



**Somos calidad,
somos USC**

**Ocurrencia y Resistencia Antifúngica de Especies de *Candida* en Ambientes
Acuáticos: Una Revisión Sistemática**

Autor

Anderson Steven Ante Hurtado

**Título por el que opta
Microbiólogo**

Directora:

Luz Dary Caicedo Bejarano

Codirectora:

Claribel Murillo Solano

Grupo de Investigación

Grupo de investigación en Micología

Línea de Investigación

Aislamiento de hongos patógenos

**Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Microbiología
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali – Colombia
2026**

Resumen

La resistencia antifúngica en especies del género *Candida* se ha convertido en un problema emergente de salud pública, especialmente en el contexto de su presencia en ambientes acuáticos. Este estudio analizó la ocurrencia y los perfiles de resistencia antifúngica de especies de *Candida* en estos entornos, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica. La metodología siguió los lineamientos PRISMA 2020, mediante una búsqueda en bases de datos como PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se incluyeron estudios que reportaban aislamiento de *Candida* en ambientes acuáticos y evaluación de resistencia antifúngica, con un total final de 19 artículos para el análisis cualitativo. Los resultados mostraron una amplia distribución de especies de *Candida* en diferentes ambientes acuáticos, con predominio de especies no-*albicans*, como *Candida tropicalis* y *Candida parapsilosis*. Además, se identificaron altos niveles de resistencia antifúngica, especialmente frente a azoles como fluconazol e itraconazol. Factores como la contaminación por aguas residuales, el uso de antifúngicos en la agricultura y la formación de biofilms fueron identificados como determinantes en la diseminación de la resistencia. En conjunto, los resultados indican que los ambientes acuáticos actúan como reservorios relevantes de especies de *Candida* con perfiles de resistencia antifúngica, lo que representa un posible riesgo para la salud pública. Por ello, se resalta la necesidad de fortalecer la vigilancia ambiental y adoptar estrategias integrales bajo el enfoque One Health para mitigar la propagación de cepas resistentes.

Palabras clave: *Candida*, resistencia antifúngica, ambientes acuáticos, azoles, One Health, salud pública.

Abstract

Antifungal resistance in *Candida* species has become an emerging public health concern, particularly in relation to their presence in aquatic environments. This study examines the occurrence and antifungal resistance profiles of *Candida* species in these settings through a systematic review of the scientific literature. The methodology followed PRISMA 2020 guidelines, with a comprehensive search conducted across databases including PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. Studies reporting the isolation of *Candida* in aquatic environments and the assessment of antifungal resistance were included, resulting in a final selection of 19 articles for qualitative analysis. The findings show a wide distribution of *Candida* species across various aquatic environments, with a predominance of non-*albicans* species such as *Candida tropicalis* and *Candida parapsilosis*. Elevated levels of antifungal resistance were observed, particularly against azoles including fluconazole and itraconazole. Key contributing factors include wastewater contamination, antifungal use in agriculture, and biofilm formation, all of which may facilitate the spread of resistance. Overall, these results

indicate that aquatic environments act as important reservoirs of antifungal-resistant *Candida* species, posing a potential risk to public health. Strengthening environmental surveillance and implementing integrated strategies under the One Health framework are therefore essential to limit the spread of resistant strains.

Key words: *Candida*, antifungal resistance, aquatic environments, azoles, One Health, public health

Introducción

Las infecciones fúngicas representan un problema creciente de salud pública a escala global, afectando a millones de personas y causando una elevada mortalidad, especialmente en individuos inmunocomprometidos. Entre estos patógenos, las levaduras del género *Candida* destacan como uno de los principales agentes etiológicos de infecciones oportunistas, abarcando desde manifestaciones superficiales hasta enfermedades invasivas potencialmente mortales (Tamo, 2020). Aunque históricamente *Candida albicans* ha sido considerada la especie predominante, en las últimas décadas se ha evidenciado un cambio epidemiológico con un aumento significativo de especies no-*albicans*, varias de las cuales muestran menor susceptibilidad a los antifúngicos disponibles (Collin et al., 1999; Cornistein et al., 2013; Alhatmi et al., 2022).

El tratamiento de estas infecciones se ve limitado por el reducido número de antifúngicos disponibles y por la creciente aparición de resistencia, fenómeno que se ha intensificado debido al uso extendido de estos compuestos tanto en el ámbito clínico como en otros sectores (Allison & Hyland, 2025). La resistencia antifúngica no solo compromete la eficacia terapéutica, sino que también se asocia con mayores tasas de mortalidad, lo que convierte a *Candida spp.* en un grupo de patógenos de alta prioridad en salud pública. Además, mecanismos como la formación de biopelículas y diversas adaptaciones genéticas contribuyen a la persistencia de estas levaduras y a su capacidad de evadir los tratamientos antifúngicos (Amann et al., 2025).

Históricamente, las infecciones por *Candida* se han estudiado principalmente desde una perspectiva clínica y se han asociado principalmente a la microbiota humana o a entornos hospitalarios. No obstante, en los últimos años ha aparecido evidencia que indica que estas levaduras también pueden encontrarse en diversos ambientes no clínicos, lo que sugiere la posible existencia de reservorios ambientales con impacto en la salud humana (Caicedo-Bejarano et al., 2024). Estudios recientes han reportado la presencia de *Candida spp.* en suelos, plantas, aguas y otros nichos ecológicos, lo que cuestiona la idea de que estas levaduras se limitan exclusivamente a hospedadores humanos (Valério et al., 2025).

Además, especies emergentes como *Candida auris* han sido relacionadas con posibles orígenes ambientales, incluyendo suelos y cuerpos de agua, lo que resalta la importancia de comprender su ecología fuera del entorno clínico (Akinbobola et al., 2023).

En particular, los ambientes acuáticos han cobrado relevancia como posibles reservorios y vías de diseminación de levaduras potencialmente patógenas y resistentes. Diversos estudios han reportado la presencia de *Candida spp.* en agua potable, aguas residuales y sistemas de distribución, donde estas pueden sobrevivir, formar biopelículas y desarrollar o mantener perfiles de resistencia antifúngica (Babič & Gunde-Cimerman, 2025). Además, las aguas residuales representan un punto de convergencia entre microorganismos, compuestos antifúngicos, generando condiciones favorables para la selección y propagación de cepas resistentes (Baker, 2025).

Este panorama muestra la necesidad de estudiar la resistencia antifúngica desde una perspectiva integral, considerando la interacción entre humanos, animales y el ambiente, tal como propone el enfoque One Health. En este sentido, es fundamental analizar la ocurrencia de *Candida spp.* en ambientes acuáticos y su relación con la resistencia antifúngica, con el fin de comprender mejor su papel como posibles reservorios y fuentes de infección.

Este estudio evalúa la ocurrencia y los perfiles de resistencia antifúngica de especies del género *Candida* en ambientes acuáticos, con base en la evidencia disponible. Para esto, se realizó una revisión sistemática de la literatura científica, siguiendo lineamientos establecidos para la identificación, selección y análisis de estudios relevantes sobre el tema. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es la ocurrencia y los perfiles de resistencia antifúngica de especies de *Candida* en ambientes acuáticos? Además, se busca identificar las especies reportadas, los patrones de resistencia y los factores asociados a su diseminación en estos ecosistemas. La relevancia de este estudio radica en comprender el papel de los ambientes acuáticos como posibles reservorios de levaduras resistentes, lo cual es clave para fortalecer estrategias de vigilancia y control desde un enfoque de salud pública.

Metodología

Este estudio se desarrolló como una revisión sistemática de la literatura científica, con el objetivo de recopilar, analizar y sintetizar la evidencia disponible acerca de la ocurrencia y los perfiles de resistencia antifúngica de especies de *Candida* en ambientes acuáticos. Con el fin de garantizar la rigurosidad del proceso, se siguieron los lineamientos propuestos por la Declaración PRISMA 2020, lo que permitió asegurar la transparencia, organización y reproducibilidad de la investigación.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante múltiples bases de datos, entre ellas PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online, MDPI, Frontiers y Google Scholar, mediante combinaciones de términos clave como *Candida*, aquatic environment, water, wastewater, river, lake, antifungal resistance, drug resistance y biofilm, en inglés y español, utilizando operadores booleanos con el fin de optimizar los resultados.

La selección de estas bases de datos se llevó a cabo para garantizar una cobertura amplia y representativa de la literatura científica en el campo de la microbiología y la salud ambiental. Plataformas como PubMed/MEDLINE y Web of Science son reconocidas por su rigurosidad en la indexación de literatura biomédica, por otro lado, Scopus y ScienceDirect permiten acceder a una mayor variedad de estudios interdisciplinarios. Asimismo, bases como SpringerLink, Taylor & Francis, MDPI y Frontiers complementan la búsqueda al incluir publicaciones recientes de acceso abierto. Por último, Google Scholar se utilizó como herramienta complementaria para identificar literatura no indexada en otras bases, lo que reduce el riesgo de omisión de estudios relevantes. La búsqueda bibliográfica se realizó entre Agosto de 2025 y Marzo de 2026. La gestión de las referencias bibliográficas se realizó utilizando el software Mendeley, lo que permitió organizar, almacenar y consultar los artículos seleccionados. La organización y el análisis de la información se realizaron mediante una hoja de cálculo en Microsoft Excel, en la cual se registraron variables como autor, año, tipo de ambiente acuático, especies identificadas, perfiles de resistencia antifúngica y principales hallazgos de cada estudio. Este proceso permitió la sistematización y comparación de los datos obtenidos.

Criterios de inclusión:

- Artículos científicos que informen sobre el aislamiento de *Candida* en ambientes acuáticos.
- Estudios que incluyan evaluación de resistencia antifúngica.
- Publicaciones en inglés o español entre 1995 y 2025.

Criterios de exclusión

- Estudios sin métodos claros de identificación o resistencia.
- Revisiones, editoriales, cartas, tesis, resúmenes de congresos y documentos no originales.
- Estudios no relacionados con ambientes acuáticos.

Los criterios de inclusión y exclusión se definieron con el objetivo de asegurar la calidad, la pertinencia y la comparabilidad de los estudios seleccionados. Se

priorizaron estudios que aportaran evidencia experimental sobre la presencia de *Candida* en ambientes acuáticos y su resistencia antifúngica, de acuerdo con los objetivos del estudio. La extracción de datos se realizó manualmente mediante la revisión de los artículos seleccionados, y se organizó la información en una matriz de registro en hoja de cálculo (Microsoft Excel). En esta matriz se registraron variables como autor y año, tipo de ambiente acuático, especies de *Candida* identificadas, perfiles de resistencia antifúngica y principales hallazgos, lo que permitió organizar la información para su posterior análisis.

La búsqueda inicial permitió identificar 50 artículos en las bases de datos consultadas. Luego de organizar los registros en el gestor bibliográfico, se eliminaron los registros duplicados. Durante la fase de cribado, se revisaron los títulos y resúmenes, y se excluyeron los estudios que no se relacionaban con el enfoque de la investigación, principalmente por no incluir ambientes acuáticos, no incluir especies del género *Candida* o no evaluar resistencia antifúngica.

Luego, los artículos seleccionados se evaluaron a texto completo y se descartaron aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión definidos, como la ausencia de datos experimentales claros, metodologías poco definidas o por tratarse de revisiones y otros documentos no originales. En total, se incluyeron 19 estudios en el análisis cualitativo de la presente revisión sistemática, que constituyen la base de la evidencia primaria analizada.

Selección de estudios

El diagrama de flujo (Figura 1) muestra el proceso de selección de estudios en la revisión sistemática, siguiendo los lineamientos establecidos por PRISMA 2020. A partir de una búsqueda inicial donde se identificaron 50 registros en diferentes bases de datos, se eliminaron 5 por duplicidad, para un total de 45 registros para la fase de cribado. Luego de revisar los títulos y resúmenes, se excluyeron 20 estudios y se seleccionaron 25 para la evaluación a texto completo. Después, 6 artículos se descartaron por no cumplir con los criterios de inclusión, principalmente por ser estudios no primarios, carecer de datos de resistencia antifúngica o no estar relacionados con ambientes acuáticos. En total, se incluyeron 19 estudios en el análisis cualitativo de la revisión.

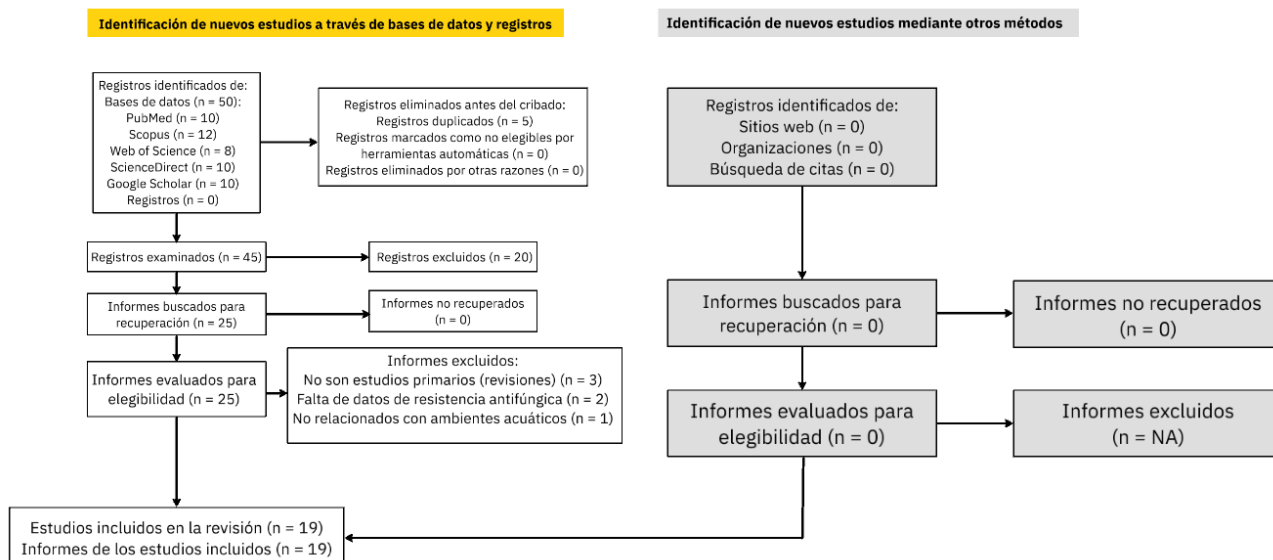


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020 para el proceso de búsqueda, selección y exclusión de estudios incluidos en la revisión sistemática. Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados de la búsqueda, se organizó y depuró la información utilizando el gestor bibliográfico Mendeley, lo que permitió identificar y eliminar 5 registros duplicados.

Durante la fase de cribado (screening), como se muestra en la Figura 1, se evaluaron los títulos y resúmenes de los 45 registros restantes, y se excluyeron 20 estudios que no se ajustaban al enfoque de la investigación. Entre las principales razones de exclusión se identificaron la falta de relación con ambientes acuáticos, la ausencia de especies del género *Candida* o la falta de evaluación de la resistencia antifúngica.

25 artículos se seleccionaron para la evaluación a texto completo. En esta fase, se excluyeron 6 estudios por no cumplir con los criterios de inclusión definidos, principalmente por ser revisiones, por no presentar datos de resistencia antifúngica o por no estar relacionados con el contexto ambiental de estudio. En total, se incluyeron 19 estudios en el análisis cualitativo de la revisión sistemática.

Es importante mencionar algunas limitaciones. La búsqueda se limitó a artículos publicados en inglés y español, lo que podría dejar por fuera evidencia relevante en otros idiomas. Aunque se emplearon múltiples bases de datos, es posible que algunos estudios no indexados no se hayan identificado. La inclusión de estudios con diferentes metodologías puede generar variabilidad en los resultados, lo que dificulta su comparación directa. El proceso de selección y análisis fue realizado por un solo revisor, lo que podría generar sesgos en la interpretación de los datos.

Síntesis de resultados

Una vez seleccionados los estudios, la información relevante se organizó en una tabla que incluye variables como autor y año, tipo de ambiente acuático, especies de *Candida* identificadas, perfil de resistencia antifúngica y principales hallazgos. Esta estructura facilita la síntesis de los aspectos más importantes de cada investigación, lo que facilita su análisis e interpretación.

La Tabla 1 presenta los estudios analizados, destacando elementos clave como los diferentes tipos de ambientes acuáticos evaluados, la diversidad de especies de *Candida* reportadas y los patrones de resistencia antifúngica identificados. Esta organización permite identificar tendencias relevantes, como la presencia frecuente de cepas resistentes en distintos ecosistemas acuáticos, así como la influencia de factores ambientales y antrópicos en la diseminación de la resistencia.

Tabla 1. Resultados integrados de los estudios

Autor y año	Ambiente acuático	Especie de <i>Candida</i>	Resistencia antifúngica	Hallazgo clave
Novak Babič et al. (2025)	Agua potable y subterránea	<i>Candida parapsilosis</i>	Resistencia intermedia a equinocandinas; resistencia a azoles (fluconazol, voriconazol)	El agua potable puede actuar como fuente de cepas resistentes y facilitar su diseminación
Brandão et al. (2010)	Lagos de agua dulce	<i>C. krusei</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. guilliermondii</i>	Resistencia a anfotericina B (21.7%), itraconazol (20%) y fluconazol (2.8%)	Las levaduras resistentes se asocian a contaminación fecal y representan riesgo para uso recreativo
Biancani et al. (2025)	Agua de piscinas (mamíferos marinos en cautiverio)	<i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. parapsilosis</i> , <i>C. glabrata</i>	Resistencia a azoles (itraconazol, fluconazol, voriconazol, posaconazol)	Evidencia de resistencia multiresistente y relevancia del enfoque One Health
Barber et al. (2023)	Aguas residuales urbanas	<i>Candida auris</i>	Alta resistencia antifúngica (incluyendo equinocandinas y multiresistencia)	La vigilancia en aguas residuales permite detectar y monitorear brotes de <i>C. auris</i>
Babler et al. (2023)	Aguas residuales hospitalarias y municipales	<i>Candida auris</i>	Capacidad de persistencia y resistencia a múltiples antifúngicos	El agua residual actúa como reservorio y medio de diseminación de patógenos resistentes

Brilhante et al. (2016)	Lago de agua dulce (Catú, Brasil)	<i>Candida spp.</i>	Resistencia a azoles (fluconazol ≥ 64 $\mu\text{g/mL}$, itraconazol ≥ 16 $\mu\text{g/mL}$)	La resistencia está mediada por bombas de eflujo (CDR1, CDR2, MDR1)
Echevarría (2025)	Playa, río y estuario	<i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. krusei</i> , <i>C. glabrata</i> , <i>C. parapsilosis</i> , <i>C. auris</i>	No cuantifica directamente, pero evidencia presencia de especies patógenas potencialmente resistentes	Los ecosistemas acuáticos actúan como reservorios de especies oportunistas con riesgo para salud humana
Corrêa-Moreira et al. (2024)	Aguas residuales urbanas	<i>Candida spp.</i> (incluye <i>C. albicans</i> y no-albicans)	Producción de biofilm y enzimas (factores de virulencia asociados a resistencia)	Las aguas residuales permiten monitorear patógenos emergentes bajo enfoque One Health
Chavez et al. (2024)	Aguas residuales (EE.UU.)	<i>Candida auris</i>	Alta resistencia antifúngica y persistencia ambiental	La vigilancia en aguas residuales permite detectar la introducción temprana del patógeno en comunidades
Collin et al. (1999)	(Contexto clínico, apoyo teórico)	<i>C. krusei</i> , <i>C. glabrata</i> , <i>C. tropicalis</i>	Resistencia frecuente a fluconazol y anfotericina B	Las especies no-albicans presentan mayor resistencia y están emergiendo como patógenos importantes
Maciel et al. (2019)	Playas (agua y arena)	<i>Candida albicans</i> y otras levaduras oportunistas	61% de los aislados mostraron resistencia o sensibilidad dependiente a antifúngicos	Presencia de levaduras con potencial patógeno en playas representa riesgo para bañistas
Ramos et al. (2024)	Aguas costeras recreativas	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. krusei</i> , <i>C. parapsilosis</i>	Resistencia a azoles, especialmente en <i>C. tropicalis</i> y <i>C. krusei</i>	<i>Candida</i> en aguas recreativas presenta resistencia y factores de virulencia
Pagani et al. (2022)	Laguna impactada (agua dulce)	<i>Candida spp.</i> (incluye <i>C. haemulonii</i>)	93% con resistencia a al menos dos antifúngicos	La contaminación por pesticidas favorece la selección de cepas resistentes
Milanezi et al. (2019)	Cuenca urbana contaminada	<i>Candida spp.</i> y otras levaduras	Alta resistencia a azoles; 16.8% a anfotericina B	La contaminación ambiental influye en la resistencia antifúngica
Metcalf et al. (2025)	Plásticos en ambientes acuáticos	<i>C. glabrata</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. krusei</i>	Todas las cepas resistentes al menos a un antifúngico	El plástico actúa como vector de dispersión de <i>Candida</i> resistente

Román Juliá (2011)	Hábitats costeros impactados por aguas residuales	<i>C. tropicalis</i> y otras levaduras	48% de los aislados resistentes a fluconazol (MIC ≥ 64 $\mu\text{g/mL}$)	La contaminación por aguas residuales favorece la resistencia en ambientes costeros
Tseng et al. (2024)	Ambiente agrícola (incluye agua y suelo)	<i>Candida tropicalis</i>	~18.6% resistente a fluconazol; asociado a fungicidas agrícolas	Uso de azoles en agricultura favorece resistencia cruzada en <i>Candida</i>
Titilawo et al. (2025)	Aguas subterráneas	<i>C. orthopsilosis</i> y otras especies	92.3% resistencia a fluconazol; 58% multirresistentes	El agua subterránea puede ser reservorio de cepas multirresistentes
Sánchez Quitian et al. (2024)	(No acuático – alimentos, apoyo contextual)	<i>C. parapsilosis</i> y otras	Alta resistencia a fluconazol en varias especies	Nichos no acuáticos también contribuyen a la diseminación de <i>Candida</i> resistente

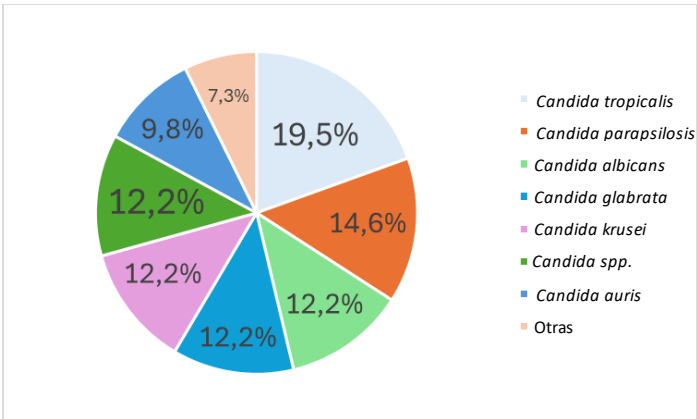


Figura 2. Proporción de especies de *Candida* reportadas en los estudios incluidos en ambientes acuáticos. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 2, *Candida tropicalis* fue la especie más reportada (19,5%), seguida de *Candida parapsilosis* (14,6%) y otras especies como *Candida albicans*, *Candida glabrata* y *Candida krusei*, cada una con una proporción de 12,2%. Además, se identificó la presencia de *Candida auris* (9,8%), así como de otras especies menos frecuentes (7,3%). Estos resultados muestran una predominancia de especies no-*albicans* en ambientes acuáticos. Estos hallazgos indican que, en los ambientes acuáticos analizados, predominan las especies de *Candida* no-*albicans*, lo que sugiere una mayor capacidad de adaptación a condiciones ambientales y resalta su relevancia como posibles reservorios de levaduras con potencial resistencia antifúngica.

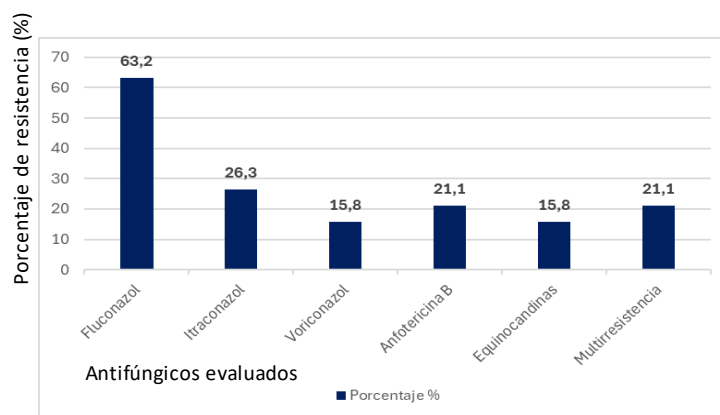


Figura 3. Proporción de resistencia antifúngica reportada en especies de *Candida* frente a diferentes antifúngicos. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra que el antifúngico con mayor proporción de resistencia reportada fue el fluconazol (63,2%), seguido de itraconazol (26,3%) y anfotericina B (21,1%). Asimismo, se observaron niveles de resistencia frente a voriconazol (15,8%) y equinocandinas (15,8%), así como la presencia de cepas multirresistentes (21,1%). Estos resultados confirman una tendencia preocupante hacia el aumento de la resistencia a antifúngicos, particularmente a los del grupo de los azoles.

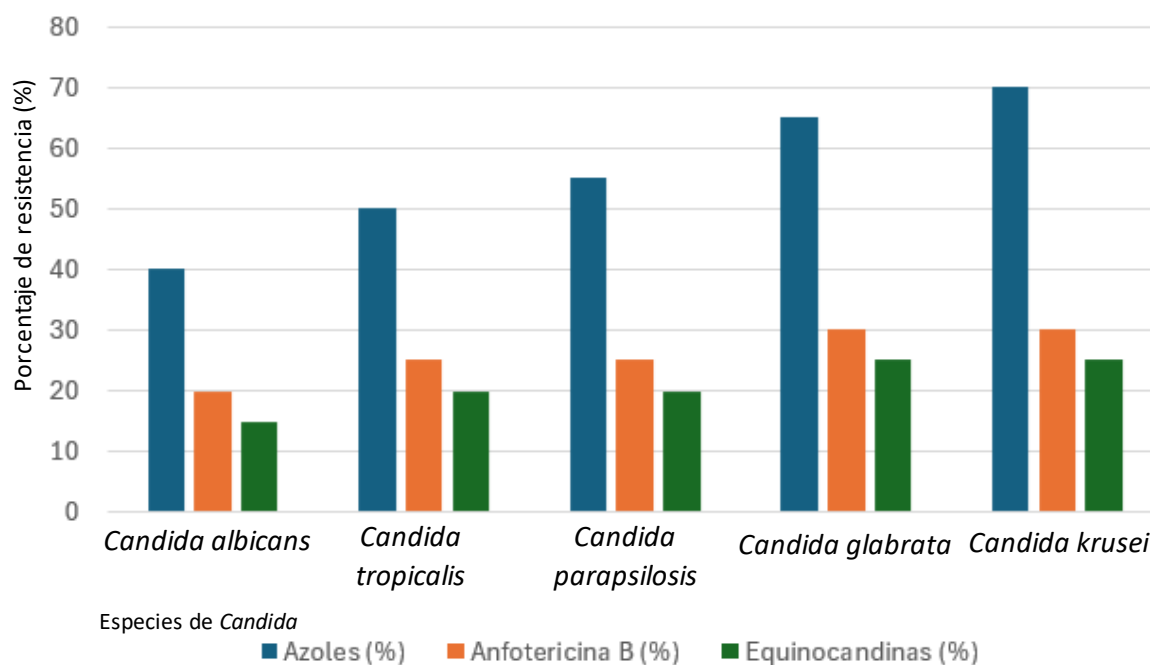


Figura 4. Comparación de los perfiles de resistencia antifúngica entre especies de *Candida* frente a diferentes grupos de antifúngicos. Elaboración propia.

Nota: Los valores presentados corresponden a una síntesis comparativa basada en las tendencias generales observadas en los estudios analizados, con el

propósito de ilustrar los perfiles de resistencia antifúngica entre las principales especies de *Candida*.

Al analizar los perfiles de resistencia antifúngica entre las diferentes especies de *Candida*, se evidencia que las especies no-albicans, como *Candida glabrata* y *Candida krusei*, muestran mayores niveles de resistencia, especialmente frente a los antifúngicos del grupo de los azoles. Por el contrario, *Candida albicans* muestra menores niveles de resistencia en comparación con las demás especies. Además, especies como *Candida tropicalis* y *Candida parapsilosis* presentan niveles intermedios de resistencia. Estas diferencias pueden atribuirse a la presencia de mecanismos intrínsecos y adaptativos, como la sobreexpresión de bombas de eflujo, alteraciones en la diana del fármaco y la capacidad de formación de biopelículas, lo que les confiere a las especies no-albicans una mayor capacidad de supervivencia frente a la presión antifúngica en ambientes acuáticos.

Es importante mencionar que los valores de frecuencia no se utilizaron en la representación gráfica, ya que la Tabla 1 corresponde a una síntesis de tipo cualitativo de los estudios analizados y no a un conteo directo de aislamientos o eventos independientes. En varios de los estudios incluidos se reportan múltiples especies de *Candida*, así como diferentes perfiles de resistencia frente a distintos antifúngicos dentro de un mismo estudio, lo que dificulta establecer una relación directa entre la frecuencia y el número total de estudios. Por ello, el uso de frecuencias podría generar una interpretación errónea o sobreestimada de los datos. En su lugar, se optó por representar la información en términos de proporción (%), lo que permite una visualización más clara y comparable de la distribución relativa de las especies y de los patrones de resistencia antifúngica reportados.

Análisis de resultados

El análisis de los 19 estudios incluidos en esta revisión sistemática permitió identificar patrones consistentes relacionados con la ocurrencia y resistencia antifúngica de especies del género *Candida* en diversos ambientes acuáticos. En general, los resultados muestran que estos microorganismos no solo se encuentran ampliamente distribuidos en distintos tipos de cuerpos de agua, sino que también presentan perfiles de resistencia que representan un posible riesgo para la salud pública (Ramos et al., 2024; Pagani et al., 2022; Milanezi et al., 2019; Maciel et al., 2019).

En primer lugar, se encontró que las especies de *Candida* se reportaron en una gran variedad de ambientes acuáticos, incluyendo aguas residuales, aguas subterráneas, agua potable, lagos, playas, estuarios y sistemas acuáticos artificiales. Esta diversidad de hábitats indica que el género *Candida* presenta una alta capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales, lo que favorece su persistencia y dispersión. En especial, las aguas residuales y los ambientes

impactados por actividades humanas se asociaron con mayor frecuencia con la presencia de estas levaduras (Babler et al., 2023; Chavez et al., 2024; Titilawo et al., 2025; Román Juliá, 2011).

En relación con la diversidad de especies, se identificó un predominio de especies clínicamente relevantes como *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Candida parapsilosis*, *Candida glabrata* y *Candida krusei*, así como la presencia emergente de *Candida auris*. La detección de estas especies en ambientes acuáticos es especialmente significativa, debido a su reconocido papel como patógenos oportunistas en humanos. Además, varios estudios reportaron una mayor frecuencia de especies no-*albicans*, las cuales se han asociado con mayores niveles de resistencia antifúngica (Brilhante et al., 2016; Echevarría, 2025).

Respecto a los perfiles de resistencia antifúngica, los resultados muestran una tendencia preocupante. Se reportaron altos niveles de resistencia, especialmente frente a antifúngicos del grupo de los azoles, como el fluconazol, itraconazol y voriconazol. En algunos estudios, una proporción considerable de los aislados presentó resistencia a fluconazol, como se evidenció en ambientes costeros impactados, mientras que, en otros contextos, como aguas subterráneas, se reportaron niveles extremadamente altos de resistencia. Asimismo, se identificaron casos de multiresistencia, donde los aislados mostraron resistencia simultánea a múltiples antifúngicos (Pagani et al., 2022; Titilawo et al., 2025).

Otro aspecto importante es la identificación de mecanismos asociados a la resistencia antifúngica. Algunos estudios reportaron la participación de sistemas de eflujo, como CDR1, CDR2 y MDR1, junto con la formación de biofilms y la producción de enzimas hidrolíticas como factores que favorecen la persistencia y la resistencia de estas levaduras en el ambiente (Corrêa-Moreira et al., 2024; Brilhante et al., 2016). Estos mecanismos favorecen la supervivencia en condiciones adversas y además incrementan su potencial patogénico.

Además, varios estudios mostraron el papel de factores ambientales y antrópicos en la selección y diseminación de cepas resistentes. La contaminación por aguas residuales, el uso de antifúngicos en el ámbito clínico y la aplicación de fungicidas en la agricultura se identificaron como factores determinantes en la presión selectiva que favorece la aparición de resistencia. En este contexto, se identificó una posible relación entre el uso de azoles en agricultura y la resistencia cruzada en especies de *Candida* aisladas del ambiente (Tseng et al., 2024; Sánchez Quitian et al., 2024).

Por otra parte, algunos estudios destacaron la capacidad de estos microorganismos para persistir en nichos poco convencionales, como superficies plásticas en ambientes acuáticos, lo que podría facilitar su dispersión a través de diferentes ecosistemas (Metcalf et al., 2025). Asimismo, la presencia de *Candida* en aguas destinadas al consumo humano y actividades recreativas representa un riesgo adicional, especialmente para poblaciones vulnerables (Maciel et al., 2019).

Los resultados obtenidos indican que los ambientes acuáticos funcionan como reservorios importantes de especies de *Candida* con potencial patógeno y perfiles de resistencia antifúngica. La combinación de factores ambientales, la contaminación antropogénica y los mecanismos biológicos de resistencia favorecen la persistencia y diseminación de estas levaduras. Esto evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo y control en estos ecosistemas.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática muestran que los ambientes acuáticos cumplen un papel importante como reservorios de especies del género *Candida* con perfiles de resistencia antifúngica, lo que refuerza la necesidad de abordar este fenómeno desde una perspectiva integral que involucre la interacción entre ambiente, humanos y actividades antrópicas.

Uno de los principales hallazgos es la presencia de *Candida* en diversos ambientes acuáticos, incluyendo aguas residuales, agua potable, ecosistemas recreativos y aguas subterráneas. Este patrón coincide con lo reportado en la literatura, donde se indica que los patógenos fúngicos pueden persistir y evolucionar en reservorios ambientales antes de ser transmitidos a nuevos hospedadores (Akinbobola et al., 2023). En particular, se ha sugerido que especies emergentes como *Candida auris* podrían tener un origen ambiental, lo que respalda la idea de que el ambiente actúa como medio de dispersión y también como un espacio activo en la evolución de la resistencia.

En este escenario, los estudios analizados muestran que las aguas residuales constituyen uno de los principales focos de resistencia antifúngica. Esto se explica por la acumulación de contaminantes farmacéuticos, especialmente antifúngicos, que llegan al ambiente a través de descargas hospitalarias, domésticas e industriales. La literatura respalda esta observación, indicando que los antifúngicos, particularmente los azoles, se detectan con frecuencia en aguas residuales y cuerpos de agua, lo que genera una presión selectiva que favorece el desarrollo de resistencia en levaduras oportunistas (Monapathi et al., 2021). La exposición continua a concentraciones subletales de fármacos contribuye a la selección y mantenimiento de cepas resistentes en el ambiente.

Uno de los patrones más consistentes identificados en esta revisión corresponde a la alta resistencia a antifúngicos del grupo de los azoles, como fluconazol e itraconazol. Este hallazgo coincide con lo reportado en estudios clínicos y ambientales, donde se indica que la resistencia antifúngica ha aumentado debido a la limitada disponibilidad de clases terapéuticas, junto con el uso extendido de estos compuestos (Denning, 2022). Además, se ha reportado que los mecanismos de resistencia en *Candida* incluyen principalmente la sobreexpresión de bombas de eflujo y mutaciones en los sitios diana de los antifúngicos, lo que disminuye significativamente la eficacia del tratamiento.

La elevada proporción de resistencia al fluconazol observada en los estudios analizados tiene implicaciones clínicas relevantes, ya que este antifúngico es uno de los más utilizados como tratamiento de primera línea para infecciones por *Candida*. La disminución de su eficacia puede limitar las opciones terapéuticas, especialmente en entornos con recursos restringidos, donde el acceso a antifúngicos de segunda línea es limitado. Además, el aumento de la resistencia puede llevar a fallas terapéuticas, prolongación de las infecciones y mayor riesgo de complicaciones en pacientes vulnerables. En este escenario, es necesario fortalecer la vigilancia de la resistencia antifúngica y promover el uso racional de estos fármacos para evitar la expansión de cepas resistentes.

Un aspecto particularmente relevante es la relación entre el uso de azoles en la agricultura y la aparición de resistencia en cepas ambientales. Los resultados de esta revisión muestran que en ambientes influenciados por actividades agrícolas se detectan niveles importantes de resistencia, lo cual puede explicarse por la similitud estructural y funcional entre los azoles utilizados en medicina y aquellos empleados como fungicidas. De acuerdo con la literatura, esta similitud permite la aparición de resistencia cruzada, donde la exposición a fungicidas agrícolas selecciona cepas que posteriormente presentan resistencia a antifúngicos clínicos (Allison & Hyland, 2025). Este fenómeno refuerza la importancia de considerar la resistencia antifúngica como un problema que trasciende el ámbito clínico.

Por otro lado, los mecanismos de supervivencia y persistencia de *Candida* en el ambiente también cumplen un papel importante en la problemática analizada. Entre estos, la formación de biofilms se reconoce como uno de los principales factores que favorecen la resistencia antifúngica. Los biofilms actúan como barreras físicas y químicas que dificultan la penetración de los antifúngicos y favorecen la cooperación entre microorganismos y la estabilidad de las poblaciones resistentes (Amann et al., 2025). Esto ayuda a explicar por qué muchas de las cepas aisladas en ambientes acuáticos presentan altos niveles de resistencia y capacidad de persistencia prolongada.

Es importante tener en cuenta que los resultados relacionados con la resistencia antifúngica pueden verse influenciados por diferencias metodológicas entre los estudios analizados. En específico, se identificó el uso de distintos métodos para la determinación de la susceptibilidad antifúngica, como técnicas de microdilución en caldo, difusión en disco y sistemas automatizados, además del uso de diferentes criterios de interpretación basados en estándares como CLSI o EUCAST. Estas diferencias metodológicas pueden generar discrepancias en los valores de concentración mínima inhibitoria (CMI) y en la categorización de los aislamientos como sensibles o resistentes. Además, algunos estudios evaluaron un número limitado de antifúngicos o utilizaron condiciones experimentales distintas, lo que dificulta su comparación directa entre resultados. En este contexto, la heterogeneidad metodológica debe tenerse en cuenta al interpretar

los hallazgos, ya que podría influir en la estimación real de la resistencia antifúngica en ambientes acuáticos.

La presencia de especies como *Candida auris* en algunos de los estudios incluidos representa un hallazgo relevante. Esta especie ha sido considerada como un patógeno emergente de alta prioridad debido a su capacidad de resistencia múltiple y facilidad de transmisión. Se ha reportado que *C. auris* puede persistir tanto en superficies como en el ambiente durante periodos prolongados, lo que favorece su diseminación y aumenta el riesgo de brotes (Eix & Nett, 2025). La detección de esta especie en ambientes acuáticos indica que estos ecosistemas podrían estar participando en su ciclo de transmisión.

Otro aspecto importante es la influencia de factores antrópicos en la selección de cepas resistentes. La contaminación ambiental, el uso indiscriminado de antifúngicos y la falta de tratamiento adecuado de aguas residuales contribuyen de manera significativa a la presión selectiva que impulsa la resistencia. En este contexto, los resultados de esta revisión coinciden con lo reportado en estudios que resaltan la necesidad de implementar estrategias de control más estrictas, incluyendo el manejo adecuado de residuos farmacéuticos y la regulación del uso de antifúngicos en diferentes sectores.

En este escenario, las implicaciones de la resistencia antifúngica trascienden el ámbito ambiental y representan un desafío significativo para la salud pública. El incremento de cepas resistentes puede reflejarse en mayores costos en el tratamiento, debido al uso de antifúngicos más costosos o a la necesidad de terapias combinadas, así como en estancias hospitalarias más prolongadas. Asimismo, la limitada disponibilidad de nuevas clases de antifúngicos resalta la necesidad de impulsar el desarrollo de alternativas terapéuticas eficaces. Estas infecciones pueden ocasionar complicaciones clínicas, recaídas y una disminución en la calidad de vida, especialmente en poblaciones vulnerables.

Ante este panorama, es fundamental implementar estrategias concretas orientadas a controlar la resistencia antifúngica en ambientes acuáticos. Entre estas medidas, se destaca el fortalecimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, para reducir la liberación de microorganismos resistentes y residuos farmacéuticos al ambiente. Además, es necesario promover una regulación más estricta del uso de antifúngicos en la agricultura y la industria, evitando su uso indiscriminado y reduciendo la presión selectiva que favorece la resistencia.

Los hallazgos de esta revisión resaltan la importancia del enfoque One Health como marco integral para abordar la resistencia antifúngica. La interacción entre los ecosistemas acuáticos, la salud humana y las actividades antrópicas muestra que esta problemática no puede abordarse de manera aislada. En este contexto, es necesario implementar estrategias concretas, como el fortalecimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías más eficientes

que reduzcan la carga de microorganismos resistentes y residuos farmacéuticos, así como regular el uso de antifúngicos en sectores como la salud, la agricultura y la industria, promoviendo su uso racional. De igual forma, las instituciones de salud y ambientales deben fortalecer los programas de vigilancia epidemiológica y ambiental, lo que permite la detección temprana de cepas resistentes. Además, la educación y sensibilización de la población y del personal sanitario son fundamentales para prevenir el uso inadecuado de estos fármacos. Estas acciones contribuyen a mitigar la diseminación de la resistencia y preservar la eficacia de los tratamientos disponibles.

Conclusiones

Los resultados de esta revisión sistemática muestran que los ambientes acuáticos actúan como un reservorio relevante de especies del género *Candida* con perfiles de resistencia antifúngica, lo que representa un problema emergente para la salud pública. Se identificó una presencia constante de especies clínicamente relevantes, como *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Candida parapsilosis*, *Candida glabrata* y *Candida krusei*, además de especies emergentes como *Candida auris*, lo que indica una conexión entre el entorno ambiental y el ámbito clínico.

Estos hallazgos reflejan que la resistencia antifúngica en *Candida* es un fenómeno multifactorial influenciado por factores ambientales, biológicos y humanos, incluyendo mecanismos como la formación de biopelículas y sistemas de expulsión de fármacos que favorecen su persistencia y capacidad patogénica. En este contexto, se hace necesario fortalecer la vigilancia ambiental y epidemiológica, promover el uso racional de antifúngicos y desarrollar estrategias integrales bajo el enfoque One Health que permitan mitigar la diseminación de cepas resistentes. Asimismo, se recomienda continuar con investigaciones que profundicen en la dinámica de estos microorganismos en ambientes acuáticos, con el fin de apoyar la toma de decisiones en salud pública y el diseño de medidas de control más efectivas.

Referencias bibliográficas

1. Akinbobola, A. B., Kean, R., Hanifi, S. M. A., & Quilliam, R. S. (2023). Environmental reservoirs of the drug-resistant pathogenic yeast *Candida auris*. *PLOS Pathogens*, 19(4), e1011268. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1011268>
2. Alhatmi, H., Almansour, S., Abanamy, R., Akbar, A., Abalkhail, M., Alharbi, A., ... & Alothman, A. (2022). Clinical characteristics and outcome of candidemia: experience from a tertiary referral center in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Medicine & Medical Sciences*, 10(2), 125–130.
3. Allison, J. C., & Hyland, E. M. (2025). From crops to clinic: the impact of dual azole use on antifungal resistance in *Candida* and *Candida* associated yeasts. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1656723. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1656723>

4. Amann, V., Kissmann, A. K., Firacative, C., & Rosenau, F. (2025). Biofilm-Associated Candidiasis: Pathogenesis, Prevalence, Challenges and Therapeutic Options. In *Pharmaceuticals* (Vol. 18, Number 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ph18040460>
5. Babič, M. N., & Gunde-Cimerman, N. (2025). Potable water as a source of intermediate and borderline-resistant *Aspergillus* and *Candida* strains. *Journal of Water and Health*, 23(2), 225–237. <https://doi.org/10.2166/wh.2025.300>
6. Babler, K., Sharkey, M., Arenas, S., Amirali, A., Beaver, C., Comerford, S., Goodman, K., Grills, G., Holung, M., Kobetz, E., Laine, J., Lamar, W., Mason, C., Pronty, D., Reding, B., Schürer, S., Schaefer Solle, N., Stevenson, M., Vidović, D., ... Shukla, B. (2023). Detection of the clinically persistent, pathogenic yeast spp. *Candida auris* from hospital and municipal wastewater in Miami-Dade County, Florida. *Science of the Total Environment*, 898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165459>
7. Baker, T. (2025). *Pilot-scale wastewater surveillance for pathogenic yeasts in Mangaung, South Africa*. University of the Free State. <http://hdl.handle.net/11660/13087>
8. Barber, C., Crank, K., Papp, K., Innes, G. K., Schmitz, B. W., Chavez, J., Rossi, A., & Gerrity, D. (2023). Community-Scale Wastewater Surveillance of *Candida auris* during an Ongoing Outbreak in Southern Nevada. *Environmental Science & Technology*, 57(4), 1755–1763. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07763>
9. Biancani, B., Mauri, F., Nezio, F. Di, Binanti, D., Furlati, S., Roman, S., & Matteucci, G. (2025). *Antifungal Resistance and Synergistic Therapy in Candida Spp. Isolated From Bottlenose Dolphins Under Human Care: Implications for One Health Management*. <https://doi.org/10.1002/vms3.70668>
10. Brandão, L. R., Medeiros, A. O., Duarte, M. C., Barbosa, A. C., & Rosa, C. A. (2010). Diversity and antifungal susceptibility of yeasts isolated by multiple-tube fermentation from three freshwater lakes in Brazil. *Journal of Water and Health*, 8(2), 279–289. <https://doi.org/10.2166/wh.2009.170>
11. Brilhante, R. S. N., Paiva, M. A. N., Sampaio, C. M. S., Castelo-Branco, D. S. C. M., Teixeira, C. E. C., de Alencar, L. P., Bandeira, T. J. P. G., Monteiro, A. J., Cordeiro, R. A., Pereira-Neto, W. A., Sidrim, J. J. C., Moreira, J. L. B., & Rocha, M. F. G. (2016). Azole resistance in *Candida* spp. isolated from Catú Lake, Ceará, Brazil: an efflux-pump-mediated mechanism. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(1), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.008>
12. Caicedo-Bejarano, L. D., Morante-Caicedo, A., Castro-Narváez, S. P., & Serna-Galvis, E. A. (2024). Alternative and Classical Processes for Disinfection of Water Polluted by Fungi: A Systematic Review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Number 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16070936>
13. Chavez, J., Crank, K., Barber, C., Gerrity, D., Iverson, T., Mongillo, J., Weil, A., Rider, L., Lacross, N., Oakeson, K., & Rossi, A. (2024). Early Introductions of *Candida auris* Detected by Wastewater Surveillance, Utah, USA, 2022–2023.

14. Collin, B., Clancy, C. J., & Nguyen, M. H. (1999). Antifungal resistance in non-albicans *Candida* species. *Drug Resistance Updates*, 2(1), 9–14.
<https://doi.org/10.1054/drup.1998.0059>
15. Cornistein, W., Mora, A., Orellana, N., Capparelli, F. J., & del Castillo, M. (2013). *Candida*: epidemiología y factores de riesgo para especies no albicans. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 31(6), 380–384.
16. Corrêa-Moreira, D., da Costa, G. L., de Lima Neto, R. G., Pinto, T., Salomão, B., Fumian, T. M., Mannarino, C. F., Prado, T., Miagostovich, M. P., de Souza Ramos, L., Souza dos Santos, A. L., & Oliveira, M. M. E. (2024). Screening of *Candida* spp. in wastewater in Brazil during COVID-19 pandemic: workflow for monitoring fungal pathogens. *BMC Biotechnology* 2024 24:1, 24(1), 43–.
<https://doi.org/10.1186/s12896-024-00868-z>
17. Denning, D. W. (2022). 109 Denning DW. *Eur J Hosp Pharm*, 29, 109–112.
<https://doi.org/10.1136/ejhpharm-2020-002604>
18. Echevarría, L. (2025a). *Candida* species Isolated from Aquatic Ecosystems of the Arecibo region, Puerto Rico: Beach, Estuary and River. *International Journal of Molecular Microbiology*, 8(1), 43–51.
<https://psmjournals.org/index.php/ijmm/article/view/883>
19. Echevarría, L. (2025b). Molecular Microbiology *Candida* species Isolated from Aquatic Ecosystems of the Arecibo region, Puerto Rico: Beach, Estuary and River. In *International Journal of International Journal of Molecular Microbiology* (Vol. 8, Number 1). <https://www.google.com>
20. Eix, E. F., & Nett, J. E. (2025). *Candida auris*: Epidemiology and Antifungal Strategy. *Annual Review of Medicine*, 76(Volume 76, 2025), 57–67.
<https://doi.org/10.1146/annurev-med-061523-021233>
21. Maciel, N. O. P., Johann, S., Brandão, L. R., Kucharíková, S., Morais, C. G., Oliveira, A. P., Freitas, G. J. C., Borelli, B. M., Pellizzari, F. M., Santos, D. A., Van Dijck, P., & Rosa, C. A. (2019). Occurrence, antifungal susceptibility, and virulence factors of opportunistic yeasts isolated from Brazilian beaches. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 114(2). <https://doi.org/10.1590/0074-02760180566>
22. Metcalf, R., Akinbobola, A., Woodford, L., & Quilliam, R. S. (2025). Thermotolerance, virulence, and drug resistance of human pathogenic *Candida* species colonising plastic pollution in aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research International*, 32(24), 14993–15005.
<https://doi.org/10.1007/s11356-025-36558-2>
23. Milanezi, A. C. M., Witusk, J. P. D., & van der Sand, S. T. (2019). Antifungal susceptibility of yeasts isolated from anthropogenic watershed. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(1), e20170369. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170369>
24. Monapathi, M. E., Oguegbulu, J. C., Adogo, L., Klink, M., Okoli, B., Mtunzi, F., & Modise, J. S. (2021). Pharmaceutical Pollution: Azole Antifungal Drugs and

- Resistance of Opportunistic Pathogenic Yeasts in Wastewater and Environmental Water. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021(1), 9985398. <https://doi.org/10.1155/2021/9985398>
25. Pagani, D. M., Heidrich, D., Tormente, F., Milani, G., Jank, L., They, N. H., Valente, P., & Scroferneker, M. L. (2022). High MICs for antifungal agents in yeasts from an anthropized lagoon in South America. *Microbiological Research*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127083>
 26. Ramos, L. S., Fernandes, M. F., Santos, H. L. C., Picão, R. C., Branquinha, M. H., & Santos, A. L. S. (2024). Candida spp. isolated from recreational coastal waters of Rio de Janeiro – Brazil: Focus on antifungal resistance and virulence attributes. *Science of the Total Environment*, 947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174662>
 27. Román Juliá, R. O. (2011). *FLUCONAZOL RESISTANCE IN YEAST POPULATIONS FROM COASTAL HABITATS IMPACTED BY SEWAGE AND WASTEWATER DISCHARGES*.
 28. Sánchez-Baena, A. M., Caicedo-Bejarano, L. D., & Chávez-Vivas, M. (2021). Structure of bacterial community with resistance to antibiotics in aquatic environments. A systematic review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Number 5, pp. 1–20). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052348>
 29. Tamo, S. P. B. (2020). Candida Infections: Clinical Features, Diagnosis and Treatment. *Infectious Diseases and Clinical Microbiology*, 2(2), 91–102. <https://doi.org/10.36519/IDCM.2020.0006>
 30. Titilawo, M. A., Adenike Titilawo, M., Esan, O. T., Oyetunbi, D. I., Titilawo, Y., & Olaitan, J. O. (2025). Investigating an emerging menace in groundwater sources: the occurrence, antifungal resistance phenotypes, and virulence potential of yeast contaminants. *Discover Water* 2025 5:1, 5(1), 87-. <https://doi.org/10.1007/s43832-025-00283-1>
 31. Tseng, K. Y., Chen, Y. Z., Zhou, Z. L., Tsai, J. N., Tseng, M. N., Liu, H. L., Wu, C. J., Liao, Y. C., Lin, C. C., Tsai, D. J., Chen, F. J., Hsieh, L. Y., Huang, K. C., Huang, C. H., Chen, K. T., Chu, W. L., Lin, C. M., Shih, S. M., Hsiung, C. A., ... Lo, H. J. (2024). Detection in Orchards of Predominant Azole-Resistant Candida tropicalis Genotype Causing Human Candidemia, Taiwan. *Emerging Infectious Diseases*, 30(11), 2323–2332. <https://doi.org/10.3201/eid3011.240545>
 32. Valério, A. D., de Menezes, G. C. A., Rosa, C. A., & Johann, S. (2025). Into the Wild: A Look at Candida albicans Outside the Clinical Setting. *Journal of Fungi* 2025, Vol. 11, Page 622, 11(9), 622. <https://doi.org/10.3390/jof11090622>