, fibras, medicina tradicional, cercas vivas y en la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas (Corona-Romero, Coronado-Juárez y Madrigal-Gómez 2022; Hernández-Castro et al., 2021; Delgado-Lemus, Casas & Téllez, 2014), y actualmente se reportan alrededor de 70 formas de uso identificadas. Se estima que, de las especies existentes en el país, entre 50 y 53 son utilizadas en la elaboración de mezcal (Corona-Romero et al. 2022; Delgado-Lemus et al. 2014), procedentes ya sea de poblaciones silvestres o cultivadas (Corona-Romero et al., 2022). El estado de Oaxaca se considera el principal productor de mezcal a nivel nacional, aportando el 91.31 % del volumen total nacional y *A. potatorum* ocupa el segundo lugar en importancia (COMERCAM, 2023).

El cultivo de agave puede ser afectado por diversas plagas (Cuevas-López et al., 2023; Bailón-Ortiz, Segura-Ledezma y Figueroa-Castro, 2021) y enfermedades que causan reducción en el rendimiento final y, en consecuencia, una pérdida económica (López-Bautista et al., 2020; Cruz-

Magalhães et al., 2017; Trinidad-Cruz et al., 2017; Jiménez-Díaz, 2017; Farr et al., 2006).

Se han identificado diversas enfermedades en *Agave* spp., que provocan pérdidas económicas; Farr et al. (2006) indican que un complejo de especies del género *Colletotrichum* es el agente causal de la antracnosis o manchas foliares en *Agave* spp. Cruz-Magalhães et al. (2017) mencionan una podredumbre del tallo de *A. sisalana* que es causada por un complejo de especies del género *Aspergillus*. Kumar-Gautam (2013) reportó la presencia de *Alternaria alternata* causando manchas foliares en *A. americana*. En *A. tequilana* Weber var. *azul* se reportan *Fusarium oxysporum* y *F. solani* causando marchitez de la planta (López-Bautista et al., 2020; Trinidad-Cruz et al., 2017; Ramírez-Ramírez et al., 2017; Ávila-Miranda et al., 2010). Duque-Bautista et al. (2017) encontraron a *Cladosporium herbarum* causando daños foliares en *A. angustifolia*.

Cabrera-Huerta et al. (2019) reportan que *Dickeya chrysanthemi* es el agente causal de la marchitez bacteriana en *Agave cupreata*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) y Coria-Contreras et al. (2019) reportan que *Cercospora agavicola* es el agente causal de la mancha gris en hojas de *A. tequilana*. Cruz-Luna, Vásquez-López y Martínez-Gutiérrez (2022) reportan cinco especies de *Fusarium* causando pudrición de cogollo en *A. convallis*. Recientemente, Ceballos-Álvarez et al. (2022) encontraron hongos de los géneros *Alternaria*, *Cercospora*, *Phoma*, *Rhizoctonia* y *Botryodiplodia* causando daños foliares en *A. tequilana* Weber var. *azul*. Para el estado de Oaxaca tan solo, Martínez-Martínez (2017) reportó en plantas de *A. potatorum* de campo la presencia de *F. solani* causando pudrición de plantas y *C. sansevieriae* causando antracnosis.

Para el estado de Oaxaca, no se encontraron registros documentados de investigaciones indicando enfermedades que atacan a plántulas de *A. potatorum* en su etapa de vivero, por lo tanto, se desconocen si los agentes causales son los mismos que atacan en plantaciones establecidas;

por lo anterior y debido a la importancia de la especie en el estado, el objetivo de este estudio fue realizar un diagnóstico fitosanitario de la pudrición seca de *A. potatorum*, en la región Sierra Sur en el estado de Oaxaca, que es la zona central de su distribución, así como la identificación morfológica de los agentes causales asociados y su frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se recorrieron viveros en donde se produce *A. potatorum*, en las localidades de Quialela ubicada en el municipio de San Francisco Sola, así como en El Lazo, La Soledad y La Purísima ubicadas en el municipio de San Miguel Sola, y uno en el municipio de Santa María Sola. El estudio se llevó a cabo de octubre de 2019 a enero de 2021. Se seleccionó un vivero por cada localidad de estudio.

Diagnóstico fitosanitario

Se realizó un primer recorrido en cinco viveros con el objetivo de proponer una escala diagramática para evaluar la severidad de la enfermedad, con base en los daños visuales que presentaban las plantas (Coria-Contreras et al., 2019; Rivera-Zabala et al. 2017; Ávila-Miranda et al., 2010), la escala se elaboró con base en las escalas propuestas por Ávila-Miranda et al. (2010) y Jiménez-González et al. (2017). En la segunda visita a los viveros, se distribuyeron ocho puntos de 10 plantas al azar en donde se midió la incidencia, severidad y mortalidad (Julca-Otiniano et al., 2019; Ávila-Miranda et al., 2010).

Material vegetal

Las plantas diagnosticadas fueron de *A. potatorum* de un año producidas de forma sexual. Se colectaron 40 plantas con síntomas característicos de la pudrición seca, se colocaron en bolsas de cartón y se llevaron al Laboratorio de Fitopatología del Centro Regional Universitario Centro Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo ubicado en Morelia, Michoacán en donde fueron procesadas para su análisis.

Aislamiento de agentes causales

Se preparó un medio de cultivo general con papa-dextrosa-agar en dosis de etiqueta 39 g L⁻¹, se esterilizó en autoclave; para luego ser depositado en cajas Petri en condiciones estériles bajo campana de flujo laminar. Las plantas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % por tres minutos, se pasaron por dos vasos diferentes con agua destilada estéril, y se secaron sobre toallas de papel estéril. Los aislamientos se realizaron de forma directa cortando trozos de 1 cm de diámetro de hoja, raíz y piña de cada planta, y colocando cuatro trozos por caja Petri que contenía el medio de cultivo (Monroy-Castro y Lizarazo-Forero, 2010). Se les dejó crecer por cinco días a una temperatura promedio de 25±1 °C. Las colonias que crecieron se purificaron en medio general Papa-dextrosa-agar y se separaron por raíz, piña y hoja, permitiéndoles crecer por 5 días a 25±1 °C.

Las cepas de hongos se purificaron con la técnica de cultivos monospóricos, para lo cual se extrajeron discos de 1 cm de diámetro por cepa que se introdujeron en tubos de ensayo con 10 mL de agua destilada estéril, a estas preparaciones de esto se les aplicó 15 segundos de agitación en un agitador IKA Vortex 2. De la mezcla de cada cepa se tomó 1 mL, y se pusieron 4 gotas en cajas Petri con medio agua agar (29 g L⁻¹). Después se extrajo una espora germinada de cada caja Petri, las cuales se llevaron a una caja Petri nueva con medio de cultivo agua-agar, en donde se les dejó crecer por cinco días más a 25±1 °C (Cañedo y Ames, 2004).

Identificación y presencia de agentes causales

Las cepas se identificaron a nivel de género con las claves taxonómicas de Barnett y Hunter (2006). De cada aislamiento se identificaron las cepas presentes y con ello se obtuvo el porcentaje de presencia de las cepas en los diferentes tejidos analizados.

Análisis de datos

La colecta de datos de incidencia, severidad y mortalidad causada por la pudrición seca en *A.*

potatorum, se realizó con un arreglo completamente al azar, para después ser analizados estadísticamente.

Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Duncan $\alpha = 0.05$) para las variables de incidencia, media de severidad y mortalidad de la pudrición seca en *A. potatorum* y las localidades como factor independiente. El análisis estadístico se realizó en el paquete IBM SPSS Statistics (Versión 25)®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Síntomas del material vegetal

El material vegetal que se colectó mostró manchas necróticas foliares iniciando del centro o la periferia, las cuales mostraban crecimiento hasta alcanzar la base del cogollo; además, presentaron marchitez de raíz con colores rojizos-marrones intenso y desprendimiento de la epidermis lo que provocaba la baja absorción de agua y pudrición o marchitez y muerte de la planta tal y como lo

mencionan la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV, 2017) y Vega-Ramos, Uvalle-Bueno & Gómez-Leyva (2013). Los síntomas foliares se asemejan a lo reportado por Kumar-Gautam (2013) en *A. americana* causados por *A. alternata* y los reportados por Trinidad-Cruz et al. (2017) en *A. cupreta* causados por *F. oxysporum*. Así mismo, Martínez-Martínez (2017) reporta síntomas foliares semejantes en *A. potatorum* de campo causados por *F. solani* y *C. sansevieriae*. Farr et al. (2006) mencionan que hongos pertenecientes a *Colletotrichum* pueden causar manchas foliares necróticas en *Agave*. Los síntomas de raíz corresponden a lo reportado por Ramírez-Ramírez et al. (2017) en *A. tequilana* Weber var. *azul* atacado por *F. solani* y *F. oxysporum*. Rodríguez-Velázquez et al. (2024) mencionan que los daños de raíz en *A. angustifolia* se asociaron a la presencia de *Pantoea vagans*, mientras que, Palemon et al. (2021) mencionan que *P. dispersa* por igual puede causar daños cinco la raíz de *A. angustifolia*.

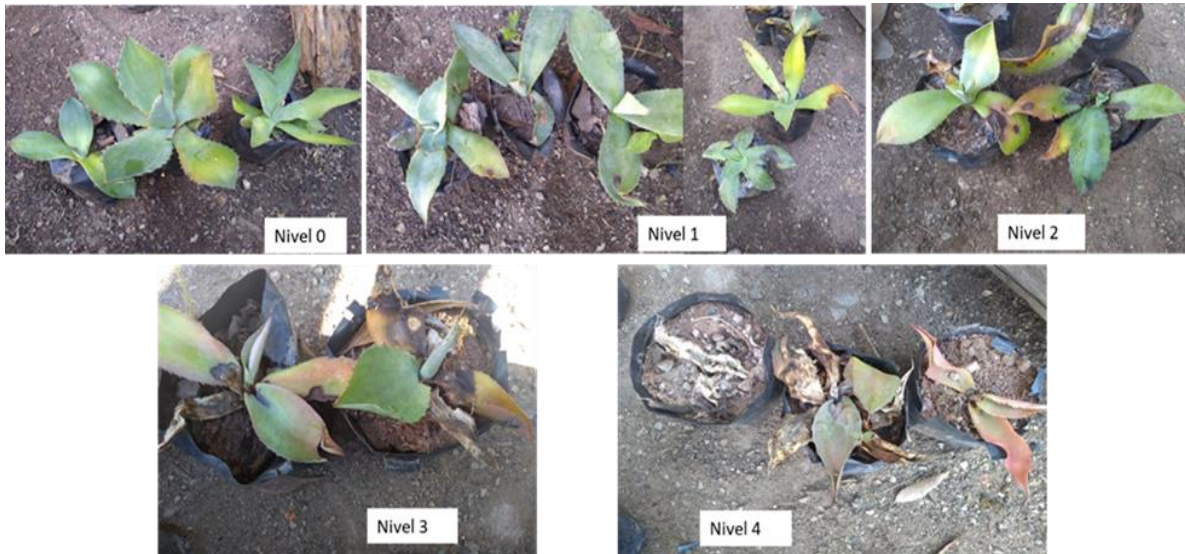


Figura I. Escala de severidad de la pudrición seca de *Agave potatorum* en la etapa de vivero, en la Sierra Sur del estado de Oaxaca. Nivel 0: planta sana sin presencia de manchas necróticas, con raíces sin arrugamiento; Nivel I: la planta comienza a tener manchas necróticas secas en la periferia o centro de una hoja, las raíces se observan arrugadas y un ligero color rojizo; Nivel 2: dos hojas ya cuentan con manchas necróticas, las raíces son más rojizas; Nivel 3: la mayoría de hojas dañadas y con síntomas llegando a la base del cogollo, comienza la muerte de la planta; Nivel 4: todas la hojas dañadas y la planta se puede encontrar muerta o a punto de morir.

Tabla I. Medias de incidencia, severidad y mortalidad de *Agave potatorum* en los viveros diagnosticados (los promedios de severidad se obtuvieron con base en Ávila-Miranda et al., 2010).

Localidad	Incidencia (%)	Severidad	Mortalidad (%)
Quialela	73 ^a	1.76 ^{ab}	2 ^a
El Lazo	69 ^a	1.99 ^{ab}	7 ^{abc}
La Soledad	71 ^a	1.94 ^{ab}	10 ^{bc}
La Purísima	59 ^a	1.7 ^a	3 ^{ab}
Santa María	60 ^a	2.14 ^b	13 ^c
Coefficiente de variación (%)	22.06	19.78	39.25

Valores con letras iguales por columna no muestran diferencias significativas (Duncan, 0.05).

Escala de severidad

La escala de severidad que fue posible definir por los recorridos en campo se compone de cinco niveles que describen el nivel de daño foliar, escalas semejantes fueron propuestas por Jiménez-González et al. (2017) y Ávila-Miranda et al. (2010) (**Figura 1**).

Diagnóstico fitosanitario de la enfermedad

La incidencia no mostró diferencias significativas entre comunidades (Duncan, $p \leq 0.05$) (**Tabla I**), esto indica que la enfermedad está presente en las mismas condiciones en las comunidades evaluadas dentro del distrito de Sola de Vega y se convierte en un reto de manejo. Los valores de incidencia encontrados variaron entre el 59 % y 73 % y fueron semejantes a los reportados por Ávila-Miranda et al. (2010) en Jalisco para la marchitez de *Agave tequilana* Weber var. *azul* causado por *F. oxysporum*. Rodríguez-Velázquez et al. (2024) reportan una incidencia promedio del 37 % de manchas foliares en *A. angustifolia* causadas por *Pantoea vagans* en el Estado de México.

La mortalidad mostró una diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) (**Tabla I**), obteniendo como resultado una mayor mortalidad en Santa María Sola con un promedio de 13 % y la menor mortalidad fue encontrada en Quialela, San Francisco Sola, con un promedio del 2 %.

La severidad se midió con la escala diagramática y se obtuvo el número de plantas con cada nivel de severidad por población; los resultados mostraron que en los niveles 0, 2 y 3 no

existió una diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) en el número de plantas enfermas (**Tabla I**); por otro lado, el mayor número de plantas con severidad nivel 4 y el mayor promedio de severidad se encontró en Santa María Sola (Duncan, $p \leq 0.05$). Los valores de severidad promedio son semejantes a los reportados por Ávila-Miranda et al. (2010), para *Agave tequilana* Weber var. *azul* quienes reportan una severidad promedio de 2.2; el valor promedio más alto en la presente investigación fue de 2.14 presentándose en el vivero de Santa María Sola.

Agentes causales asociados a la enfermedad

Se aislaron cinco cepas con mayor presencia en los síntomas de la enfermedad de las cuales por características morfológicas tres se asociaron al género *Fusarium* y dos al género *Alternaria*. Cepa 1 CRCH: micelio color amarillo-naranja sin presencia de micelio aéreo; alta presencia de microconidios y baja o nula presencia de macroconidios. Cepa 2CRCH: micelio color rosa uniforme, con crecimiento esponjoso y aéreo. Presencia de micro y macroconidios. Cepa 3 CRCH: micelio con pigmentación morada y sin crecimiento aéreo. Presencia alta de microconidios y baja presencia de macroconidios. Cepa 4 CRCH: crecimiento aéreo del micelio, esponjoso con pigmentación negra. Presencia de conidios septados transversal y verticalmente. Cepa 5 CRCH: crecimiento esponjoso y aéreo del micelio; con pigmentación color gris claro. Mostró presencia de conidios septados transversal y verticalmente, estos conidios se encontraron sueltos (**Figura 2**).

Los resultados obtenidos son semejantes con los resultados que muestra los trabajos de Ramírez-Ramírez et al. (2017); Trinidad-Cruz et al. (2017) y Ávila-Miranda et al. (2010) quienes reportan la presencia de *F. oxysporum* en la marchitez, dentro de los síntomas se encuentra la marchitez y coloración rojiza de las raíces. Martínez-Martínez (2017) encontró como agente causal a *F. solani* en la marchitez de hojas en *A. potatorum* en la etapa de campo. Así mismo, Cruz-Luna et al. (2022) identificaron morfológicamente cinco cepas de *Fusarium* asociadas a la pudrición del cogollo de *A. convallis*. Estas semejanzas en cuanto a los agentes causales asociados a la enfermedad, probablemente se deban a que tanto el *A. cupreata*, el *A. tequilana* Weber var. *azul* y el *A. potatorum* pertenecen al mismo género de plantas y pueden compartir hospederos patógenos.

Los daños foliares con manchas necróticas fueron reportados por Kumar-Gautam (2013) y Ceballos-Álvarez et al. (2022) quienes mencionan la presencia de especies del género *Alternaria* causando daños foliares en *A. americana* y *A.*

tequilana, lo cual coincide con los resultados del presente trabajo ya que se identificaron dos cepas diferentes del género *Alternaria*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) por igual reportan *Cercospora* sp., *Phoma*, sp., *Rhizoctonia* sp., *Botryodiplodia* sp.; Campos-Rivero et al. (2019) y Martínez-Martínez (2017) mencionan que *Lasiodiplodia theobromae* pueden ser causantes de daños necróticos foliares en *A. tequilana* y *A. angustifolia* respectivamente. Martínez-Martínez (2017) por igual menciona que manchas necróticas en las hojas de *A. potatorum* son causadas por *C. sansevieriae*. Duque-Bautista et al. (2017) mencionan que las manchas necróticas en *A. angustifolia* son causadas por *C. herbarum*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) y Coria-Contreras et al. (2019) mencionan que las manchas foliares en *A. tequilana* por igual pueden ser causadas por *C. agavicola*. Aunque estos últimos resultados no concuerdan con lo obtenido en la presente investigación, se demuestra que existen diferentes agentes patógenos causando una amplia cantidad de manchas foliares en las diversas especies de *Agave*.

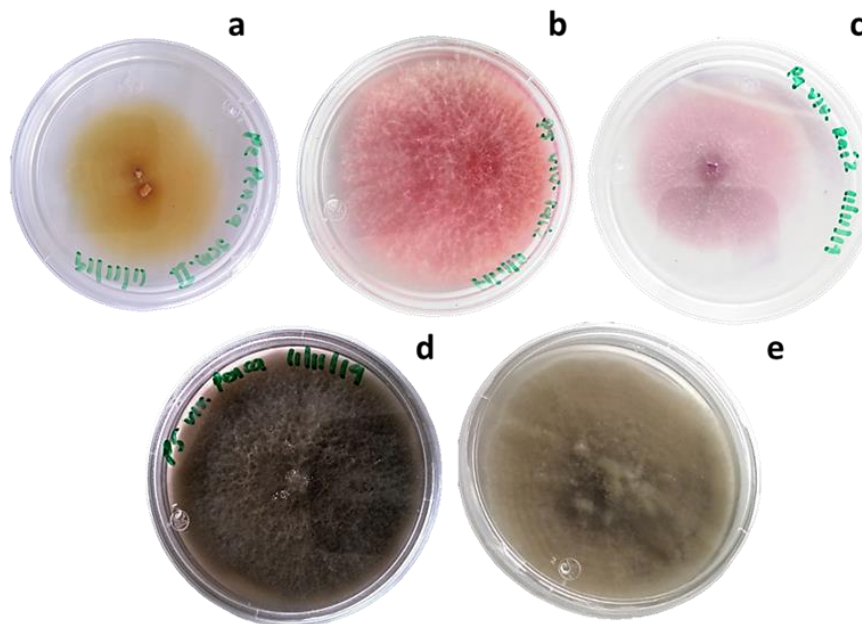


Figura 2. Cepas encontradas en las plantas de *Agave potatorum* dañadas por pudrición seca. a) Cepa 1 CRCH *Fusarium* sp., b) Cepa 2 CRCH *Fusarium* sp., c) Cepa 3 CRCH *Fusarium* sp., d) Cepa 4 CRCH *Alternaria* sp., e) Cepa 5 CRCH *Alternaria* sp.

Presencia de los agentes causales en los diferentes órganos

La presencia de las cepas en las plantas se obtuvo teniendo en cuenta los aislamientos por parte vegetativa, encontrándose que las cepas 1, 2 y 3 CRCH tuvieron una presencia mayor en raíz (75, 100, 70 % respectivamente) y en piña o tallo (35, 90, 20 %). Las cepas 4 y 5 CRCH se presentaron en el 75 y 45 % de las hojas analizadas respectivamente. Por su parte, la cepa 2 CRCH se presentó de igual forma en el 55 % de los daños foliares (Figura 3). Estos resultados muestran semejanza con lo reportado por Ramírez-Ramírez et al. (2017) quienes muestran la presencia de *F. solani* en el 100 % de las plantas evaluadas y de *F. oxysporum* en el 62.5 %.

La mayor presencia de las cepas pertenecientes al género *Fusarium* en raíz y tallo, se deben a que este patógeno penetra por la raíz y coloniza tallos y haces vasculares lo que resulta en una marchitez y deshidratación de la plantas y hojas, por tal motivo, puede tener presencia en el follaje

(Takken y Rep, 2010). Por otra parte, las especies del género *Alternaria* suelen atacar por las hojas, por tal motivo su mayor presencia se encontrará en el follaje (Cervantes-Juan et al., 2020).

CONCLUSIONES

La enfermedad de pudrición seca en *Agave potatorum* se presentó de manera semejante en las cinco localidades diagnosticadas, aunque, los niveles más altos de severidad y mortalidad se presentaron en Santa María y los más bajos en La Purísima y Quialela. Se encontraron cinco cepas asociadas a la enfermedad de las cuales tres se identificaron dentro del género *Fusarium* y dos del género *Alternaria*. La cepa con mayor presencia en raíz y piña fue la Cepa 2 CRCH perteneciente al género *Fusarium* y en hojas tuvo mayor presencia la Cepa 4 CRCH del género *Alternaria*. Este es el primer reporte diagnóstico de la pudrición seca del *A. potatorum* en Sola de Vega y de la identificación de los agentes causales asociados a la enfermedad.

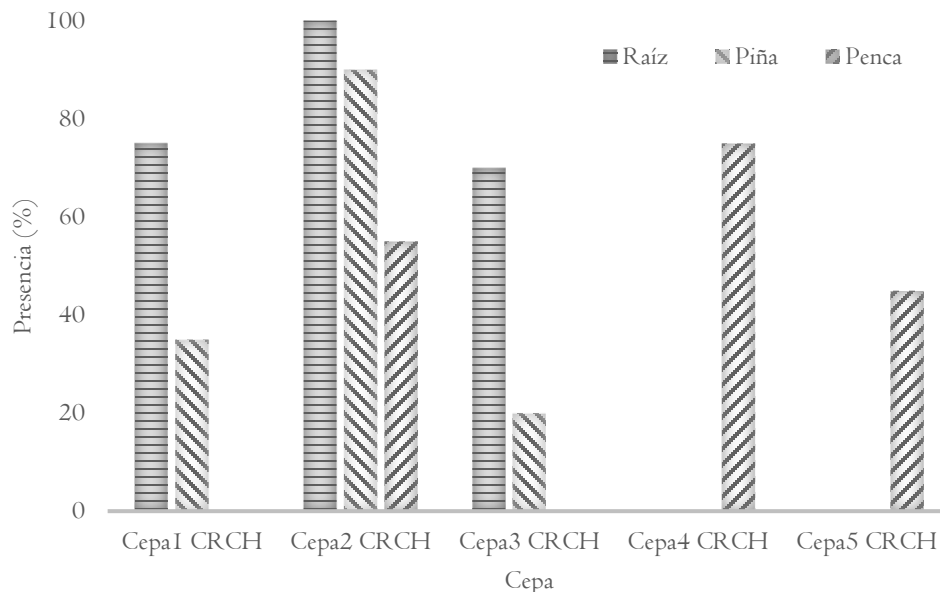


Figura 3. Presencia de las cepas en los diferentes órganos de las plantas de *Agave potatorum* en viveros en la Sierra Sur del estado de Oaxaca.

AGRADECIMIENTOS

A los productores que permitieron el uso de sus parcelas para poder llevar a cabo la investigación, a la Asociación Civil Barreta de Oro por su apoyo y al CRUCO-UACH por su apoyo con espacio y materiales para el aislamiento e identificación de los agentes causales.

REFERENCIAS

- Ávila-Miranda, M., López-Zazueta, J., Arias-Castro, C., Rodríguez-Mendiola, M., Guzmán-de Peña, D., Vera-Núñez, J., & Peña-Cabriales, J. (2010). Vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* in agave (*Agave tequilana* Weber var. azul). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 12, 166-180.
<https://doi.org/10.56890/jpacd.v12i.106>
- Bailón-Ortiz, A.Z., Segura-Ledezma, S., y Figueroa-Castro, P. (2020). Dinámica poblacional de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleóptera: Dryophthoridae) en *Agave angustifolia* Haw en el sur de Oaxaca. *Entomología Mexicana*, 7, 246-251.
- Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (2006). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Fourth edition. Burgess publishing company. New York, USA. 241 p.
- Cabrera-Huerta, E., Aranda-Ocampo, S., Hernández-Castro, E., Nava-Díaz, C., Mora-Aguilera, J. A., & Vásquez-López, A. (2019). First report of bacterial wilt caused by *Dickeya chrysanthemi* on agave-mezcal (*Agave cupreata*) in México. *Plant Disease*, 103(6), <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0877-PDN>
- Campos-Rivero, G., Sánchez-Teyer, L.F., De la Cruz-Arguijo, E., Ramírez-González, M.A., Larralde-Corona, C.P., & Narváez-Zapata, J. A. (2019). Bioprospecting for fungi with potential pathogenic activity on leaves of *Agave tequilana* Weber var. azul. *Journal of Phytopathology*, 167(5), 283-294.
<https://doi.org/10.1111/jph.12797>
- Cañedo, V., y Ames, T. (2004). *Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos*. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 62 p.
- Ceballos-Álvarez, A., Chávez-Díaz, I., Zelaya-Molina, L.X., Cruz-Cárdenas, C.I., Mercado-Vargas, T.J., y Reséndiz-Venado, Z. (2022). Identificación morfológica de hongos filamentosos aislados de diferentes síntomas asociados a agave tequilero en Los Altos de Jalisco. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 10(1), 60-69.
- Cervantes-Juan, Ma. M., Olalde-Portugal, V., Martínez-Franco, M.B., Notario-Zacarías, Ma. I., y Valdés-Rodríguez, S.E. (2020). La cistatina de amaranto previene y controla el tizón temprano en tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 567-580.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2066>
- COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). (2023). *Informe estadístico 2023*. 26 p.
- Coria-Contreras, J.J., Mora-Aguilera, G., Yáñez-Morales, M.J., Acevedo-Sánchez, G., Santana-Peñaloza, B., Mendoza-Ramos, C., Jiménez-González, L., Martínez-Bustamante, V.I., García-Martínez, D.C., y Rubio-Cortés, R. (2019). Epidemiología regional aplicada a la caracterización inductiva y pronóstico de la mancha gris del agave azul (*Cercospora agavicola*) en Jalisco. México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 71-94.
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1809-4>
- Corona-Romero, N., Coronado-Juárez, E., y Madrigal-Gómez, J.M. (2022). Estudio espectral de diferentes variedades de *Agave* para la creación de una librería espectral para su mapeo y monitoreo mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas*, 107, e60451.
<https://dx.doi.org/10.14350/rig.60451>

- Cruz-Luna, A.R., Vásquez-López, A., Martínez-Gutiérrez, G.A. (2022). Hongos asociados a la pudrición del cogollo de *Agave convallis* en Oaxaca México. *Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca*, 6(6), 53-58.
- Cruz-Magalhães, V., de Oliveria-Barbosa, L., Pereira-Andrade, J., Fermín-Soares, A.C., Teodoro-de Souza, J., & Santos-Marbach, P. (2017). *Burkholderia* isolates from a sand dune leaf litter display biocontrol activity against the bole rot disease of *Agave sisalana*. *Biological Control*, 112, 41-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.06.005>
- Cuevas-López, D., Hernández-Castro, E., Romero-Rosales, T., Segura-Pacheco, H.R., Figueroa-Castro, P., y González-Hernández, H. (2023). Sinergistas para el trampeo del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) en *Agave angustifolia* (Asparagaceae), en Guerrero, México. (2023). *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2), e12547. <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i2.12547>
- Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, A. (2014). Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, 63. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-63>
- Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV). (2017). *Marchitez del agave. Fusarium oxysporum*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 11 p.
- Duque-Bautista, H., Zurita-Vásquez, G. G., Pacheco-Hernández, Y., y Villa-Ruano, N. (2017). Etiología de la mancha necrótica del *Agave angustifolia*: una aproximación in vitro hacia su control biológico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 326-337. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1701-2>
- Farr, D., Aime, C., Rossmann, A., & Palm, M. (2006). Species of *Colletotrichum* on Agavaceae. *Mycological Research*, 110(12), 395-408. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.09.001>
- García-Mendoza, J. A., Franco-Martínez, I. S., y Sandoval-Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoidae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, e1461. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- García-Mendoza, J. A., y Meave, A. A. (2011). *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos y angiospermas (colecciones y lista de especies)*. Primera edición. UNAM/CONABIO, México.
- Giraldo-Cañas, D. (2020). Una especie nueva de *Agave* (Asparagaceae, Agavoidae) de Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e913274. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3274>
- Hernández-Castro, E., López-Sandoval, Y., Escobar-Álvarez, J.L., Ramírez-Reynoso, O., Maldonado-Peralta, M.A., & Valenzuela-Lagarda, J.L. (2021). Morphometric analysis of seed and seedling development of maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), e2964. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2964>
- IBM Corp. (2019). IBM SPSS Statistics for Windows (Versión 25.0) [Computer Software]. IBM Corp.
- Jiménez-Díaz, R. M. (2017). Las enfermedades de las plantas: impactos, amenazas y control. *Boletín de la Real Academia de Córdoba*. 166, 11-130.
- Jiménez-González L. R., Mendoza-Ramos C., Santana-Peñaloza B., Coria-Contreras J., Delgado-Mora F., Acevedo-Sánchez G., Guzmán-Hernández E., y Mora-Aguilera G. (2017). Escala logarítmica diagramática de severidad para medición de pudrición seca del cogollo, marchitez y mancha gris del agave azul.

- Revista Mexicana de Fitopatología, 35(S), 177.
- Julca-Otiniano, A., Borjas-Ventura, R., Alvarado-Huamán, L., Julca-Vera, N., Castro-Cepero, V., y Bello-Amez, S. (2019). Relación entre la incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú. *Journal of Science and Research*, 4(4), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>
- Kumar-Gautam, A. (2013). Natural occurrence of *Alternaria alternata* on *Agave americana*: a report from Himachal Pradesh, India. *Journal on New Biological Reports*, 2(1), 36-39.
- López-Bautista, V., Mora-Aguilera, G., Gutiérrez-Espinoza, M.A., Mendoza-Ramos, C., Martínez-Bustamante, V.I., Coria-Contreras, J.J., Acevedo-Sánchez, G., & Santana-Peña, D. (2020). Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated to the regional occurrence of wilt and dry bud rot in *Agave tequilana*. *Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1), 109-106. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-4>
- Martínez-Martínez, A. (2017). *Identificación de hongos causantes de enfermedades foliares del Agave spp., en la región del mezcal, Oaxaca*. Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo. 66 p.
- Monroy-Castro, L.Y., y Lizarazo-Forero, L.M. (2010). Identificación de hongos fitopatógenos asociados al roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.), en los municipios de Encino (Santander), Arcabuco, y Tipacoque (Boyacá). *Colombia Forestal*, 13(2), 347-356. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.2.a10>
- Palemon, F., Ortega-Acosta, S.A., Domínguez-Monge, S., Castañeda-Vildozola, A., Reyes-García, G., Cruz-Lagunas, B., & Flores-Simón, O.U. (2021). First report of bud soft rot on *Agave angustifolia* caused by *Pantoea dispersa* in Mexico. *Plant Disease*, 105(10), 3286. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-21-0316-PDN>
- Ramírez-Ramírez, M.J., Mancilla-Margalli, A., Meza-Álvarez, L., Turincio-Tadeo, R., Guzmán de Pena, D., & Ávila-Miranda, M.E. (2017). Epidemiology of *Fusarium* Agave wilt in *Agave tequilana* Weber var. azul. *Plant Protection Science*, 53(3), 144-153. <https://doi.org/10.17221/142/2016-PPS>
- Rivera-Zabala, N., Ochoa-Martínez, D., Rojas-Martínez, R., Rodríguez-Martínez, D., Aranda-Campo, S., y Zapién-Macías, J. (2017). Variabilidad genética de *Xanthomonas fragariae* y su severidad en genotipos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). *Agrociencia*, 51(3), 329-341.
- Rodríguez-Velázquez, N.D., Pérez-Pérez, G.O., Vergara-Arellano, G., Estrada-de los Santos, P., Mendoza-Figueroa, J.S., & Chávez-Ramírez, B. (2024). *Pantoea vagans* causing soft rot in *Agave angustifolia*, in Mexico. *Journal of Phytopathology*, 172(1), e13280. <https://doi.org/10.1111/jph.13280>
- Takken, F., y Rep, M. (2010). The arms race between tomato and *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 11(2), 309-14. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00605.x>
- Trinidad-Cruz, J.R., Quiñones-Aguilar, E.E., Rincón-Enríquez, G., López-Pérez, L., y Hernández-Cuevas, L.V. (2017). Micorrización de *Agave cupreata*: Biocontrol de *Fusarium oxysporum* y promoción del crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 151-169. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1607-5>
- Vega-Ramos, K. L., Uvalle-Bueno, J. X., & Gómez-Leyva, J. F. (2013). Molecular variability among isolates of *Fusarium oxysporum* associated with rot disease of *Agave tequilana*. *Biochem Genetics*, 51, 243-235. <https://doi.org/10.1007/s10528-012-9559-4>