



## EXPLORACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS DE SUELOS DE PALMA CANARIA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

### Exploration of filamentous fungi of Canary Island date palm soils in Mexico City

Alejandra Almaraz-Sánchez<sup>1</sup>, Luz de Lourdes Saavedra-Romero<sup>1</sup>\*, Dionicio Alvarado-Rosales<sup>1</sup>, Andrés Quezada-Salinas<sup>2</sup>, Silvia Edith García-Díaz<sup>3</sup>, Sergio Aranda-Ocampo<sup>1</sup>, Armando Equihua-Martínez<sup>1</sup>, Carlos Fredy Ortiz-Gracia<sup>4</sup>, José López-Buenfil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Postgrado en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

<sup>2</sup> Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Tecámac, Estado de México.

<sup>3</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

<sup>4</sup> Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Tabasco, Estado de México.

\* E-mail: [saavedra.luz@colpos.mx](mailto:saavedra.luz@colpos.mx)

Recibido: 25/01/2024; Aceptado: 26/08/2024; Publicado: 31/01/2025

### ABSTRACT

The soils of Mexico City (CDMX) are heterogeneous, compact, with an alkaline pH, and with low microbiological diversity. In this context, the objective of the present study was to explore the diversity of filamentous fungi in Canary Island palm soils with contrasting health conditions during the dry and rainy season 2022. 55 Canary Island palms with different health categories were sampled. From each one, soil was collected from two concentric rings and samples composed of each ring and each palm were formed, for which the pH and electrical conductivity were first determined. To know their fungal populations, the soil dilution technique in PDA-TS (potato-dextrose-agar-tergitol-streptomycin) culture medium was used. Identification was based on cultural and morphological characteristics. In the soils of the study area, a richness of seven fungal species was found, *Aspergillus niger* was the most abundant, representing 94.5% of the fungal community, while *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Nalanthamala vermoesonii*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium* sp., *Mucor* sp., and a dark mycelium fungus, represented the remaining 5.5%. *A. niger*, *F. oxysporum*, *C. cladosporioides* and *Penicillium* spp. showed variation according to the season. Regarding the health category of the palms, significant differences were only obtained for *A. niger* between the initial, intermediate, and advanced categories, while for *A. flavus*, the apparently healthy palms had lower population numbers than the intermediate ones. *A. niger* was the dominant species in the soils under study. For some fungi, differences were found regarding the sampling season. Although they were found in low quantity, other soil fungi are fulfilling various functions, from saprophytes and antagonists to phytopathogens. Regarding the health categories of palms, only *A. niger* and *A. flavus* showed significant differences in their populations. This is the first study of filamentous fungi in Canary Island date palm soils in Mexico City.

**Keywords:** fungal diversity | soil | urban tree health | PDA-TS

### RESUMEN

Los suelos de la Ciudad de México (CDMX) son heterogéneos, compactos y de pH alcalino, y con una baja diversidad microbiológica. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo, explorar la diversidad de hongos filamentosos en suelos de palma canaria con condiciones contrastantes de salud durante la temporada seca y lluviosa 2022. Se muestrearon 55 palmas en distintas categorías de salud. De cada una se colectó suelo de dos anillos concéntricos y se conformaron muestras compuestas por anillo y palma. Se determinó el pH y la conductividad eléctrica de todas las muestras. Para conocer las poblaciones de hongos filamentosos, se empleó la técnica de dilución de suelo en medio de cultivo PDA-TS (papa-dextrosa-agar-tergitol-estreptomocina). La identificación se basó en características culturales y morfológicas. En los suelos se obtuvo una riqueza de siete especies de hongos, *Aspergillus niger* presentó las mayores densidades, representando el 94.5% de la comunidad fúngica, mientras *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Nalanthamala vermoesenii*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium* sp., *Mucor* sp., y un hongo de micelio oscuro, representaron el 5.5% restante. *A. niger*, *F. oxysporum*, *C. cladosporioides* y *Penicillium* spp. mostraron variación de acuerdo con la temporada. Respecto a la categoría de salud de las palmas, sólo se obtuvieron diferencias significativas para *A. niger* entre las categorías inicial, intermedia y avanzada, mientras que para *A. flavus*, las palmas aparentemente sanas presentaron poblacionales más bajas que las intermedias. *A. niger* fue la especie dominante en los suelos estudiados. Para algunos hongos se encontraron diferencias por temporada. A pesar de que se encontraron en bajas poblaciones, otros hongos del suelo están cumpliendo diversas funciones, desde saprófitos y antagonistas hasta fitopatógenos. En cuanto a las categorías de salud de las palmas, sólo *A. niger* y *A. flavus* mostraron diferencias significativas poblacionales. Este es el primer estudio de hongos filamentosos en suelos de palma canaria de la CDMX.

**Palabras clave:** diversidad de hongos | salud del árbol urbano | suelo | PDA-TS.

**Forma de citar el artículo (Formato APA):**

Almaraz-Sánchez, A., Saavedra-Romero, L., Alvarado-Rosales, D., Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S., Aranda-Ocampo, S., Equihua-Martínez, A., Ortiz-Gracia, C., & López-Buenfil, J. (2024). Exploración de hongos filamentosos de suelos de palma canaria en la Ciudad de México. *Anales Científicos*. 85(2), 89-99. DOI. 10.21704/ac.v85i2.1007

Autor de correspondencia (\*): Luz de Lourdes Saavedra-Romero. Email: saavedra.luz@colpos.mx

© Los autores. Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY

## 1. INTRODUCCIÓN

Con origen en las Islas Canarias, *Phoenix canariensis* L. (palma canaria), se ha expandido con rapidez a regiones fuera de su rango de distribución normal (< 1000 msnm); hoy se le puede encontrar en regiones subtropicales, templadas, y en áreas verdes urbanas donde forma parte del “arbolado viario” (Castillo-Rodríguez *et al.*, 2013). Esta palma arborescente, crece en distintas condiciones de suelo, por lo que su propagación es casi natural (Broschat *et al.*, 2014; Rivera *et al.*, 2013; Spennemann, 2018). A pesar de esto, requiere de suelos que les provea de los recursos suficientes para su crecimiento, entre los que destacan, comunidades microbianas vastas y benéficas. Se estima que en un gramo de suelo pueden coexistir más de mil millones de microorganismos (bacterias, actinomicetes, hongos, protozoarios, etc.), los cuales, estimulan, defienden, y proveen nutrimentos mediante la descomposición de la materia orgánica (Neina, 2019). Entre estos, los hongos representan el

mayor porcentaje de la biomasa microbiana (Matinian *et al.*, 2019).

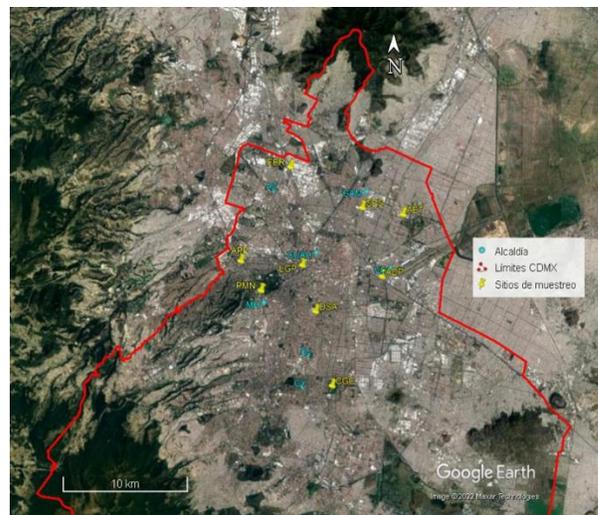
En la Ciudad de México (CDMX), la palma canaria está distribuida ampliamente. La Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA, 2021), reportó la existencia de 15 mil palmas en avenidas, parques y jardines de las distintas Alcaldías de la CDMX, y después de más de 10 años, que se informó por primera vez la muerte de palmas, en 2022, se derribaron y sustituyeron 856; las causas de la muerte masiva de estos ejemplares se esclarecieron recientemente; enfermedades e insectos son responsables, por ejemplo, Quezada-Salinas *et al.*, (2023) identificaron 11 especies de hongos en distintas estructuras de *P. canariensis*, destacando: *Nalanthamala vermoesenii* (causante de la pudrición rosa), *Lasiodiplodia* sp., *Neopestalotiopsis* sp. y *Serenomyces phoenicis* aislados de peciolo y raquis; *Alternaria*

*alternata* y *Phoma glomerata* de foliolos. Asimismo, González-Hernández *et al.* (2023) identificaron la escama *Diaspis coccois* (Lichtenstein), que produce clorosis de frondas de palma canaria. Otras líneas de investigación paralelas a los estudios previamente mencionados indican la participación del fitoplasma 16Sr IV subgrupo D, causante del bronceado letal de la palma, factores abióticos (temperaturas extremas, sequía, contaminación, deficiencias nutrimentales, etc.) y el cambio climático que podrían estar incentivando la muerte masiva, y a los cuales no se le ha dado la importancia suficiente, entre ellos, la condición actual del suelo urbano. En lo referente a este tópico, existen pocos estudios que discuten sus propiedades físicas y químicas más elementales, sin embargo, se reconoce que los suelos urbanos (tecnosoles), son heterogéneos vertical y horizontalmente, con alta compactación y pH alcalinos, entre otras propiedades (Saavedra-Romero *et al.*, 2020), con un conocimiento escaso de su diversidad microbiológica (Saavedra-Romero & Alvarado-Rosales, 2024). En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo explorar la diversidad de hongos filamentosos en suelos de *P. canariensis* con condiciones contrastantes de salud durante la temporada seca y lluviosa 2022 en la Ciudad de México.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio abarcó siete Alcaldías de la Ciudad de México, nueve sitios de muestreo y dos temporadas (seca y lluviosa 2022). Durante el periodo seco, se muestrearon cinco sitios (8 febrero–6 abril), y cuatro en lluvias (28 junio–31 agosto 2022). El primero incluyó la Avenida Paseo de las Palmas (APP, Miguel Hidalgo); Diagonal San Antonio Xochicalco (DSA, Benito Juárez); Club de Golf Campestre Churubusco (CGC, Coyoacán); Papalote Museo del Niño (PMN, Miguel Hidalgo) y Glorieta de la Palma (GP, Cuauhtémoc), mientras que el segundo muestreo se realizó en Ferrería (FER, Azcapotzalco); Sara Esq. Saúl (SES, Gustavo A. Madero); Anselmo de la Portilla (AP, Venustiano Carranza) y Avenida 535, Esq. Talismán (AET, Gustavo A. Madero) (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de los sitios de muestreo de suelo de palmas en la Ciudad de México con base en Google Earth 2022 (Modificado de Alvarado-Rosales *et al.*, 2024).

### Colecta de suelo

A través de un muestreo dirigido, se seleccionaron 55 palmas canarias las cuales se calificaron con base en su proporción de corona viva y calidad de corona (Saavedra-Romero *et al.*, 2023). En la temporada seca se muestrearon 29 palmas, y 26 en lluvias; de cada una se colectó suelo a partir de dos anillos concéntricos: el primero, adyacente al tronco, y el segundo, en la zona de goteo de la corona. Por anillo se colectaron cuatro submuestras de suelo de aproximadamente 100 g a  $\pm 20$  cm de profundidad (una por punto cardinal) retirando previamente el horizonte orgánico. Al final, las ocho submuestras fueron integradas en una muestra compuesta por palma, las cuales fueron etiquetadas y transportadas dentro de una hielera para su análisis en el Laboratorio de Patología Forestal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

### Fase de laboratorio

Se determinó el pH y la conductividad eléctrica de todas las muestras; para ambas propiedades se empleó una relación suelo:agua (1:2.5). El equipo empleado, fue un potenciómetro marca Hanna Instruments (modelo HI98127; precisión  $\pm 0.1$ ) y conductímetro Hanna Instruments HI98311 (precisión  $\pm 0.5$ ), respectivamente. Para conocer las poblaciones de hongos en los suelos, se empleó la técnica de dilución de suelo en medio de cultivo PDA-TS (papa–dextrosa–agar–tergitol–estreptomomicina); en la cual, la dilución sembrada fue  $10^{-3}$

(Steiner & Watson, 1965). Las cajas se incubaron a temperatura ambiente con fotoperiodo de 12 h; después de siete días se realizó el conteo final de propágulos (ufc  $g^{-1}$ : unidades formadoras de colonias por gramo de suelo).

### Identificación morfológica

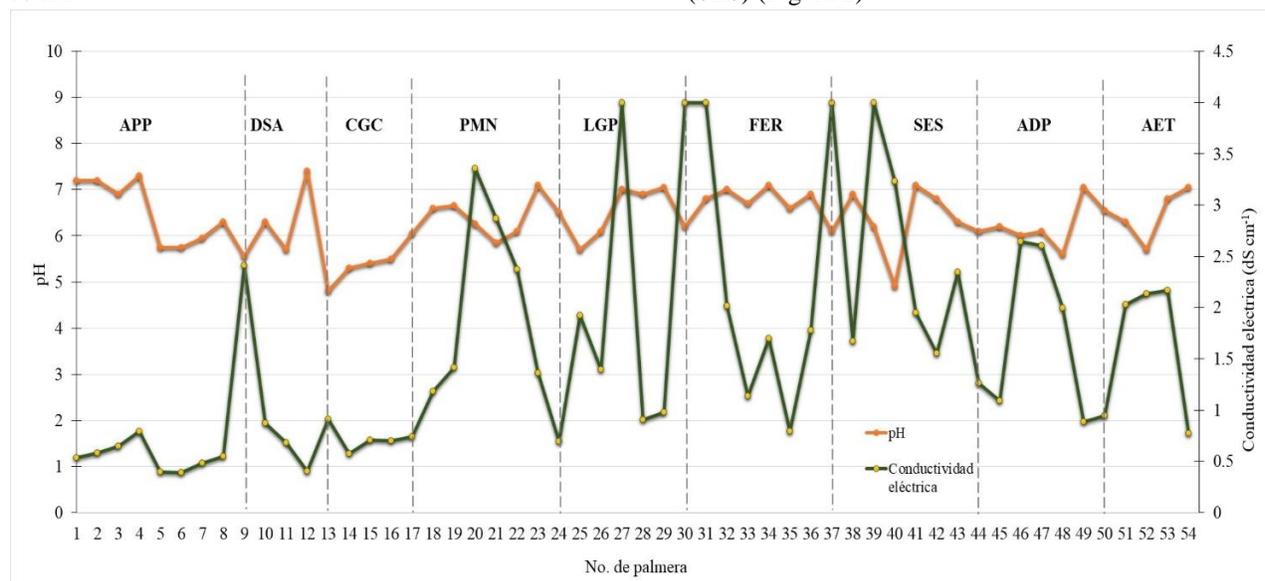
Los aislamientos fueron agrupados con base a sus características culturales y morfológicas, para ello, se realizaron preparaciones permanentes en glicerol al 50% y se observaron al microscopio compuesto (LABOMED); las especies se identificaron con claves taxonómicas específicas (Barnett & Hunter 1998; Leslie & Summerell 2006; Samsom *et al.*, 2014). La purificación de los hongos aislados se realizó por punta de hifa en AA (agua-agar al 2%), los que una vez desarrollados, se transfirieron a medio fresco de PDA (papa-dextrosa-agar), se incubaron a 24°C con fotoperiodo de 12 h, y se revisaron cada 24 horas hasta el desarrollo del micelio. La preservación de los hongos se realizó en tubos de cultivo con PDA y aceite mineral estéril.

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con comparación de medias de Tukey en el software SAS (2003), versión 9.0. Los tratamientos fueron cuatro correspondientes a las categorías de salud de las palmas (aparición sana, inicial, intermedia y avanzada) y 11 repeticiones para cada una.

### 3. RESULTADOS

Los pH de suelos de *P. canariensis* fluctuaron de 4.8 a 7.4, y 6.4 en promedio, siendo los de mayor acidez, los de CGC (Club de Golf Campestre Churubusco). Respecto a la conductividad eléctrica, los valores fluctuaron de 0.39 a 4.0  $dS m^{-1}$ , y 1.62  $dS m^{-1}$  en promedio, lo que significa que siete de los nueve sitios de muestreo, presentaron valores mayores a 2.0  $dS m^{-1}$ , destacando la Glorieta de la Palma (LGP), Papalote Museo del Niño (PMN), Ferrería (FER) y Sara esq. Saúl (SES) (Figura 2).



**Figura 2.** Potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica en los suelos de palma canaria de los nueve sitios de muestreo en la Ciudad de México. APP: Avenida Paseo de las Palmas; DSA: Diagonal San Antonio; CGC: Club de Golf Campestre Churubusco; PMN: El Papalote Museo del Niño; LGP: La Glorieta de la Palma; FER: Ferrería; SES: Sara Esquina Saúl; ADP: Anselmo de la Portilla; AET: Avenida 535 Esquina Talismán. Las líneas punteadas separan las palmeras de cada sitio de muestreo (Fuente: Alvarado-Rosales et al., 2024).

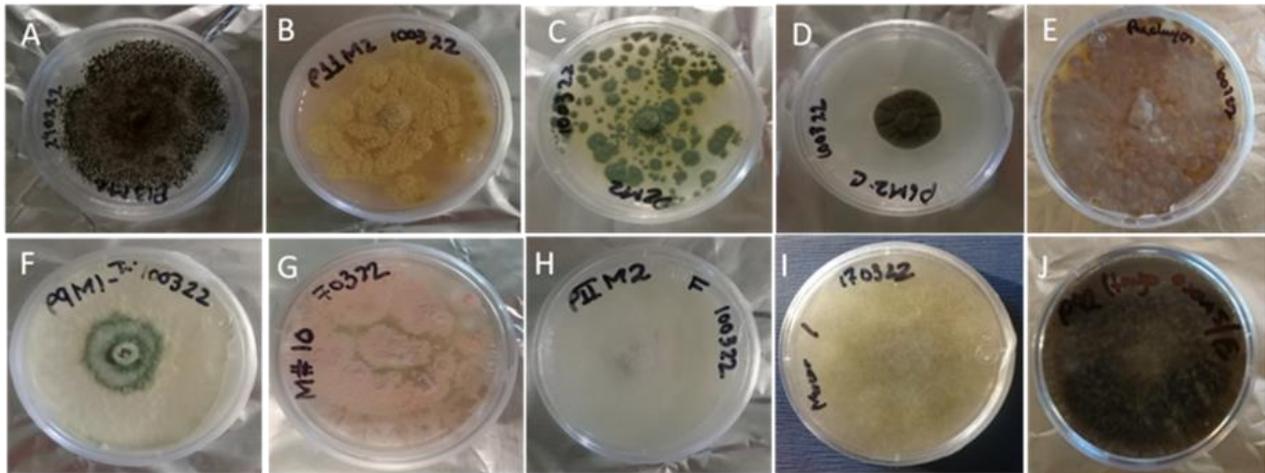
### Micoflora asociada

La riqueza de hongos filamentosos en suelos de palma canaria fue de siete, con densidades poblacionales totales

de 1,066,168 ufc  $g^{-1}$  de suelo (secas y lluvias). La especie *Aspergillus niger* fue la más abundante en los suelos analizados, representando el 94.5% de la comunidad

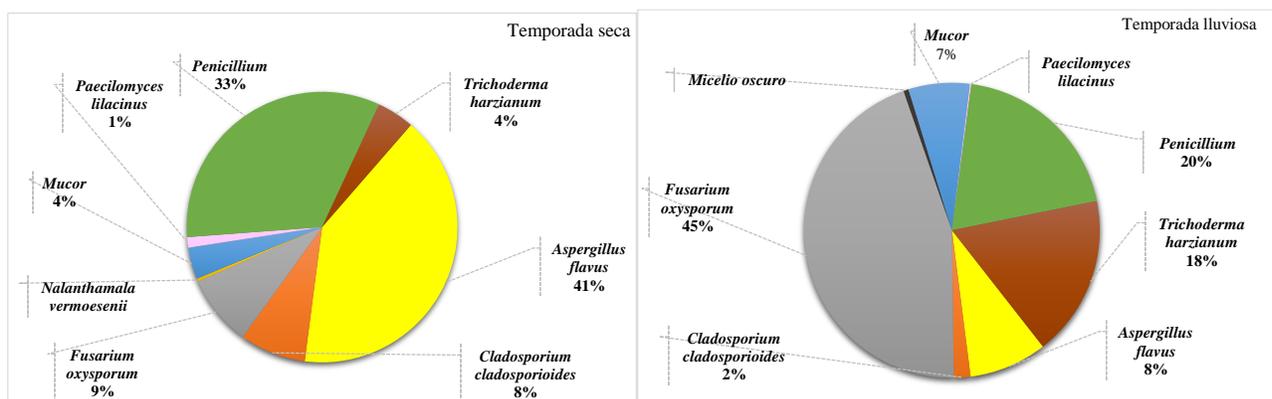
fúngica, mientras que *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Nalanthamala vermoesenii*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium* sp., *Mucor* sp., y un hongo de micelio oscuro, representaron el 5.5% restante. Colonias monospóricas de los hongos aislados, se observan en la

**Figura 3.** La contribución porcentual de cada especie por temporada se observa en la Figura 4, debido a sus altas densidades, *A. niger* no se incluyó; durante lluvias, las poblaciones del último, y de *F. oxysporum* fueron altas, mientras que *C. cladosporioides* y *Penicillium* sp., lo fueron en secas (Tabla 1).



**Figura 3.** Colonias monospóricas en PDA. A. *Aspergillus niger*. B. *Aspergillus flavus*. C. *Penicillium* sp. D. *Cladosporium cladosporioides*. E. *Paecilomyces lilacinus*. F. *Trichoderma harzianum*. G. *Nalanthamala vermoesenii*. H. *Fusarium oxysporum*. I. *Mucor* sp. J. Micelio sin esporular (de siete días de crecimiento).

El análisis de las poblaciones de hongos respecto a la categoría de salud de las palmas mostró diferencias significativas para *A. niger* entre las categorías inicial, intermedia y avanzada, mientras que para *A. flavus*, las palmas aparentemente sanas presentaron poblacionales más bajas que las intermedias; para el resto de los hongos, no se observó el mismo patrón (Tabla 2). Cabe destacar, la presencia de *N. vermoesenii*, aislado únicamente en suelos de palmas en categoría de salud avanzada (de acuerdo con la escala empleada).



**Figura 4.** Porcentajes aportados por la comunidad fúngica en suelos de palma canaria (no incluye *A. niger*), durante la temporada seca y lluviosa 2022 en la Ciudad de México.

**Tabla 1.** Promedios poblacionales de hongos filamentosos (unidades formadoras de colonias por gramo de suelo), aislados de suelo de palma canaria durante la temporada seca y lluviosa 2022 en la Ciudad de México.

Especie/Género	Época del año		E.E.M.	Pr ≥ F
	Secas	Lluvias		
<i>Aspergillus niger</i>	33.43 <sup>b</sup>	50.99 <sup>a</sup>	2.1206	0.0001
<i>Aspergillus flavus</i>	1.22	0.23	0.5548	0.2157
<i>Penicillium</i> sp.	1.00 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.1287	0.0014
<i>Trichoderma harzianum</i>	0.14	0.38	0.0830	0.0531
<i>Mucor</i> sp.	0.12	0.13	0.0400	0.8486
<i>Fusarium oxysporum</i>	0.25 <sup>b</sup>	1.10 <sup>a</sup>	0.2107	0.0060
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0.05	0.00	0.0185	0.0742
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0.23 <sup>a</sup>	0.01 <sup>b</sup>	0.0418	0.0004

<sup>a, b</sup> = Medias con distinta literal dentro de hileras son diferentes de acuerdo al diseño experimental completamente al azar, con análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $P \geq 0.05$ ). EEM = Error estándar de la media.

**Tabla 2.** Densidad promedio de hongos filamentosos en suelos de palma canaria con condiciones contrastantes de salud en la CDMX ( $10^3$  unidades formadoras de colonias por gramo de suelo; ufc g<sup>-1</sup>).

Microbiota	Categoría de salud de <i>Phoenix canariensis</i>				E.E.M.	Pr > F
	Aparentemente sana	Inicial	Intermedia	Avanzada		
<i>Aspergillus niger</i>	36.22 <sup>ab</sup>	47.40 <sup>a</sup>	35.32 <sup>b</sup>	35.26 <sup>b</sup>	5.9052	0.0128
<i>Aspergillus flavus</i>	0.51 <sup>a</sup>	0.00	1.74 <sup>b</sup>	0.00	0.8617	0.0044
<i>Penicillium</i> spp.	0.64	0.36	0.71	0.88	0.3085	0.4104
<i>Trichoderma harzianum</i>	0.07	0.38	0.48	0.26	0.1429	0.2272
<i>Mucor</i> spp.	0.11	0.12	0.20	0.06	0.0858	0.4743
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0.03	0.03	0.00	0.03	0.0413	0.7633
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0.55	0.03	0.09	0.20	0.2646	0.2167
<i>Fusarium oxysporum</i>	0.57	1.00	0.91	0.39	0.3595	0.5864
<i>Nalanthamala vermoesenni</i>	0.00	0.00	0.00	1.66	0.8304	0.4028
Micelio oscuro	0.00	0.00	0.00	0.03	0.0184	0.1727

<sup>a, b</sup>. Medias con distinta literal dentro de hilera son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \geq 0.05$ ). E.E.M.=Error estándar de la media.

#### 4. DISCUSIÓN

Los pH de los suelos de *P. canariensis* fluctuaron de ácidos a ligeramente alcalinos (4.8 a 7.4) (Figura 2). Vital en la nutrición, el pH es conocido como variable maestra, cuya influencia alcanza distintos procesos y propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), afectando la salud y productividad vegetal (Neina, 2019; Amacher *et al.*, 2007), en este sentido, las plantas se pueden clasificar con base a su tolerancia/sensibilidad a condiciones ácidas o alcalinas del suelo. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 2006), menciona que los “árboles” tienen un desarrollo satisfactorio a pH de 5.5 a 6.5. De acuerdo con Gilman & Watson (1994), la palma canaria ornamental puede crecer

en una amplia variedad de suelos, sin embargo, prefiere suelos bien drenados con pH de 6.0 a 7.5 (Pasicznic, 2008). Respecto a la conductividad eléctrica (CE), los sitios GDP, FER, SES y en menor grado PMN, presentaron valores  $> 3.0$  dS m<sup>-1</sup> (Figura 2). Según Grieve *et al.* (2012), valores  $< 2.0$  dS m<sup>-1</sup> tienen efecto en especies sensibles. Entre palmas, también existen diferencias respecto a su tolerancia a condiciones salinas, p.e. *Phoenix dactylifera* L., *Washingtonia robusta* Wendl., y *Sabal palmetto* Lodd., se califican tolerantes a CE de 4 a  $\leq 6$  dS m<sup>-1</sup>, mientras que *Cocos nucifera* L., *Syagrus romanzoffiana* L., *Phoenix roebelinii* O'Brien, *P. reclinata* Jacq., y *Phoenix canariensis* son moderadamente tolerantes ( $2 \leq 4$  dS m<sup>-1</sup>) (Grieve *et al.*, 2012; Tanji, 2007). La importancia de la salinidad del

suelo y en consecuencia altas CE, radica en el uso y el valor de la planta, cuya principal preocupación para paisajistas y ecólogos, es la calidad estética y mayor esperanza de vida (Grieve *et al.*, 2012), lo que sin duda aplica a las palmas viarias de la CDMX.

Estudios microbiológicos, especialmente de suelos urbanos son escasos en México (Saavedra-Romero *et al.*, 2020; Páramo-Aguilera *et al.*, 2011). En el presente estudio, los suelos de palma canaria presentaron una riqueza de siete especies (Figura 3), con densidades del orden de  $1 \times 10^6$  ufc  $g^{-1}$  de suelo. Estas cifras son conservadoras de acuerdo con Patel *et al.* (2020) y Hoonman & Islam (2010), con *Aspergillus* como el género dominante. En suelos de árboles ornamentales de Puebla se reportan densidades promedio ligeramente mayores ( $1.3 \times 10^6$  ufc  $g^{-1}$ ) y riqueza de ocho géneros de hongos filamentosos, siendo también *Aspergillus* el de mayor frecuencia (con tres morfotipos) (Saavedra-Romero & Alvarado-Rosales, 2024). Para suelos de palma areca (*Areca catechu* L.), se aislaron 30 géneros de hongos, con *Trichoderma*, *Penicillium*, *Talaromyces*, *Fusarium*, *Neocosmospora*, *Mortierella*, *Chaetomium* y *Aspergillus*, como los más frecuentes (Ma *et al.*, 2021); mientras que en suelos forestales de *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Fagus orientalis* Lipsky, y *Pinus nigra* J. F. Arnold, se aislaron 48 especies de hongos, siendo *Penicillium* el más diverso con 16 especies (Kara & Asan, 2007). Sin duda, las comunidades de bacterias y hongos son importante reserva de diversidad biológica del suelo (micro, meso y macroflora) (Orduz-Tovar *et al.*, 2021; Martínez-Romero *et al.*, 2020), por lo que es vital preservarlas.

Es posible que la naturaleza ubicua y el carácter xerofítico de *Aspergillus* spp. contribuyan a su frecuente aislamiento de suelos urbanos (Saavedra-Romero & Alvarado-Rosales, 2024). Si bien algunos estudios no lo reportan (Kara & Asan, 2007), en palma canaria de la CDMX, las poblaciones de *A. niger* representaron 95% de la comunidad. Los estudios de Perrone *et al.* (2007), indican que *A. niger* cobra importancia por su habilidad saprofítica, y como patógeno, es reconocido en el área clínica y en la salud de suelos urbanos y forestales; también, como agente causal de la pudrición y descomposición de frutas, verduras y semillas; su eficiente producción de ocratoxinas y aflatoxinas (micotoxinas) lo hace único en el área de inocuidad (Tawfik *et al.*, 2022; Piontelli, 2014).

De los fitopatógenos, *Fusarium oxysporum* (9 a 45%), *A. flavus* (3%), y *Nalanthamala vermoesonii* (<1%) estuvieron presentes en suelos de palma canaria. El último, fue identificado por Quezada-Salinas *et al.* (2023) y García-Díaz *et al.* (2023) causando la pudrición rosa en *P. canariensis* en la CDMX, mientras que *F. oxysporum* fue aislado de raíces enfermas por Almaraz-Sánchez *et al.* (2024, en prensa). Aunque la presencia de estos hongos en suelo no condiciona un estado enfermo, existen factores subyacentes (hospedante susceptible y condiciones ambientales favorables) que pueden modificar su comportamiento; mientras que otros pueden actuar en sinergia, entre estos el estrés hídrico, el clima, la homogeneidad de especies y las características propias de los suelos urbanos (Saavedra-Romero & Alvarado-Rosales, 2024; Sturrock *et al.*, 2011; Jactel & Brockerhoff, 2007).

A pesar de las interacciones benéficas, los organismos microscópicos del suelo han sido ignorados de casi todos los ecosistemas (Cruz, 2023); en el presente estudio, hongos reconocidos por sus propiedades antagónicas fueron escasos, *Penicillium* spp., *Paecilomyces lilacinus* y *Trichoderma harzianum*, lo que puede asociarse a la pérdida de salud y calidad de los suelos (Moebius-Clune *et al.*, 2017) de palma canaria en la CDMX. Según Martínez-Romero *et al.* (2020), la domesticación de plantas ha modificado su microbiota, debido a cambios en la arquitectura radical y tipo de exudados relacionados con las respuestas de defensa. Aunque *P. canariensis* no ha sido domesticada sino más bien naturalizada en varios países (Richardson *et al.*, 2011), es posible que, desde su introducción a nuestro país, las comunidades microbianas se han visto afectadas por la constitución misma de los suelos urbanos (salinidad, compactación, etc.) y su deficiente manejo (falta de riego, fertilización, etc.) (Saavedra-Romero *et al.*, 2020).

Las variadas interrelaciones de los hongos del suelo con sus hospedantes han sido reportadas (Shi *et al.*, 2013; Peay *et al.*, 2013). Estimaciones conservadoras sugieren que cerca de 20,000 especies de plantas dependen por completo de simbiosis microbianas, lo que resalta la importancia de proteger el microbiota del suelo como reguladora de la riqueza de especies vegetales (Santoyo, 2022; Harman *et al.*, 2021; van der Heijden *et al.*, 2008). La amplia diversidad de microorganismos en las plantas, sobre todo en las raíces, es compleja y prolífica. De acuerdo con Berendsen *et al.* (2012) y Santoyo (2022),

dichas comunidades, conocidas como segundo genoma de la planta, son cruciales para la salud, revelando que las plantas son capaces de reclutar su propio microbioma-protector (i.e. como un sistema de defensa contra patógeno e insectos). Raíces sanas y abundantes son indispensables para el crecimiento vegetal. Las raíces enfermas limitan la interacción hospedante vs. microflora benéfica. Si bien, las plantas producen compuestos de defensa (p. ej. alcaloides, terpenos, flavonoides, etc.) que pueden inhibir la infección por patógenos, otros pueden estimular el reconocimiento (hospedante vs. fitopatógeno) (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

En cuanto a las condiciones contrastantes de salud de palma canaria, únicamente las poblaciones de *A. niger* y *A. flavus* fueron significativamente distintas; para el primero, entre la categoría inicial, intermedia y avanzada, mientras que, para el segundo, las palmas sanas tuvieron densidades poblacionales menores que las de salud intermedia. No se observó el mismo comportamiento para el resto de las especies (Tabla 2). Cabe destacar que *Nalanthamala vermoesonii* responsable de la pudrición rosa de la palma canaria (Quezada-Salinas *et al.*, 2023; García-Díaz *et al.*, 2023), se aisló específicamente de las palmas en estado avanzado de pérdida de salud durante la temporada seca. Esta palma empleada en la CDMX como tipo monocultivo podría estar magnificando los daños de ciertos fitopatógenos (van der Heijden *et al.*, 2008).

La microflora edáfica es versátil; con diversas formas de vida, rasgos funcionales y tallas; su presencia y actividad son esenciales para el sano funcionamiento del suelo (Orduz-Tovar *et al.*, 2021). Las esferas biológicas que componen al suelo (rizosfera, endosfera, drilosfera, porosfera, etc.), definen en parte su heterogeneidad espacial y temporal, incluso la del suelo en masa (bulk soil), que, aunque no son mutuamente excluyentes, cada una tiene propiedades bastante distintas en la regulación de la diversidad, actividad y procesos dentro y fuera de las plantas (filosfera), por lo que es trascendente mantener un equilibrio (Turner *et al.*, 2013; Giri *et al.*, 2005).

Es vital analizar y estudiar en profundidad lo que está ocurriendo con la microbiota asociada a distintos hospedantes arbóreos ¿Es posible, que las comunidades fúngicas se encuentren fuertemente impactadas por las características intrínsecas de los suelos urbanos? Si bien, las densidades sumamente altas de hongos como

*Aspergillus* spp., son relevantes, y para los cuales se necesita mayor investigación; los menos también importan. ¿Por qué las poblaciones de hongos benéficos aislados, como *Trichoderma harzianum* y *Paecilomyces lilacinus* son bajas comparadas con las de otros escenarios (bosques naturales).?

## 5. CONCLUSIONES

Este ha sido el primer estudio exploratorio sobre la diversidad de hongos filamentosos de suelos de palma canaria en la Ciudad de México. Los suelos de palma canaria presentaron heterogeneidad en el potencial de hidrógeno, de ácidos (4.0) a ligeramente alcalinos (7.4). La conductividad eléctrica alcanzó los límites máximos de tolerancia para *Phoenix canariensis*, con valores de 2 a 4 dS m<sup>-1</sup>. La riqueza de especies de hongos fue siete en las dos épocas de muestreo (secas y lluvias). Pese a su carácter xerofítico, *Aspergillus niger* fue el más abundante en las dos épocas. Con menor densidad de inóculo, destacaron *Aspergillus flavus*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium* sp., *Fusarium oxysporum* y *Nalanthamala vermoesonii*, los cuales cumplen diversas funciones en el ecosistema suelo, desde saprófitos y antagonistas hasta fitopatógenos. *A. niger* fue abundante en las palmas con categoría de salud inicial, intermedia y avanzada, mientras que *A. flavus* en las de salud intermedia. *Nalanthamala vermoesonii*, responsable de la pudrición rosa, se aisló exclusivamente de palmas con categoría de salud avanzada o las menos saludables.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECTEI) por el financiamiento al proyecto (SECTEI/212/2021): “Agentes Asociados a la declinación y muerte de palmas de la ciudad de México”.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

AAS, LLSR, DAR, AQS, SEGD, SAO, AEM, CFOG: La concepción y diseño del estudio, adquisición de datos, análisis e interpretación de datos,

LLSR, DAR, AAS: Redactar el artículo y revisarlo críticamente para contenido intelectual importante,

LLSR, DAR, AAS, AQS, SEGD, SAO, AEM, CFOG, JALB: Aprobación definitiva de la versión a presentar.

## 6. REFERENCIAS

- Almaraz-Sánchez, A., Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S.E., Aranda-Ocampo, S., Ortiz-García, C.F., Equihua-Martínez, A. & López-Buenfil, J.A. (2024). Hongos de raíz asociados a la declinación y muerte de *Phoenix canariensis* L. en la Ciudad de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*. En prensa.
- Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Almaraz-Sánchez, A., Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S.E., Aranda-Ocampo, S., Ortiz-García, C.F., Equihua-Martínez, A. López-Buenfil, J.A. & Quintero-Campos, R. (2024). Desórdenes abióticos asociados con palmas ornamentales en la Ciudad de México. *Revista Nova Scientia*. En prensa.
- Amacher, M. C., O'Neil, K. P., & Perry, C. H. (2007). Soil vital signs: A new soil quality index (SQI) for assessing forest soil health. *Res. Pap. RMRS-RP-65WWW*. U.S.D.A. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/27300>
- Barnett, L. H. & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi*. The American Phytopathological Society.
- Benintende, S. & Sánchez, C. (2004). *Microorganismos del suelo*. Entre Ríos, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Entre Ríos.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. J. & Baker P. A. M. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17: 478–486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001> ver Santoyo 2022
- Broschat, T. K., Elliott, M. L. & Hodel, D. R. (2014). Ornamental palms: biology and horticulture. *Horticultural Reviews*, 42, 2–120. <https://doi.org/10.1002/9781118916827>
- Castillo-Rodríguez, L. & Ferro-Cisneros, S. A. (2014). La problemática del diseño con árboles en vías urbanas: “verde con pespuntes negros”. *Arquitectura y Urbanismo*, 26(1), 6–20. [scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-58982015000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100002)
- Cruz, A. (2023, 14 noviembre). México no está cuidando su biodiversidad: Esperanza Martínez. *Crónica*. <https://www.cronica.com.mx/academia/mexico-cuidando-biodiversidad-esperanza-martinez.html>
- García-Díaz, S.E., Quezada-Salinas, A., Almaraz-Sánchez, A., Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L. Aranda-Ocampo, S., Ortiz-García, F., Equihua-Martínez, A. & López-Buenfil, J. A. (2023). First report of *Nalanthamala vermoesenii* causing pink rot of *Phoenix canariensis* in Mexico. *Plant Disease*, 107(10), 3291. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-23-0585-PDN>
- Gilman, E. F., & Watson, D. G. (1994). *Phoenix canariensis* Canary Island Date Palm. Fact Sheet ST-439. USA: University of Florida, Florida Cooperative Extension Service. 3 p.
- Giri, B., Giang, P. H., Kumari, R., Prasad, R., & Varm, A. (2005). Microbial diversity in soils. En F. Buscot & A. Varma (Ed.), *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions* (pp. 19–55). Springer-Verlag.
- González-Hernández, H., Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E., López-Gómez, E., López-Buenfil, J. A., Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Almaraz-Sánchez, A., Aranda-Ocampo, S., Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S. E., & Ortiz-García, C. F. (2023). First record of *Diaspis coccois* (Lichtenstein (Hemiptera: Diaspididae) for Mexico. *Open Acces Journal of Environmental and Soil Sciences*, 6(4), OAJESS.MS.ID.000243. DOI: 10.32474/OAJESS.2023.06.000243
- Grieve, C. M., Grattan, S. R., & Maas, E. V. (2012). Plant salt tolerance. En W.W. Wallender et al. (Ed.), *Manual and Reports on Engineering Practice* (pp. 405-459). ASCE.
- Harman, G., Khadka, R., Doni, F. & Uphoff, N. (2021). Benefits to plant health and productivity from enhancing plant microbial symbionts. *Frontiers in Plant Science*, 11, 610065. doi: 10.3389/fpls.2020.610065
- Hoorman, J. J. & Islam, R. (2010). *Understanding soil microbes and nutrient cycling*. Ohio State University Extension. <http://ohioline.osu.edu/factsheet/SAG-16> <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2014.29.2.868>

- Jactel, H. & Brockerhoff, E.G. (2007). Tree diversity reduce herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, 10(9), 835-848. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01073.x>
- Kara, O. & Asan, A. (2007). Microfungal community structure from forest soils in Northern Thrace Region, Turkey. *Annals of Microbiology*, 57(2), 149-155
- Leslie, J. F. & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual* (p. 308). Blackwell Publishing. DOI:10.1002/9780470278376
- Ma, S., Lin, Y., Qin, Y., Diao, X. & Li, P. (2021). Microbial diversity characteristics of Areca palm rhizosphere soil at different growth stages. *Plants*, 10, 2706. <https://doi.org/10.3390/plants10122706>
- Martínez-Romero, E., Aguirre-Noyola, J. L., Taco-Taype, N., Martínez-Romero, J. & Zuñiga-Dávila D. (2020). Plant microbiota modified by plant domestication. *Systematic and Applied Microbiology*, 43(5), 126106. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2020.126106>
- Matinian, N. N., Gusareva, A. L., Bakhmatova, A. & Sheshukova, A. (2019). Microbiological indicators and heavy metal concentration in ecological assessment of urban soils of Saint Petersburg, Russia. *Geography, Environment, Sustainability*, 13(1), 214-223. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-63>
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D. J., Gugino, B. K., Idowu, O. J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Kurtz, K.S.M., Wolf, D.W. & Abawi, G.S. (2017). *Comprehensive Assessment of Soil Health*. Cornell University.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, ID 5794869, 9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Orduz-Tovar, S. A., Machado-Cuéllar, L. & Rodríguez-Suárez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6:27-38. <https://doi.org/10.23850/25004476.3681>
- Páramo-Aguilera, L., Narváez-Zapata J. & De la Cruz E. (2011). Aislamiento e identificación de microorganismos en biopelículas provenientes del Castillo de Chapultepec, Ciudad de México. *Nexo, Revista Científica*, 24(2): 83-91.
- Pasiecznik, N. (2008). *Phoenix canariensis* (Canary Island date palm). CABI Compendium. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_2)
- Patel, H. K., Vyas R. V., Ramesh, A. & Solanki, J. P. (2020). Rhizosphere microbes: drivers of soil health management. *Rhizosphere Microbes, Microorganisms for Sustainability*, 23: 235-258. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_2)
- Peay, K.G., Baraloto, C. & Fine P. V. A. (2013). Strong coupling of plant and fungal community structure across western Amazonian rainforest. *International Society for Microbial Ecology*, 7, 1852-1861.
- Perrone, G., Susca, A., Cozzi, G., Ehrlich, K., Vargas, J., Frisvad, J.C. et al. (2007). Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. *Studies in Mycology*, 59, 53-66. <https://doi.org/10.3114/sim.2007.59.07>
- Piontelli, E.L. (2014). Agentes comunes de las aspergilosis humanas: conceptos primarios en la diferenciación de sus complejos de especies. *Boletín Micológico*, 29(2), 63-100.
- Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S. E., Almaraz-Sánchez, A., Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Aranda-Ocampo, S., Fredy-Ortiz, C. & Equihua-Martínez, A. (2023). Fungi associated with the decline and death of *Phoenix canariensis* in Mexico City. *Mexican Journal of Phytopathology*, 41(2), 241-256. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-8>
- Richardson, D. M., Pyšek, P. & Carlton, J. T. (2011). A compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology. In D. M. Richardson (eds.). *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*. London, United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd. pp. 409-420. <https://doi.org/10.1002/9781444329988.ch30>
- Rivera, D., Obón, C. Alcaraz, F. Egea, T, Carreño, E. & Laguna, E. (2013). A review of the nomenclature and typification of the Canary Island endemic plant, *Phoenix canariensis* (Arecaceae). *Taxon*, 62, 1275-1282. <https://doi.org/10.12705/626.17>
- Saavedra-Romero, L. de L., Alvarado-Rosales, D., Almaraz-Sánchez, A., Quezada-Salinas, A., García-Díaz, S.E., Aranda-Ocampo S., Ortiz-García, C.F., Equihua-Martínez, A. & López-Buenfil, J.A.

- (2023). Health condition of palm trees of México City, with an emphasis on “crowns”. *Open Journal of Agricultural Research*, 3(1),12-27. <https://www.scipublications.com/journal/index.php/ojar/article/view/690>
- Saavedra-Romero, L. de L., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T. & Hernández-de la Rosa, P. (2020). Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan Aragón, Ciudad de México. *Terra Latinoamericana*, 38 (3), 529–540. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>
  - Saavedra-Romero, L.L., & Alvarado-Rosales, D. (2024). Tree health assessment in an institutional green space: INAOE case study. *Agrociencia*, 58(3), 314-330. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i3.3034>
  - Samsom, R. A., Visagie, C.M., Houbraken, J., Hong, S.B., Hubka, V., Klaassen, C.H., & Frisvad. (2014). Phylogeny identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studies in Mycology*, 78,141-173.
  - Santoyo, G. (2022). How plants recruit their microbiome. New insights into beneficial interactions. *Journal of Advances Research*, 40, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.11.020>
  - SAS. (2003). User’s Guide Statistics, System for Windows V. 9.00. SAS Inst. Inc. Cary North Carolina, USA.
  - SEDEMA (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México). (2021). Sustituye Sedema palmeras muertas en avenidas de las Palmas. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicación/nota/sustituyen-sedema-palmeras-muertas-en-avenida-de-las-palmas>
  - Shi, L. L., Mortimer, P. E., Slik, J. W. F., Zou, X. M., Xu, J., Feng WT. & Qiao L. (2013). Variation in forest soil fungal diversity along a latitudinal gradient. *Fungal Diversity*, 64,305-315. <https://doi.org/10.1007/s13225-013-0270-5>
  - Spennemann, D.H.R. (2018). Geographical distribution of four key ornamental and production palm species *Phoenix canariensis*, *P. dactylifera*, *Washingtonia filifera* and *W. robusta*. NSW, Australia: Albury
  - Steiner, G. W., & Watson, R. D. (1965). Use of surfactants in the soil dilution and plate count method. *Phytopathology*, 55,728–730.
  - Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., & Worrall, J.J. (2011). Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60, 133-149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
  - Tanji, K., Grattan S., Grieve, C., Harivandi A., Rollins L., Shaw D., Sheikh, B., & Wu, L. (2007). *Salt Management Guide. Guide for Landscape Irrigation with Recycled Water in Coastal Southern California*. [www.water.ca.gov](http://www.water.ca.gov)
  - Tawfik, E., Alqurashi, M., Aloufi, S., Alyamani, A., Baz, L., Fayad, E. (2022). Characterization of mutant *Aspergillus niger* and the impact on certain plants. *Sustainability*, 14, 1936. <https://doi.org/10.3390/su14031936>
  - Turner, T. R., James, E. K. & Poole, P. S. (2013). The plant microbiome. *Genome Biology*, 14,209. <http://genomebiology.com/2013/14/6/209>
  - USDA (United States Department of Agriculture). (2006). *The Urban Forestry Manual: A Manual for Urban Forestry in the South*. U.S. Department of Agriculture Forest Service Southern Research Station, Athens, GA.
  - Van der Heijden, M. G., Bardgett, R. D. & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11, 296–310.