

**Evaluación de procesos fotoquímicos de oxidación avanzada para la  
inactivación y/o reactivación de una cepa de *Candida albicans***

**Emerson Yesid Zamora Adrada  
Daniela Guerrero Rivera**

**Directoras  
Luz Dary Caicedo Bejarano Ms.C  
Sandra Patricia Castro Narvárez Ms.C**

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Microbiología  
Cali, Colombia  
2024**

**Evaluación de proceso fotoquímicos de oxidación avanzada para la inactivación y/o reactivación de una cepa de *Candida albicans***

**Emerson Yesid Zamora Adrada  
Daniela Guerrero Rivera**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Microbiólogo**

**Directoras  
Luz Dary Caicedo Bejarano Ms.C  
Sandra Patricia Castro Narvárez Ms.C**

**Línea de Investigación:  
Aislamiento de hongos patógenos, Electroquímica y nuevos materiales  
Grupo de Investigación:  
GIM y GIEMA**

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Microbiología  
Cali, Colombia  
2024**

## IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado

| IMPACTO                       | PRODUCTO   | BENEFICIARIO(S)      |
|-------------------------------|--|----------------------|
| <b>Económico</b>              | Generar mejoras, más eficientes y económicas en métodos para la desinfección de contaminantes.                     | Empresarios          |
| <b>Responsabilidad social</b> | Eliminar contaminantes patógenos de agua potable y superficies.  | Comunidad social     |
| <b>Científico</b>             | Implementación de métodos para la desinfección de ambientes por contaminación como lo es <i>Candida albicans</i> . | Comunidad científica |
| <b>Ambiental</b>              | Gestionar un método más eficiente para la eliminación de contaminantes resistente a los antimicóticos.             | El medio ambiente    |
| <b>Social</b>                 | Generación de un método más eficiente para la inactivación de contaminantes.                                       | Comunidad social     |

# EVALUCIÓN DE PROCESOS FOTOQUÍMICOS DE OXIDACIÓN AVANZADA PARA LA INACTIVACIÓN Y/O REACTIVACION DE UNA CEPA DE *CANDIDA ALBICANS*

Zamora-Adrada Emerson Yesid<sup>1</sup>, Guerrero-Rivera Daniela<sup>1</sup>, Castro-Narváez Sandra Patricia<sup>2</sup> y Caicedo-Bejarano Luz Dary<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Grupo de investigación GIM, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Santiago de Cali, Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali, Colombia;

<sup>2</sup>. Grupo de investigación GIEMA, Facultad de ciencias Básicas Universidad Santiago de Cali. [emerson.zamora00@usc.edu.co](mailto:emerson.zamora00@usc.edu.co); [danielaguerrero04@usc.edu.co](mailto:danielaguerrero04@usc.edu.co); [sandracaastro00@usc.edu.co](mailto:sandracaastro00@usc.edu.co); [luz.caicedo00@usc.edu.co](mailto:luz.caicedo00@usc.edu.co).

## RESUMEN

*Candida albicans* es un patógeno fúngico prioritario por la OMS, oportunista, que causa enfermedades en piel, mucosas e infecciones fúngicas invasivas con tasas de mortalidad muy altas. En este estudio se determinó el efecto de algunos procesos de oxidación avanzada sobre la tasa de inactivación y reactivación de una cepa *C. albicans*. Se realizaron 9 ensayos de inactivación (PDS, PMS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UVC, PDS/UVC, PMS/UVC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC, Foto-Fenton pH 3.4, Foto-Fenton pH 7.29) y 4 ensayos de reactivación (UVC, PDS/UVC, PMS/UVC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC). Los mejores resultados se dieron con las combinaciones UVC/PMS y UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con un 100% de remoción a los 30s, seguido de UVC/PDS a partir de los 45s y la luz UVC a los 60s. Los oxidantes PMS evidenció 98% de remoción a los 60s; PDS 89% a los 80s, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> un 60% a los 80s. El proceso Foto-Fenton presentó un máximo de remoción del 41% y 50% a pH 3.4 y 7.29, respectivamente, a los 60s. Con relación a la reactivación de la cepa de *C. albicans*, se logró determinar que el tiempo mínimo de exposición para la inhibición de *C. albicans* sin reactivación fue a los 45s para PMS/UVC y para UVC, PDS/UVC y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC a los 60s. En conclusión, estos procesos de oxidación avanzada fueron métodos efectivos para la inhibición de una cepa de *C. albicans*, siendo de los ensayos PMS/UVC el más eficiente, seguido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC, PDS/UVC, luz UVC, PMS, PDS y, por último, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** *Candida albicans*, Inactivación/Reactivación, Luz UV, Procesos de oxidación avanzada.

# EVALUATION OF PHOTOCHEMICAL ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR THE INACTIVATION/REACTIVATION OF A *CANDIDA ALBICANS* STRAINS

## ABSTRACT

*Candida albicans* is a priority fungal pathogen for the OMS, opportunistic, causing diseases in skin, mucous membranes, and invasive fungal infections with very high mortality rates. This study determined the effect of some advanced oxidation processes on the inactivation and reactivation rate of a *C. albicans* strain. For this, 9 inactivation assays (PDS, PMS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UVC, PDS/UVC, PMS/UVC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC, Photo-Fenton pH 3.4, Photo-Fenton pH 7.29) and 4 reactivation assays (UVC, PDS/UVC, PMS/UVC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC) were performed. The best results were obtained with the UVC/PMS and UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> combinations with 100% removal at 30 seconds (s), followed by UVC/PDS from 45s and UVC light at 60s. The oxidants PMS achieved 98% removal at 60s; PDS 89% at 80s; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 60% at 80s. The Photo-Fenton process showed a maximum removal of 41% and 50% at pH 3.4 and 7.29, respectively, at 60s. Regarding the reactivation of the *C. albicans* strain, it was determined that the minimum exposure time for the inhibition of *C. albicans* without reactivation was 45s for PMS/UVC and 60s for UVC, PDS/UVC, and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC. In conclusion, these advanced oxidation processes were effective methods for the inhibition of a *C. albicans* strain, with the PMS/UVC assays being the most efficient, followed by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC, PDS/UVC, UVC light, PMS, PDS, and finally, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Keywords:** *Candida albicans*, Advanced oxidation processes, UV light, Inactivation/Reactivation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los hongos son organismos ubicuos que pueden sobrevivir en diversos ambientes, como suelo, agua, aire, alimentos y otros seres vivos (Heredia, 2020). Aunque la mayoría son beneficiosos para el hombre, algunos hongos patógenos pueden causar infecciones fúngicas invasivas. La resistencia creciente de estos hongos a los tratamientos farmacológicos constituye un problema significativo de salud pública, especialmente para los pacientes inmunosuprimidos (Pérez, 2022). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 300 millones de personas en todo el mundo sufren infecciones fúngicas cada año. En 2022, la OMS incluyó a *Candida albicans* en su lista de patógenos fúngicos prioritarios debido a su impacto en la salud pública (OMS, 2022).

La contaminación mundial por hongos, particularmente por *Candida albicans*, representa un desafío significativo para la salud pública (Chávez & Coronado, 2019), (Montenegro, 2024). Las infecciones por *Candida albicans*, conocidas como candidiasis, es una de las causas más importantes de infecciones micóticas a nivel mundial, afectando a más de 250 mil personas por año, especialmente a aquellos con el sistema inmunológico debilitado (Espitia & Ramos, 2021). La candidiasis invasiva representa el 75% de las infecciones en pacientes hospitalizados, con una mortalidad del 78% (Cortés, Ruiz, Melgarejo & Lemos, 2020) (Macalupú, 2018). *C. albicans* es el patógeno aislado con mayor frecuencia sobre dispositivos biomédicos, diferentes ambientes y superficies, convirtiéndose en un foco de diseminación de la infección y aumentando la estancia hospitalaria y los costos de atención, además de la mortalidad (López & Dzul, 2016), (Chávez & Coronado, 2019), (Arenas & Rosas, 2020).

La resistencia antimicótica es una preocupación importante en el manejo de infecciones por *Candida albicans*. El uso frecuente y prolongado de antimicóticos ha llevado al desarrollo de cepas resistentes (Osorio, 2018) (Guzmán & Castillo, 2011), (Osorio, 2018). El estudio de vigilancia de resistencia ARTEMIS (1997-2005) mostró un incremento en la resistencia al fluconazol por *Candida albicans* de 0.8% a 1.5% (Macalupú, 2018). y en Colombia, la resistencia a este antifúngico ha alcanzado hasta el 30% en Bogotá y el 22% en Medellín (Cortés & Moreno, 2020).

Para contrarrestar la resistencia antimicótica, se han desarrollado nuevos tratamientos y estrategias de control de infecciones de áreas clínicas probablemente contaminadas (agua, aire y superficies) que abarcan desde la desinfección ambiental hasta la gestión de residuos

hospitalarios. (Pérez & Rojas, 2020). Los procedimientos actuales de control de infecciones ambientales se centran casi por completo en la limpieza manual y la desinfección química. En este contexto, los procesos de oxidación avanzada (AOPS) han emergido como una solución potencial. Los AOPS generan especies reactivas de oxígeno, como los radicales hidroxilos, que tienen una alta capacidad oxidante, pueden degradar una amplia gama de contaminantes, incluyendo microorganismos patógenos. Se basan en mecanismos como la fotólisis, la electroquímica y la activación con peróxido de hidrógeno en presencia de luz ultravioleta (UV) para generar radicales hidroxilos ( $\text{HO}^*$ ), que pueden dañar componentes celulares de los microorganismos (Harpreet Singh et al., 2021) (Rodríguez & Barrera, 2020).

La desinfección con luz ultravioleta (UVC) es una modalidad de desinfección para el manejo de los brotes de especies de *Candida* y del avance de infecciones nosocomiales por estas levaduras. La tecnología de lámpara UVC a 254 nm es un proceso de desinfección evaluado en diferentes ambientes y superficies, tiene un amplio espectro (200-280nm) tanto de manera individual o combinado con diferentes agentes oxidantes (Sara Beck et al., 2014), (Jaime Reedy et al., 2023), (Róžańska et al., 2023). Puede inactivar microorganismos patógenos actuando sobre el material genético ADN/ARN y sobre las proteínas. En los ácidos nucleicos interrumpe el enlace adenina-timina, lo que da como resultado la formación de un dímero de pirimidina entre las adeninas que impide que éstos se repliquen, haciendo que su supervivencia sea muy corta (Xiaoling Li et al., 2019).

La eficacia de la luz UVC se ha utilizado para inactivar diferentes especies de levaduras como *Candida* sp., *Cryptococcus* sp, *Metschnikowia* sp., *Rhodosporidium* sp, *Rhodotorula* spp entre otras (Pereira, Ricardo, Galinha, Benoliel & Crepos, 2013). Alcanzando niveles de inactivación de hasta el 99% de efectividad. Sin embargo, se ha encontrado que puede haber un porcentaje de reactivación en la oscuridad y/o foto-reactivación cuando se utiliza esta técnica. Gang y colaboradores, 2019, encontraron que algunas esporas de *Penicillium polonicum* fueron más susceptibles a la reactivación que algunas especies de *Aspergillus* y *Trichoderma* (Gang Wen et al., 2019), demostrando que esta particularidad es propia de la especie.

La luz UVC combinada con persulfatos (peroxidisulfato ( $\text{PDS}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) y peroximonosulfato ( $\text{PMS}$ ,  $\text{HSO}_5^-$ ), además de producir radicales hidroxilos ( $\text{HO}^*$ ), genera radicales sulfatos ( $\text{SO}_4^{*-}$ ), los cuales tienen un alto potencial redox (2,5–3,1 V) con alta eficacia en la oxidación

de contaminantes químicos y microbiológicos (Tfofa, Raj, Prakash & Fatta, 2019). Las bondades de la inactividad de *Fusarium* con radiación UVA y UVC con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) fue evidenciado con mayores rendimientos que en oscuridad (Sichel, Ibáñez, Cara & Tello, 2009).

Este estudio hace aportes sobre los parámetros operacionales y las cinéticas de los procesos oxidativos basados en la luz UVC sobre la tasa de inactivación y reactivación de una cepa de *Candida albicans* con diferentes tipos de oxidantes. Así mismo, presenta resultados parciales de proceso foto-Fenton utilizando luz UVA.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 Reactivos y equipos:**

La resuspensión de la levadura se realizó en caldo glucosa según Sabouraud (Merck), el agar para recuento en placa fue YPD (Sigma-Aldrich). Los procesos de desinfección utilizaron los oxidantes peroxidisulfato (PDS), el peroximonosulfato (PMS) y peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), y las sales para los reactivos Fenton: cloruro de sodio, sulfato ferroso heptahidratado, adquiridos por Merck. Todos los reactivos se prepararon con agua desionizada de un sistema de agua Milli-Q de Merck. Todas las diluciones de los diferentes ensayos se realizaron con solución fisiológica. Las mediciones de absorbancia se efectuaron en un espectrofotómetro marca Spectronic a una longitud de onda de 530nm y una caja reflectora de aluminio casera dotada de una lámpara UV-C (OSRAM HNS®).

**2.2. Cepa de hongo:** *C. albicans* ATCC 66027 (cepa susceptible a antimicóticos usada como control para el equipo Vitek II), donada por la doctora Adriana Correa, profesora de la Universidad Santiago de Cali). La cepa liofilizada fue resuspendida en medio de cultivo líquido (Caldo Sabouraud 2%) y posteriormente se traspasó a un medio sólido (Agar Sabouraud 2% de glucosa, MERCK ref. 105438). Después de 48 horas se dispuso en crioviales con glicerina al 30% y se conservó en refrigeración entre 5-8°C. El tratamiento de la cepa en los diferentes ensayos consistió en tomar 10  $\mu$ L del material almacenado en los crioviales y sembrarlos por superficie en agar Sabouraud e incubación durante 48 horas a 30 C°. La preparación del inóculo consistió en homogenizar en vortex 5 colonias en 30 mL de solución salina fisiológica

(Cloruro de sodio al 0,85%) con lectura posterior de la turbidez en un espectrofotómetro marca Spectronic a una longitud de onda de 530 nm hasta obtener una densidad óptica de 0,5 (Equivalente a  $10^8$  UFC/mL).

**2.3. Preparación de los peróxidos y condiciones operacionales:** Se prepararon el mismo día del ensayo y se alejaron de la luz UV. Las concentraciones de los oxidantes en el reactor de 50 ml fueron de 500  $\mu$ M y 50  $\mu$ M. Las cuales fueron obtenidas por dilución de soluciones concentradas PMS (0,1537 g aforado en 10 mL), PDS (0,1190 g aforado en 10 mL) y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (57 $\mu$ L aforado en 10 mL). El volumen del reactor consistió en 45 mL de agua destilada y 5 mL del inóculo de la levadura.

**2.4. Fotolisis:** Los procesos se realizaron en una caja reflectora de aluminio de fabricación propia, dotada de una lámpara UV-C (OSRAM HNS®) de 8 W y máximo de emisión a 254 nm, cuyo flujo volumétrico de fotones fue de  $2.19 \times 10$  Einstein/L s (Intensidad 2.3  $\mu$ W /cm), medida por actinometría de peróxido de hidrógeno basada en (Kuhn et al., 1989). El reactor con el inóculo se colocó en agitación a 200 rpm y 25°C. Se dejó durante 30 minutos en oscuridad y se hicieron 3 diluciones seriadas en solución salina fisiológica ( $10^{-1}$  a  $10^{-4}$ ) para comprobar la concentración del inóculo (Tiempo 0). Luego, se expuso a la luz UVC y se tomó muestras a los 15, 30, 45, 60, y 80 s con las cuales se realizaron diluciones seriadas ( $10^{-1}$  a  $10^{-4}$ ). Las mediciones se realizaron por duplicado. En los ensayos de desinfección con PMS, PDS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se repitió el ensayo anterior pero agregando el oxidante (PMS, PDS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) antes de la fotolisis. El blanco se estableció en oscuridad.

**2.4. Ensayo Foto-Fenton:** el proceso foto-Fenton usó peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso heptahidratado (Fuente de hierro II) a dos diferentes condiciones de pH (3,4 y 7,29). El reactor de 50 mL contenía 45 mL del buffer, 5 mL del inóculo de la levadura, 50  $\mu$ L del sulfato ferroso heptahidratado y 500  $\mu$ l peróxido de hidrógeno. Se siguió el procedimiento de la fotolisis de la sección 2.4 pero usando una lampara UVA. El Buffer pH 3,4 se obtuvo mezclando solución de ácido cítrico 0.10M (87.6 mL) y una de citrato de sodio 0.01M (32.4 mL), el pH 7,29 se obtuvo con ajuste de pH de agua destilada estéril.

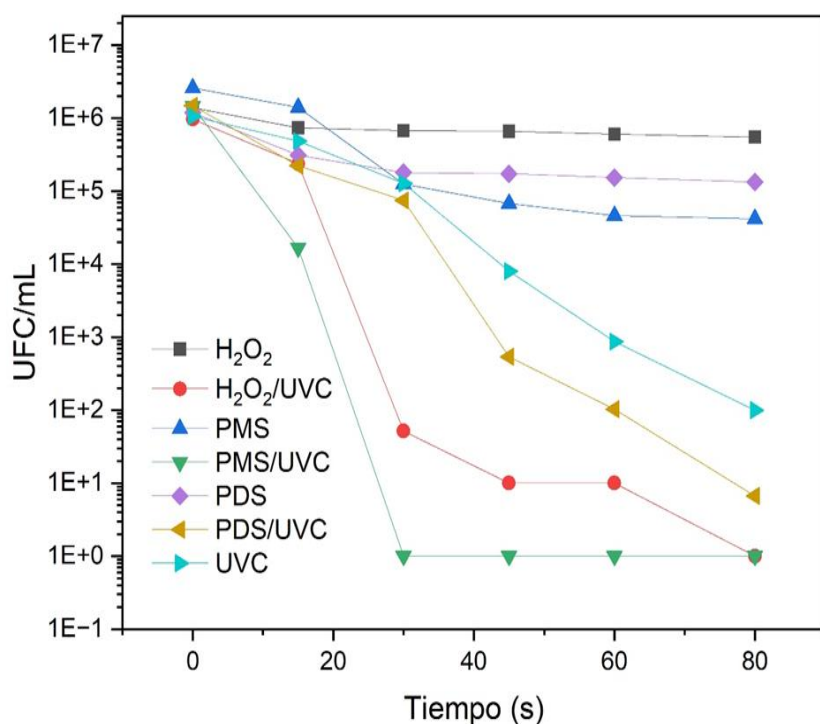
**2.5. Siembras microbiológicas de los diferentes ensayos de desinfección:** Se realizó por la técnica de masiva al depositar 100  $\mu$ L de cada dilución en cajas de Petri con medio de cultivo YPD. Todas las siembras se hicieron por duplicado y se dejaron a temperatura ambiente durante 72 horas. Pasadas las 72 horas se realizó el recuento de las unidades formadoras de colonias (UFC/mL) en las cajas con las diluciones que contuvieran entre 1–300 colonias.

**2.6 Ensayo de reactivación:** Después del proceso de fotólisis, se depositaron 100  $\mu$ L de cada ensayo en tubos de vidrio con tapa rosca, cada uno con 2 mL de caldo YPD estéril de los diferentes los tiempos. Se dejaron en incubación en oscuridad durante 5 días a 25°C y se realizaron observaciones diarias para detectar el crecimiento de la levadura. Todos los ensayos se hicieron por triplicado. Las siembras microbiológicas del ensayo de reactivación se utilizó el medio de cultivo agar YPD. Se sembraron 10  $\mu$ L de cada uno de los tubos del ensayo (con turbidez y sin turbidez) en cajas de Petri con el medio de cultivo para corroborar el crecimiento de la levadura. Este proceso se realizó a las 24, 48 y 120 horas de incubación. Por último, las cajas Petri se dejaron a 25°C durante 72 horas para verificar si presentó crecimiento fúngico.

**2.7. Análisis estadísticos:** Se utilizó análisis de varianza ANOVA para comparar los diferentes ensayos. Antes de emplear el ANOVA se verificó que los datos obtenidos se ajusten a una distribución normal, para ello, los datos se trataron con una prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de Kolmogorov Smirnov o Shapiro Wilks. Después, se comprobó la homogeneidad de la varianza de los datos de cada variable con la prueba de Levene. En caso de que se cumpla el supuesto de normalidad, pero no el de homogeneidad de varianza, se procedió a utilizar T2 de Tamhane. En caso de que el análisis de ANOVA muestre diferencias significativas entre los parámetros evaluados, se realizó la prueba Tukey o Friedman, con el fin de ejecutar comparaciones múltiples de medias y determinar específicamente entre qué ensayos existe la diferencia. El nivel de significancia de correlación que se estableció fue  $p < 0.05$ . Para los análisis de los POAs, se tuvo en cuenta las regresiones lineales múltiples, análisis de varianza, Teniendo en cuenta, que los análisis se ejecutaron con el InfoStat versión 2017.1.2.0 y OriginPro versión 10.1.0.0.

### 3. RESULTADOS

La Figura 1 presenta los cambios en el número de UFC/mL de los diferentes ensayos, consistentes en modificar los oxidantes (PMS 500  $\mu$ M; PDS 500  $\mu$ M y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500  $\mu$ M) en presencia de la radiación UVC desde el inoculo inicial con el tiempo 0 hasta los 80s y compararlos con sus respectivos blanco sin la radiación UVC. Se logró determinar que hubo diferencias significativas con un  $p < 0,001$  entre los tres oxidantes. Entre los blancos la disminución de las UFC/ml fue H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500  $\mu$ M < PDS 500  $\mu$ M < PMS 500  $\mu$ M. La mejor foto-oxidación se logró con PMS/UVC alcanzando inactivación total en 30s, mientras que el procedimiento de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC requirió 80s para alcanzar la inactivación total.



**Figura 1.** Cinética de inactivación de *C. albicans* ATCC 66027 oxidativos y foto-oxidativos métodos. Condiciones: en agua destilada (AD). V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500 $\mu$ M, pH: 7.4. Lámpara UVC.

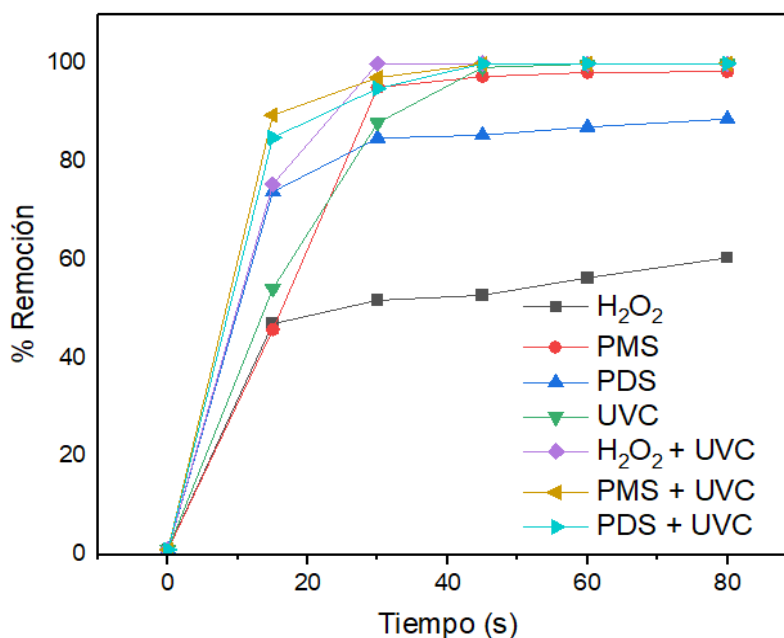
La comparación estadística de los resultados obtenidos únicamente con la luz UVC vs la adición de los oxidantes PMS y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> establece que hay diferencias significativas con  $p < 0,0001$ . Sin embargo, la combinación UVC/PDS 500  $\mu$ M no mostró diferencias significativas comparada con el blanco UVC ( $p = 0,4827$ ).

Los porcentajes de remoción de los ensayos para inactivar la cepa de *C. albicans* se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100 \quad (\text{Ec } 1)$$

Donde la concentración inicial corresponde a la arrojada para el tiempo 0 y la concentración final corresponde al valor arrojado para cada tiempo.

La Figura 2 ostenta los porcentajes de remoción de los diferentes ensayos comparando los diferentes oxidantes (PMS 500 μM; PDS 500 μM y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500 μM) con la luz UVC y la combinación de UVC/PMS 500 μM, UVC/PDS 500 μM y UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500 μM, desde el inoculo inicial con el tiempo 0 hasta los 80s. Con relación a la luz UVC y la combinación con los diferentes peróxidos se encontró que PMS/UVC 500 μM fue el que obtuvo el mayor porcentaje de remoción, con un porcentaje del 99% a los 15s y del 100% desde los 30s, después le sigue el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC 500 μM con un porcentaje del 75% a los 15s y del 100% desde los 30s, mientras que por último está el de PDS/UVC 500 μM con un 85% a los 15s y del 100% después los 45s.



**Figura 2.** Porcentaje de remoción de *C. albicans* ATCC 66027 por métodos oxidativos y foto-oxidativos. Condiciones: agua destilada (AD). V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500μM, pH: 7.4.

Las cinéticas siguieron un orden 1 con una mejor linealización al graficar los cambios en logaritmo natural de los números de UFC/mL vs el tiempo de análisis de los diferentes ensayos (Ver material suplementario). Los valores de la constante de velocidad de la reacción (K) de los diferentes ensayos se obtuvo a partir de la ecuación de la recta, la cual corresponde a la pendiente y el tiempo de vida media se usó la integración de la cinética de primer orden acorde a la ecuación 2.

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{K} \quad (\text{Ec 2})$$

La Tabla 1 resumen los resultados cinéticos consistentes en la constante de velocidad (K), tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) en la linealización del orden uno para la fotooxidación de *C. albicans* con los diferentes oxidantes (PMS 500  $\mu\text{M}$ ; PDS 500  $\mu\text{M}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  500  $\mu\text{M}$ ) con la luz UVC y la combinación de UVC/PMS 500  $\mu\text{M}$ , UVC/PDS 500  $\mu\text{M}$  y UVC/ $\text{H}_2\text{O}_2$  500  $\mu\text{M}$ . El tratamiento con mayor constante de velocidad es para el PMS/UVC 500  $\mu\text{M}$  (0,37828  $\text{s}^{-1}$ ) superando significativamente a los demás ensayos, como por ejemplo con el de  $\text{H}_2\text{O}_2$  500  $\mu\text{M}$ , que por el contrario fue el más lento (0,00939  $\text{s}^{-1}$ ). También, se puede evidenciar que el ensayo de control con solo luz UVC mostró una constante de velocidad de 0.12382  $\text{s}^{-1}$  superando los ensayos de control en oscuridad con los oxidantes, Se resalta que al combinar la radiación UVC con los peróxidos  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UVC, PDS/UVC y en especial el PMS/UVC ostenta una mayor eficacia al incrementar la constante en 46.3%; 31.1% y 205.5% respectivamente.

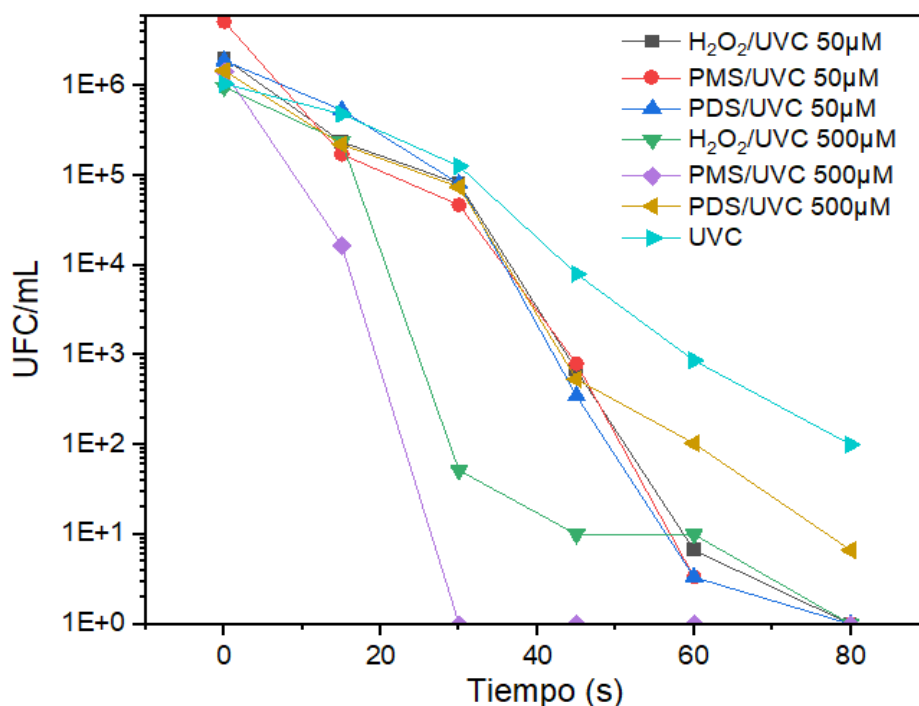
**Tabla 1.** Resultados cinéticos de la fotooxidación de *C. albicans* ATCC 66027

| Prueba de fotooxidación                       | K( $\text{s}^{-1}$ ) | $t_{1/2}$ (s) | $R^2$          |
|---|----------------------|---------------|----------------|
| $\text{H}_2\text{O}_2$ 500 $\mu\text{M}$      | 0,00939              | 73,8176       | 0,69768        |
| PMS 500 $\mu\text{M}$                         | 0,05628              | 12,3160       | 0,84042        |
| PDS 500 $\mu\text{M}$                         | 0,02332              | 29,7233       | 0,70434        |
| UVC 500 $\mu\text{M}$                         | 0,12382              | 5,5980        | 0,97675        |
| $\text{H}_2\text{O}_2$ /UVC 500 $\mu\text{M}$ | 0,1811               | 3,8274        | 0,84330        |
| <b>PMS/UVC 500<math>\mu\text{M}</math></b>    | <b>0,37828</b>       | <b>1,8324</b> | <b>1.00000</b> |
| PDS/UVC 500 $\mu\text{M}$                     | 0,16241              | 4,2679        | 0,97000        |

Condiciones: agua destilada (AD). V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [ $\text{H}_2\text{O}_2$ ]: [PDS]: 500 $\mu\text{M}$ , pH: 7.4.

En el caso del tiempo de vida media más bajo se logró con el tratamiento PMS/UVC correspondiente a 1.8324s; mientras que H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500 μM sin UVC fue el menos eficiente con 73.82s. Así mismo, el ensayo de control con luz UVC presentó un tiempo de vida media de 5.59s considerablemente inferior con respecto a los oxidantes en oscuridad que oscilaron entre 12.3 y 73.8 s. En el coeficiente de determinación el tratamiento de PMS/UVC 500 μM logró un valor perfecto, por lo que el modelo cinético describe con precisión la cinética de reacción en el ensayo. Los otros ensayos de los peróxidos en combinación con luz UVC, los R<sup>2</sup> están por encima de 0.84. Mientras que los ensayos de los peróxidos sin la radiación UVC como H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 500 μM, PDS 500μM y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC 500μM muestran ajustes entre 0.69 a 0.84.

La Figura 3 presenta los cambios en el número de UFC/mL de los diferentes ensayos, comparando la luz UVC y la combinación de UVC/PMS, UVC/PDS y UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a dos diferentes concentraciones (500 y 50 μM), desde el inoculo inicial con el tiempo 0 hasta los 80s. Siendo el tratamiento PMS/UVC 500 μM el que exhibió mayor rendimiento.



**Figura 3.** Seguimiento cinético del tratamiento de *C. albicans* ATCC 66027 en los procesos foto-oxidativos. Condiciones: agua destilada (AD). V: 50mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500μM y 50 μM, pH: 7.4.

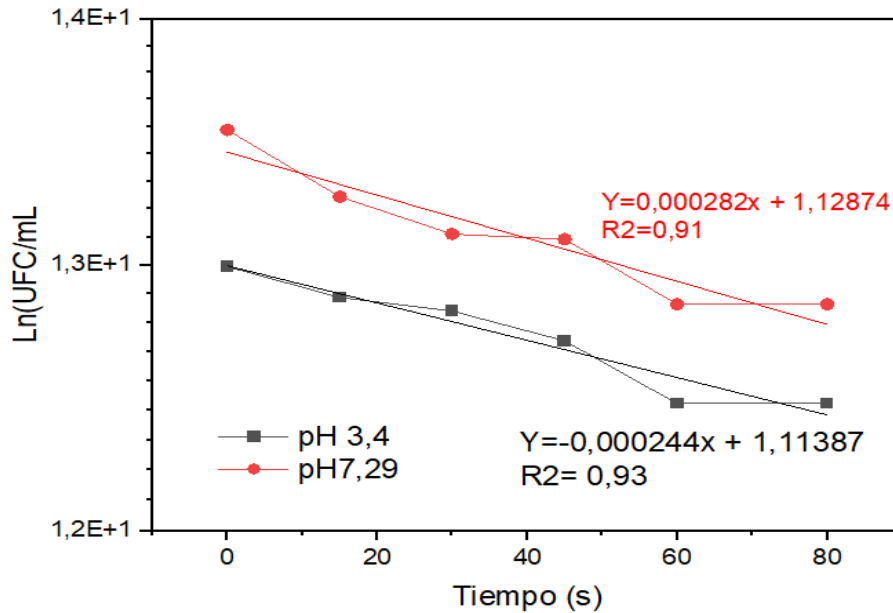
Las fotooxidaciones PMS/UVC 500  $\mu\text{M}$  y PDS/UVC 500  $\mu\text{M}$  no evidencia diferencias significativas con la realizadas a concentración de PMS y PDS 50  $\mu\text{M}$  ( $P = > 0,050$ ), mientras que  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UVC}$  500  $\mu\text{M}$  y 50  $\mu\text{M}$  si presentaron diferencias significativas ( $P = < 0,050$ ). La Tabla 2 ilustra los resultados de reactivación de *C. albicans* en oscuridad después de aplicar las fotooxidaciones con los diferentes oxidantes (PMS 500  $\mu\text{M}$ ; PDS 500  $\mu\text{M}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  500  $\mu\text{M}$ ) y el control de solo radiación UVC, desde el inóculo inicial con el tiempo 0 hasta los 20 min a las 120 h. La reactivación ocurre hasta los 45 s de tratamiento foto-oxidativo con PMS/UVC 500 $\mu\text{M}$ , mientras que para UVC, PDS/UVC 500  $\mu\text{M}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UVC}$  500 $\mu\text{M}$  la reactivación se alcanza hasta los 60 s de tratamiento.

**Tabla 2.** Ensayos de reactivación en oscuridad.

| Ensayos                     | 30s             | 45s             | 60s             | 80s      | 2 min    | 5 min    | 10 min   | 20 min   |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| UVC                         | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo |
| UVC/ $\text{H}_2\text{O}_2$ | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo |
| UVC/PMS                     | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | Negativo        | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo |
| UVC/PDS                     | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | <b>Positivo</b> | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo | Negativo |

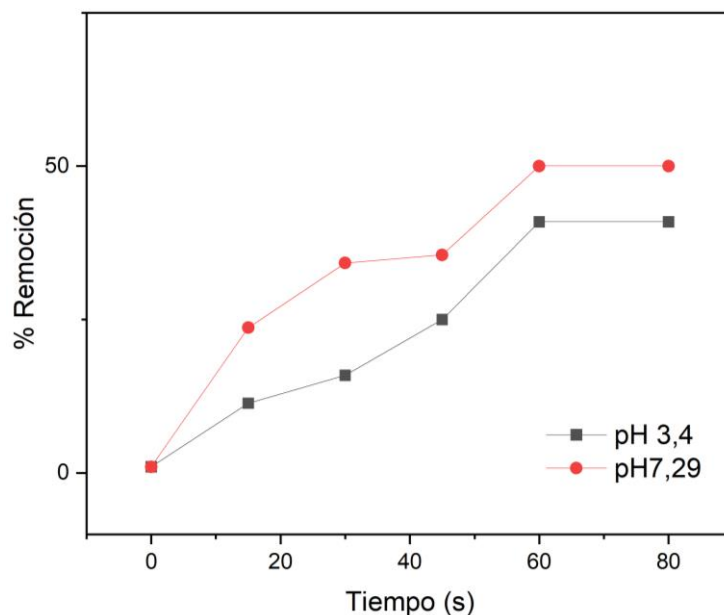
Crecimiento de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [ $\text{H}_2\text{O}_2$ ]: [PDS]: 500 $\mu\text{M}$ , pH: 7.4.

La Figura 4 representa los cambios en logaritmo natural de los números de UFC/mL de los ensayos de Foto-Fenton, desde el inóculo inicial con el tiempo 0 hasta los 80s. Se logró determinar que si hubo diferencias significativas con un  $p = < 0.0001$  entre los dos pH, siendo menor el rendimiento de pH 7.29.



**Figura 4.** Tratamiento de Foto-Fenton *C. albicans* ATCC 66027  
 Agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 500µM, PH: 3.4 y 7.29.

La Figura 5 muestra los porcentajes de remoción de los diferentes ensayos de Foto-Fenton pH (3.4 y 7.29), desde el inóculo inicial con el tiempo 0 hasta los 80s. Se logró determinar que en comparación con los ensayos de peróxidos en combinación con luz UVC el rendimiento de Foto-Fenton es menor, aunque entre los dos pH evaluados el pH 3.4 tuvo un menor porcentaje de remoción. Estos hallazgos instauran que se debe de realizar un análisis más detallado de la composición del reactivo Fenton y el oxidante.



**Figura 5.** Porcentajes de remoción *C. albicans* ATCC 66027 Agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 500μM, pH: 3.4-7.29.

En la Tabla 3 se presentan la constante de velocidad (K) y el tiempo de reacción ( $t_{1/2}$ ) de los ensayos Foto-Fenton (pH 3.4 y 7.29). Se logró determinar que a pH 7.29 fue que presentó el menor tiempo de vida media. Pero que distan significativamente de los resultados obtenidos con las fotooxidaciones con PMS, PDS y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Tabla 3.** Constante de velocidad de reacción y el tiempo de vida media de *C. albicans* ATCC 66027 por foto-Fenton.

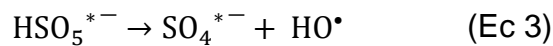
| Prueba de fotooxidación | K(s <sup>-1</sup> ) | $t_{1/2}$ (s) | R <sup>2</sup> |
|-------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| pH 3,4                  | 0,000244            | 2840          | 0,93           |
| <b>pH 7,29</b>          | <b>0,000282</b>     | <b>2457</b>   | <b>0,91</b>    |

Condiciones: Agua destilada (AD), V: 50 mL, P: 8W, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 500μM, pH: 3.4-7.29.

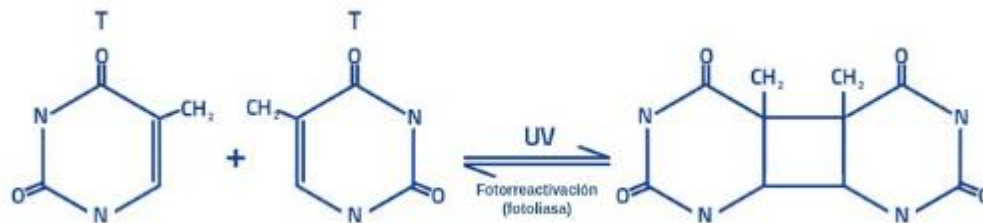
#### 4. DISCUSIÓN RESULTADOS

El PMS/UVC 500 μM fue el sistema que tuvo mayor rendimiento en la inactivación y porcentaje de remoción de una cepa de *Candida albicans*, levadura que está constituida por una pared celular rica en quitina, glucanos y mananos que le confieren la estructura y protección a esta célula y que globalmente tiene una carga negativa (Duran,2015), cuenta

además, con una membrana plasmática compuesta por una bicapa lipídica de fosfolípidos (fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol, fosfatidilserina) y ergosterol el cual le da rigidez y control de la fluidez; una membrana semipermeable que en la superficie tiene glicoproteínas y polisacáridos. El PMS ( $\text{HSO}_5^{*-}$ ), genera radicales sulfatos ( $\text{SO}_4^{*-}$ ) que tienen mayor capacidad de causar daño oxidativo (Guerra, 2022 & Patillo 2015), además, produce un radical hidroxilo  $\text{OH}^*$ , como se puede observar en la Ec 3. Se conoce que el radical ( $\text{SO}_4^{*-}$ ) puede provocar daño en los lípidos de la membrana y en otras macromoléculas, incluyendo las proteínas de membrana, mientras que el radical  $\text{OH}^*$  induce una mayor permeabilidad de la membrana celular, lo que a su vez genera lisis celular o la pérdida de viabilidad de la célula (Mingxiang Liu, 2023). Por lo tanto, lo hace más reactivo que los 2 radicales ( $\text{SO}_4^{*-}$ ) que genera el PDS o al  $\text{OH}^*$  que genera el  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



Los alcances del control con solo radiación UVC es debida a las gran cantidad de energía que inducen reacciones de degradación, particularmente a las bases de pirimidina (Timina y uracilo), provocando la ruptura de los enlaces T-A y U-A en los sitios que contienen dos pirimidinas adyacentes, formando así dímeros (Figura 6).



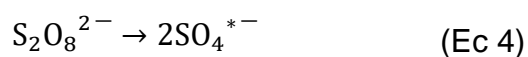
**Figura 6.** Reacción de la luz UVC en el ADN.

Los enlaces de hidrógeno que presentes entre las dos pirimidinas adyacentes se debilitan, logrando que se interrumpa la estructura del ADN, repercutiendo en el bloqueo de la replicación y la transcripción con efectos citotóxicos y mutagénicos impidiendo la capacidad de reproducción y la muerte de la levadura (Lecam, 2020). La combinación de la radiación UVC

con PMS proporciona un doble mecanismo de acción que aumenta la eficacia en la inactivación de la levadura (Pelayo, 2018 & Berruti, 2022).

Estudios realizados por Gang Wen et al. (2020) encontraron que *T. harzianum*, mostró una fuerte resistencia a la inactivación con PMS activado con productos de corrosión mientras que *A. niger*, *P. polonicum*, *C. cladosporioides* se inactivaron bajo las mismas condiciones. La inactivación se incrementó con el aumento de las dosis de PMS y PCPs, siendo la dosis del oxidante el que tuvo mayor impacto. En este estudio se plantea la efectividad del proceso oxidativo se presenta por muerte celular debido a la salida de sustancias intracelulares después de que la membrana celular fuera atacada y rota por los radicales reactivos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de estos estudios están enfocados en bacterias como el estudio de Yaru Hu et al. (2019), el cual inactivo ARB (Bacteria Resistente a Antibióticos) mediante irradiación UVC, oxidación con PMS y tratamientos con PMS/UVC, donde también se evidenció que UVC/PMS fue el mejor método de foto-oxidación, donde la causa principal de la inactivación se enfocó en la capacidad de los radicales  $SO_4^{\bullet-}$  para suprimir los genes PCR-sul1 y PCR-int1.

Cuando se analizó el efecto de los peróxidos en solitario (Figura 3) se evidencia que el PMS 500  $\mu$ M fue el que mayor rendimiento presentó seguido por el PDS 500  $\mu$ M y por último el  $H_2O_2$  500  $\mu$ M, esto se puede deber a que el PDS ( $S_2O_8^{2-}$ ) en comparación con el  $H_2O_2$  genera dos radicales  $SO_4^{\bullet-}$  como se puede visualizar en la Ec 4, que son más reactivos que el radical hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ ) generado por el  $H_2O_2$  (Ec 5), permitiendo una mayor inactivación de la cepa de *C. albicans*.



Por eso, a pesar de que el  $H_2O_2$  es más permeable debido a su neutralidad de carga, esta facilidad de penetración no se refleja como mayor eficacia, ya que la cepa de *C. albicans* cuenta con una capacidad de detoxificación, gracias a diversas enzimas antioxidantes, como la catalasa, la peroxidasa, el sistema de glutatión y el sistema de tiorredoxina que son capaces de descomponer o neutralizar el  $H_2O_2$  antes de que pueda causar un daño significativo, por el

contrario de los radicales sulfato producidos por el PMS y PDS que son mucho más complejos de eliminar por las defensas antioxidantes celulares (Cindy-Staerck et al., 2017).

Pese a la desventaja del  $H_2O_2$  frente a la capacidad de detoxificación por parte de la cepa de *C. albicans*, el tratamiento de  $H_2O_2$ /UVC 500  $\mu$ M fue el segundo con mayor rendimiento en la inactivación de la cepa después de PMS/UVC 500  $\mu$ M. El  $H_2O_2$  en sinergia con la radiación UVC, permite una mayor eficacia que en el control en oscuridad, se resalta que la afinidad y permeabilidad del peróxido ocasionando daños celulares como peroxidación de lípidos, daños en el ADN, afectando la integridad y provocando desequilibrios iónicos en la células (Berrutia, 2022).

El seguimiento cinético de los procesos de oxidación avanzada considera factores como el orden de la reacción, la constante de velocidad de reacción ( $k$ ), el tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ). El tipo de orden de la reacción hace referencia a la relación entre la velocidad de una reacción química y las concentraciones de los reactivos y se clasifican principalmente en: Reacciones de primer orden (La velocidad depende de manera lineal de la concentración), reacciones de segundo orden (La velocidad de la reacción es proporcional al cuadrado de la concentración del reactivo) y reacciones de orden cero (La velocidad de la reacción es independiente de la concentración) (Qingchao Shen et al. 2024). Su importancia radica en que permite predecir cómo cambiará la velocidad de reacción al variar las concentraciones de los reactivos. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), permite establecer la correlación del orden de reacción, un valor cercano a la unidad aumenta la predictibilidad de los modelos cinéticos.

La constante de velocidad de reacción es una variable que proporciona una medida directa de la rapidez con la que ocurre una reacción química. A mayor valor de  $k$ , más rápida es la degradación del peróxido, es decir, su capacidad de generar especies reactivas de oxígeno (ROS) y su importancia radica en que es uno de los parámetros de la eficiencia del agente oxidante (Álvarez, 2019 & Giraldo 2005). Así mismo, el tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ) a pesar de que también es un indicador de eficiencia, indica el tiempo que tarda la concentración del compuesto en reducirse a la mitad, es decir que un tiempo de vida corto sugiere que el proceso es rápido y eficiente, y su importancia radica en la optimización del proceso, como por ejemplo si el tiempo de vida es muy largo, se debe aumentar la cantidad del peróxido o el tiempo de exposición (Giraldo & Hernández 2006). En la Tabla 1, se evidenció que la constante de velocidad es mayor y el tiempo de vida media es menor en los peróxidos cuando hay presencia

de luz UVC, lo que destaca una mayor eficacia de los peróxidos para generar radicales en presencia de la radiación.

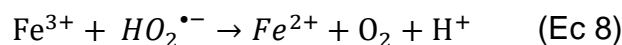
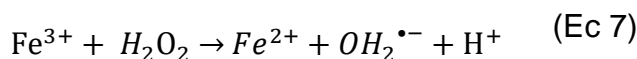
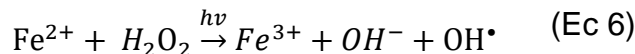
La comparación de los resultados de la tabla 1 en comparación con la tabla 5 en anexos, clasifica los sistemas PMS/UVC, PDS/UVC y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC como reacciones que siguen una cinética de pseudo- primer orden, lo que significa que muestran un comportamiento aparentemente de orden superior, pero en realidad son reacciones de orden inferior (Montaño, Navarro & Pueblo, 2023), esto se debe a que las constantes de velocidad y los tiempos de vida media no presentan variaciones significativas entre las dos concentraciones en los tratamientos de PMS/UVC y PDS/UVC. Los tiempos de vida media que en este caso oscilan entre 1,8 y 4,2s, son relativamente constantes en cada tratamiento. En el caso UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aunque se observa una pequeña diferencia en el tiempo de vida media y la constante de velocidad de reacción entre 500 µM y 50 µM, se puede atribuir al fenómeno de auto- inhibición o competencia por los radicales del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, que dice que a altas concentraciones de este peróxido puede generar que los radicales hidroxilos reaccionen con el exceso de peróxido en lugar de atacar a la cepa de *C. albicans* (Ying, Hong. 2020 & Liangliang Wang et al.2022).

El PMS/UVC 500 µM fue el que mayor rendimiento alcanzó en comparación a los demás tratamientos. Sin embargo, se evidencia que no hay diferencias significativas entre este y el PMS/UVC a 50 µM, esto presenta una ventaja económica de ahorro en la compra del peróxido, debido a que ya sea a una concentración de 500 o 50 µM la inhibición es similar, caso contrario el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC 500 µM que a pesar de ser el segundo mejor tratamiento si presenta diferencias con el de 50 µM, por lo tanto, implica a largo plazo un mayor presupuesto dirigido a la compra de este desinfectante.

En la Tabla 2, la reactivación en oscuridad de *C. albicans* (positivo/ negativo) tras el tiempo de exposición de los diferentes procesos foto-oxidativos y el control UVC (0, 30, 45, 60, 80, 120, 300, 600, 1200s) instaura que el tiempo de exposición mínimo para que ocurra la inhibición de la cepa de *C. albicans* sin probabilidad de reactivación es de 45 s para PMS/UVC 500 µM, y para PDS/UVC 500 µM y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC 500 µM, mientras que el control UVC requiere una exposición mínima de 60 s. La reactivación evidenciada se puede atribuir a que el daño proporcionado por los tratamientos permite que la levadura entre en un estado de daño subletal, lo que le facilita recuperar su viabilidad tras la exposición si no se cumple con los tiempos mínimos recomendados de exposición al proceso foto-oxidativo (Ana-Gómez et al., 2023).

Los procesos de Foto-Fenton se benefician a pH ácidos (2.8-4.0) para evitar la precipitación del hierro en hidróxido férrico y se fomente los ROS (Luz Dary Caicedo, Morante, Castro, & Serna, 2024). Sin embargo, los resultados obtenidos exhiben un mayor porcentaje de inactivación, a pH 7.29, lo que se puede deber a diversos factores como que la cepa de *C. albicans* pueda tener menor actividad metabólica a pH 3.4, por lo que podrían estar menos susceptibles al desinfectante (Larralde, 2015), mientras que el pH 7.29 sea un pH más adecuado para la activación de la levadura y se encuentre en ese momento en una fase de crecimiento logarítmico, con mayor actividad metabólica y sea más susceptible a los daños de la pared y membrana celular.

Los procesos Foto-Fenton pueden presentar tres posibles reacciones químicas a saber:



Para este tipo de procesos se prioriza la presencia de las ecuaciones Ec 6 y Ec 7, ya que son las más reactivas, pero se puede estar favoreciendo la reacción Ec 8, donde se evidencia un detención en la reacción Foto-Fenton, evidenciables en el porcentaje constante de remoción en los dos últimos tiempos (Tabla 6 ver en anexos). Otro factor que puede explicar el estancamiento de la reacción es la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ya que de esto depende la generación de radicales libres, es decir, que la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  es menor a la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$ , lo que significa que en este tipo de procesos es inherente tener en cuenta la relación de peróxido- hierro en el sistema. Sin embargo, para optimizar los resultados en futuros estudios, se recomienda que en el proceso de Foto-Fenton se realicen dopajes de  $\text{H}_2\text{O}_2$  cada 60 s y alargar los tiempos de exposición. La constante de velocidad de reacción de pH 3.4 fue menor que a pH 7.29, esto sugiere que la reacción es más eficiente en un medio ligeramente alcalino y el tiempo de vida media a pH 3.4 es mayor que a pH 7.29, esto significa la remoción global para esta levadura es más lenta a pH ácidos.

Cuando se compara los resultados obtenidos con el estudio de O'Dowd & Suresh, (2020) se encuentra que microorganismos como coliformes (*E. coli* y *Salmonella spp*) y *F. solani* tienen tasas de inactivación más lentas a pH neutros (90-120 min), mientras que a pH más ácidos de

3,0- 4,0 obtenían tasa de inactivación más altas y en menor tiempo (30-60 min). Sin embargo, también se menciona una falta de estudios en hongos y en que uno de los aspectos clave que gran parte de la literatura omite es el cambio de pH.

Por lo que se entiende que la relevancia de los procesos de oxidación avanzada (POAs) radica en su versatilidad y efectividad en diversas aplicaciones ambientales y de salud pública, tales como la desinfección, el tratamiento de aguas, la eliminación de contaminantes emergentes, la remediación de suelos contaminados y la inactivación de patógenos resistentes (José-garrido et al. 2020). Ya que ha demostrado que no solo afecta la estructura de la pared y la membrana celular de los microorganismos. El estudio de Pérez de la lastra, Plou & Pérez (2021), que describen que el papel de las especies reactivas de oxígeno (ROS) generalmente dañan el ADN o ARN, generan peroxidación lipídica de ácidos grasos poliinsaturados, oxidación de proteínas y causan daño irreversible en lípidos y enzimas presentes en el citosol celular, al oxidar y modificar componentes celulares impidiendo así llevar a cabo sus funciones originales; también demostraron que la combinación de UVC y peróxidos incrementa significativamente la producción de ROS, lo que lleva a la oxidación de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, desencadenando la muerte celular.

El uso de procesos de oxidación avanzados basados en luz ultravioleta y en combinación con diferentes oxidantes puede proporcionar una valiosa herramienta para estudiar y optimizar los procesos de inactivación de hongos a escala de laboratorio y luego aplicarlos a mayor escala. Además, un control más preciso de los parámetros del proceso puede mejorar la eficiencia y la reproducibilidad de los resultados, lo cual es importante para la investigación y el desarrollo de tecnología de inactivación microbiana en aplicaciones en el campo de la salud y a nivel industrial.

## **5. CONCLUSIONES**

Los procesos de oxidación avanzada son métodos efectivos para la inhibición de *Candida albicans*. Las combinaciones de los peróxidos con UVC generalmente resultan en constantes de velocidad más altas y tiempos de vida más cortos, lo que indica una mayor eficacia de la fotooxidación. Aunque la luz UVC por sí sola presenta un alta constante de velocidad y un tiempo de vida corto, su eficacia se maximiza cuando se combina con los peróxidos. La desinfección de *C. albicans* fue más eficiente con PMS/UVC 500  $\mu$ M, seguido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UVC

500  $\mu\text{M}$ , PDS/UVC 500  $\mu\text{M}$ , luz UVC, PMS 500  $\mu\text{M}$ , PDS 500  $\mu\text{M}$  y, por último,  $\text{H}_2\text{O}_2$  500  $\mu\text{M}$ . El tiempo de exposición necesario para prevenir la reactivación depende del método empleado. Sin embargo, entre los ensayos realizados, el tratamiento de PMS/UVC 500  $\mu\text{M}$  demostró ser el más efectivo, logrando una inactivación sin reactivación en un tiempo de exposición menor de 45 s. Los procesos de Foto-Fenton evaluados a diferentes pH demostraron ser eficaces en la inactivación de la cepa de *C. albicans*. Sin embargo, requiere de una optimización de los reactivos Fenton para mejorar el rendimiento de inactivación.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Dios por su guía y protección en este camino de aprendizaje. También, reconocer el apoyo incondicional de nuestras familias en esta formación académica por siempre sostenernos en nuestros momentos más vulnerables. Agradecemos a nuestras tutoras de investigación, Luz Dary Caicedo y Sandra Castro, por su dedicación y compromiso. Extendemos nuestros agradecimientos al laboratorio de la Universidad Santiago de Cali por brindarnos el espacio para realizar esta investigación.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajenjo, C., Aquevedo, A., Guzmán, D., Castillo, D., León, C. & Labarca, J. (2011). Perfil epidemiológico de la candidiasis invasora en unidades de pacientes críticos en un hospital universitario. *Revista chilena de infectología*, 28(2), 118-122. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182011000200003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182011000200003)
- Álvarez, S. (2019). *Capacidad antioxidante del 3,4-dihidroxibenzaldehído frente al radical hidroperoxilo en disolución: Un enfoque teórico*. (Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador). Recuperado de <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/1411/3205?inline=1>
- American Thoracic Society (ATS). (2012). Candidiasis o infección por *Candida* del flujo sanguíneo. *Revista Am J Respir Crit Care Med*, 185, 3-4. Recuperado de <http://www.thoracic.org/patients/patientresources/resources/spanish/candida-infection-of-the-bloodstream-candidemia.pdf>

- Arenas, L. Rosas, R. (2020). *Rendimiento de la prueba del tubo germinativo con albumina de huevo en la identificación de Candida albicans*. (Tesis de grado, Universidad Privada Norbert Wiener). Recuperado de [http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/3762/T061\\_48311605\\_43691826\\_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/3762/T061_48311605_43691826_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Beck, S., Ryu, H., Boczek, L., Cashdollar, J., Jeanis, K., Rosenblum, J., Lawal, O., Linden, K. (2017). Evaluating UV-C LED disinfection performance and investigating potential dual-wavelength synergy. *Revista Water Res*, 1(109), 207-206. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27889622/>
- Bedout, C., Gómez, B. (2010). Candida y candidiasis invasora: un reto continuo para su diagnóstico temprano. *Revista Infectio*, 14(S2), S159-S171. Recuperado de [http://revistainfectio.org/P\\_OJS/index.php/infectio/article/view/27](http://revistainfectio.org/P_OJS/index.php/infectio/article/view/27)
- Bellés, R. (2018). *Estudio del proceso Foto-Fenton con dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para el tratamiento de aguas residuales con paracetamol*. (Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Catalunya). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/120734/TFGRicardBell%C3%A9sCanals.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Berruti, I., (2022). *Assessment of novel Advanced Oxidation Processes for the simultaneous disinfection and decontamination of water*. (Tesis doctoral, Universidad de Politécnica de Valencia). Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=314158>
- Bitar, D., Lortholary, O., Strat, Y., Nicolau, J., Coignard, B., Tattevin, P., Che, D. & Dromer, F. (2014). Population-based analysis of invasive fungal infections, France, 2001-2010. *Revista de Enfermedad infecciosa emergente*, 20(7), 1149-55. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24960557/>
- Cabañas, D., Mota, V. & Ruiz, J. (2019). Luz solar y TiO<sub>2</sub> para eliminar patógenos contenidos en agua de pozo: comportamiento de la fotocatalisis. *Revista Ingeniería*, 23(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/467/46760427001/html/>

- Caceres, L. (2019). *Evaluación del proceso Foto-Fenton solar para el tratamiento de aguas con presencia de antibióticos de alto consumo*. (Tesis de grado, Universidad de Antioquia). Recuperado de [httpPDS://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/17019/1/CaceresLuz\\_2019\\_EvaluacionAguasAntibioticos.pdf](http://PDS://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/17019/1/CaceresLuz_2019_EvaluacionAguasAntibioticos.pdf)
- Caicedo, L., Morante, A., Castro, S. & Serna, E. (2024). Procesos alternativos y clásicos para la desinfección de aguas. *Revista agua*, 16, 936. Recuperado de [httpPDS://doi.org/10.3390/w16070936](http://PDS://doi.org/10.3390/w16070936)
- Castrillón, L., Palma, A. & Padilla, M. (2013). Biopelículas fúngicas. *Dermatología Revista Mexicana*, 57(3), 350-361. Recuperado de [httpPDS://www.esi.academy/wp-content/uploads/Biopeliculas\\_fungicas.pdf](http://PDS://www.esi.academy/wp-content/uploads/Biopeliculas_fungicas.pdf)
- Castañeda, A. (2014). *Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de agua de la industria del petróleo*. (Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería, “Julio Garavito”). Recuperado de [httpPDS://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/84/POA-INDUSTRIA%20DEL%20PETROLEO.pdf;jsessionid=ECB0A91E18D1C52081B99FF50DFAD862?sequence=1](http://PDS://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/84/POA-INDUSTRIA%20DEL%20PETROLEO.pdf;jsessionid=ECB0A91E18D1C52081B99FF50DFAD862?sequence=1)
- Chamba, L. (2015). *Efecto antifúngico del aceite esencial del Origanum Vulgare (Orégano) y Cymbopogon Citratus (Hierbas Luisa), sobre cepas de Candida albicans en comparación con la nistatina estudio invitro*. (Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador). Recuperado de [httpPDS://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/03/880472/efecto-antifungico-del-aceite-esencial-del-origanum-vulgare-ore\\_9RMsDsy.pdf](http://PDS://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/03/880472/efecto-antifungico-del-aceite-esencial-del-origanum-vulgare-ore_9RMsDsy.pdf)
- Chávez, G. & Coronado, T. (2019). *Actividad antifúngica in vitro de péptidos análogos derivado de LL-37 contra levadura del género Candida*. (Tesis de grado, Universidad colegio mayor de Cundinamarca). Recuperado de [httpPDS://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/3714/Tesis%20Final%201.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://PDS://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/3714/Tesis%20Final%201.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Clemente, A., Chica, E. & Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 211-223. Recuperado de

[httpPDS://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria\\_y\\_competitividad/articulo/view/3696](http://PDS://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/articulo/view/3696)

Colombo, A., Nucci, M., Park, J., Nouér, S. & Morgan, J. (2006). Epidemiology of candidemia in Brazil: a nationwide sentinel surveillance of candidemia in eleven medical centers. *Revista J Clin Microbiol*, 44(8), 2816-23. Recuperado de

[httpPDS://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16891497/](http://PDS://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16891497/)

Cong-Li, Nai-Yun & Wang- Li. (2012). Photochemical degradation of typical herbicides simazine by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in aqueous solution. *Revista Desalination and Water Treatment*, 36(1-3), 197-202. Recuperado de

[httpPDS://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5004/dwt.2011.2410](http://PDS://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5004/dwt.2011.2410)

Cortés, J., Ruiz, F. & Moreno L. (2020). Candidemia en Colombia. *Revista del instituto Nacional de salud (Biomédica)*, 40(1), 195-207. Recuperado de

[httpPDS://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/4400](http://PDS://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/4400)

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chil Anest*, 43, 306-310. Recuperado de

[httpPDS://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf](http://PDS://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf)

Duran. L. (2015). *Respuesta a defectos en las primeras etapas de la N-glicosilación de proteínas en Candida albicans*. (Trabajo de grado, Universidad d Salamanca).

Recuperado de [httpPDS://gredos.usal.es/handle/10366/133198](http://PDS://gredos.usal.es/handle/10366/133198)

Espitia, D. & Ramos, F. (2021). *Infecciones micóticas asociadas a la atención en salud*. (Tesis de grado, Universidad de Córdoba). Recuperado de

[httpPDS://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/7cfd17d2-71ce-406d-b429-739c76491b50/content](http://PDS://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/7cfd17d2-71ce-406d-b429-739c76491b50/content)

Forero, J., Ortiz, O. & Ríos, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *Revista Tecnología y Futuro*, 3(1), 97-109. Recuperado de

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01225383200500010\\_0008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01225383200500010_0008)

Gabriel, A., Manalo, M., Feliciano, R., García, N., Dollete, M., Acanto, C. & Paler, J. (2018). Candida parapsilosis inactivation-based UV-C process for calamansi (Citrus microcarpa) juice drink. *Revista LWT*, 90, 157-163. Recuperado de

[httpPDS://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817309143](http://PDS://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817309143)

- Gang, W., Zhuhao, C., Qiqi, W., Dian, Z., Xiangqian, X., Jingyi, W., Kai, L., Tinglin, H. (2020). Acyivation of PMS by pipe corrosion products for fungi disinfection in water: performance and mechanisms. *Revista Chemical Engineering Journal*, 382, 123003 Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719324131#:~:text=Fungi%20was%20controlled%20by%20PMS,groundwater%20source%20to%20water%20plant.&text=OH%20generated%20by%20PMS%20FPCPs,declined%20after%20four%20times%20reuse>
- Garcia, J. (2014). *Procesos Fenton y Foto-Fenton para el tratamiento de agua residuales de laboratorio microbiológico empleado Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en nanotubos de carbono*. (Tesis de grado, Universidad Javeriana). Recuperado de <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11853>
- Garrido, J., García, B., Agüera, A., Sánchez, J. & Manzano, F. (2020). Wastewater Treatment by Advanced Oxidation Process and Their Worldwide Research Trends. *Revista Health*, 17(1), 170. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/1/170>
- Gioia, F., (2021). *Epidemiología de la candidemia en un hospital terciario y análisis pronóstico de la aplicación de un paquete de medidas. Rentabilidad de la PCR Multiplex en el diagnóstico de candidiasis peritoneal*. (Tesis doctoral, Universidad de Alcalá). Recuperado de <http://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do;jsessionid=BA2D6816E663C3EB11FF6C618E9C44C7>
- Giraldo, L., Hernández, M. (2006). Comparación de los tratamientos con TiO<sub>2</sub> y FeCl<sub>3</sub> para aguas residuales coloreadas textiles. *Revista lasallista*, 3(2), 25-33. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69530205.pdf>
- Giraldo, L., Mejia, E., Mesa, G. (2005). Cinética de degradación y mineralización del colorante Rojo Amaranto por medio de la fotocatalisis con luz solar. *Revista lasallista de investigación*, 2(1), 19-26. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520104.pdf>
- Gomes, A., Sampaio, A., Silva, S., Fernández, J., Pérez, J., Lucas, M. (2023). Inactivación de *Candida albicans* en agua mediante procesos de oxidación avanzada. *Revista Ing. Proc*, 56(1) 82. Recuperado de

<http://doi.org/10.3390/ASEC2023-15302>

Grupo de ingeniería química y ambiental. (2018). Proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas de refino. Recuperado de

<http://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/procesosdeoxidacionavanzada-para-el-tratamiento-de-aguas-de-refino-i1EAE>

Guerra, S. (2022). *Tratamientos avanzados para la regeneración de agua residuales*. (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de

[http://oa.upm.es/73589/1/SONIA\\_GUERRA\\_RODRIGUEZ.pdf](http://oa.upm.es/73589/1/SONIA_GUERRA_RODRIGUEZ.pdf)

Harpreet, S., Sanjeev, K., Madhu, K., Kihyn, K., Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Revista Chemical engineering Journal*, 1(417), 128084. Recuperado de

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720342005?dgcid=rss\\_sd\\_all&utm\\_campaign=RESR\\_MRKT\\_Researcher\\_inbound&utm\\_medium=referral&utm\\_source=researcher\\_app](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720342005?dgcid=rss_sd_all&utm_campaign=RESR_MRKT_Researcher_inbound&utm_medium=referral&utm_source=researcher_app)

Heredia, G. (2020). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Revista Bioagrociencias*, 13(2), Recuperado de

<http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/download/3575/1534>

Hesstvedt, L., Gaustad, P., Andersen, C., Haarr, E., Hannula, R., & Haukland, H. (2015). Twenty-two year of candidaemia surveillance: results from a Norwegian National study. *Revista Clin Microbiol Infect*, 21(10), 938-45. Recuperado de

<http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26093076/>

Huanca, J. (2013). *Evaluación del método cromogenico y fermentación de azúcares para la identificación de especies de Candida*. (Trabajo de grado, Universidad Mayo de San Andrés). Recuperado de

<http://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/5689>

Insst. (2011). *Candida albicans*. Recuperado de

<http://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/candida-albicans>

Jaramillo, F. & Naranjo A. (2020). *Sensibilidad de Candida albicans ATCC 90028 a desinfectantes utilizados en centros de atención sanitaria*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Cuenca). Recuperado de

<httpPDS://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/10199/1/Final%20de%20tesis%20%20AndrC3%A9%20J%2c%20Isaac%20N..pdf>

Juanez, E. (2019). *Frecuencia de especies genero Candida en muestras vaginales mediante el método Chromogenico*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho).

Recuperado de

<http://repo.uajms.edu.bo/index.php/tesisdegrado/article/view/59/82>

Juan, C., Perez de la lastra, J., Plou, F. & Perez, E. (2021). The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies. *Revista Mol. Sci*, 22(9), 4642. Recuperado de

<https://www.mdpi.com/1422-0067/22/9/4642>

Kanata, E., Dafou, D., Xanthopoulos, K., Tsumachidou, S. & Poullos, I. (2023). Photo-Fenton and TiO<sub>2</sub> photocatalytic inactivation of model microorganisms under UV-A; comparative efficacy and optimization. *Revista Moléculas*, 28(3), 1199. Recuperado

<httpPDS://www.mdpi.com/1420-3049/28/3/1199>

Kozlov, A., Javadov, S. & Sommer, N. (2024). Cellular ROS and Antioxidants: Physiological and Pathological Role. *Revista Antioxidants*, 13(5), 602. Recuperado de

<https://www.mdpi.com/2076-3921/13/5/602>

KRADA. Peroximonosulfato de potasio. Recuperado de

<httpPDS://www.kcPDS.es/es/catalog/chemicals/potassium-peroxymonosulfate-ca-45t-as-khso5-500g>

Kullberg, B. (2015). Candidiasis invasiva. Recuperado de

<httpPDS://www.intramed.net/contenido/ver.asp?contenido=88165#:~:text=Adem%C3%A1s%20el%20desplazamiento%20global%20a,la%20resistencia%20a%20los%20antimc%C3%B3ticos.&text=La%20candidiasis%20invasiva%20afecta%20a,provoca%20m%C3%A1s%20de%2050.000%20muertes>

Larralde, P. (2015). Respuesta metabólica al estrés de levaduras de importancia industrial. *Revista de investigación y ciencia*, 24(67), 86-91. Recuperado de

<httpPDS://www.redalyc.org/journal/674/67446178012/html/>

Lecam, M. (2020). Estudio de la radicación UVC como método de desinfección de ambientes y superficies con enfoque en la prevención del contagio de COVID-19. Recuperado de

[httpPDS://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63689467/LuzUVC\\_UVROBOTICSSL2020\\_ESPI](httpPDS://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63689467/LuzUVC_UVROBOTICSSL2020_ESPI)

[ibre.pdf?1592670066=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DEstudio\\_de\\_la\\_radiacion\\_UV\\_C\\_como\\_metodo.pdf&Expires=1724731192&Signature=GZoolDagPbiGzqxIQkzJn4P7piYTuhklliiikjUFQq9vorV4Rd2RkeANawHKq~0E6td3y2FfnAMljQR65HcQEm3W745ZiiPhzTgsbw8tljLFPI1E6LJKcf5Mqvn1~rwJy2r7bYAObm~MgXBU2kuoK6~jiKOONg38FB8IOCLiskckeCZsK4O8~qJQS3Y4Ko2lfAufjNAYQKAOUQZJO0UvDf6MSkyebIUvJ3S3kyXJvP1mJS7AUZYEdaOaVnY7ORbP9shg5nQb0kgWWgNz7iRLR8Ebsolze~4LNyKGoQalvwd5LONyF24yPEszGBplhurNn1vdZQleDi7InEclMLA &KeyPairId=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://www.researchgate.net/publication/338589471/figure/fig/1/figure-pdf?1592670066=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DEstudio_de_la_radiacion_UV_C_como_metodo.pdf&Expires=1724731192&Signature=GZoolDagPbiGzqxIQkzJn4P7piYTuhklliiikjUFQq9vorV4Rd2RkeANawHKq~0E6td3y2FfnAMljQR65HcQEm3W745ZiiPhzTgsbw8tljLFPI1E6LJKcf5Mqvn1~rwJy2r7bYAObm~MgXBU2kuoK6~jiKOONg38FB8IOCLiskckeCZsK4O8~qJQS3Y4Ko2lfAufjNAYQKAOUQZJO0UvDf6MSkyebIUvJ3S3kyXJvP1mJS7AUZYEdaOaVnY7ORbP9shg5nQb0kgWWgNz7iRLR8Ebsolze~4LNyKGoQalvwd5LONyF24yPEszGBplhurNn1vdZQleDi7InEclMLA &KeyPairId=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

- Li, Xiaoling., Cai, Miao., Wang, L., Niu, F., Yang, D, & Zhang, G. (2019). Evaluation survey of microbial disinfection methods in UV-LED water treatment systems. *Revista Sci Total Environ*, 1;659:1415-1427. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31096352/>
- Liangliang, W., Yuchao, F., Gong, C., Yue, S., Zhang, Z., Zhang, F, & Hungshun. (2022). Comparative study of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PMS processes for treating Pulp and paper wastewater. *Revista Science & Technology*, 86, 8. Recuperado de <https://iwaponline.com/wst/article/86/8/2032/91415/Comparative-study-of-UV-H2O2-and-UV-PMS-processes>
- López, K., Dzul, K., Lugo, C., Arias, J. & Zavala, J. (2016). Mecanismos de resistencia antifúngica de los azoles en *Candida albicans*. *Una revisión. Revista Biomédica*, 27(3), 127-136. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2016/bio163e.pdf>
- López, M., Castellanos, O., Lango, F., Castañeda, M., Montoya, J., Sosa, C. & Ortiz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. *Una revisión Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. Recuperado de <http://www.redalyc.org/journal/5722/572268461005/html/>
- López, P., Alférez, C., Ollid, I. Ibañe. (2014). Assessment of solar Photo-Fenton, photocatalysis and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>For removal of phytopathogen fungo spores un synthetic and real effluents of urbanwastewate. *Revista quimica e ingenierira*, 257, 122-130. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894714008845Recie>
- Macalupú, Z. (2018). Situación de la resistencia antifúngica de especies del género *Candida* en Perú. *Revista Perú Med Exp Salud Publica*, 35(1), 126-31. Recuperado de

[httpPDS://www.scielosp.org/article/rpmesp/2018.v35n1/126-131/](http://www.scielosp.org/article/rpmesp/2018.v35n1/126-131/)

Makoday, N. & Saprykina M. (2015). Inactivation of *Candida Albicans* in the UV/TiO<sub>2</sub>/Fe<sup>3+</sup> System. *Revista Water*, 37, 140-144. Recuperado de [doi:10.3103/S1063455X15030078](https://doi.org/10.3103/S1063455X15030078)

Mamane, H., Shemer, H. & Linden K. (2007). Inactivación de esporas de *E. coli*, *B. subtilis* y fagos MS2, T4 y T7 mediante oxidación avanzada UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Revista J Hazard Mater*, 146(3), 479-86. Recuperado de [httpPDS://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17532124/](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17532124/)

Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. Recuperado de [httpPDS://www.rcumariacristina.com/wp-content/uploads/2010/12/11-Elena-Martinez\\_1.pdf](http://www.rcumariacristina.com/wp-content/uploads/2010/12/11-Elena-Martinez_1.pdf)

Mendiara Co, S. (2013). *Inactivación de Escherichia coli presente en aguas de salida de depuración mediante cloración y proceso de oxidación avanzada*. (Tesis de maestría, Universidad de Zaragoza). Recuperado de [httpPDS://zaguan.unizar.es/record/12952?ln=es](http://zaguan.unizar.es/record/12952?ln=es)

Ministerio de salud. (1993). Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Recuperado de [httpPDS://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF](http://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF)

Mingxiang, L., Lei, Z., Le, H., Caihua, M., Changwen, X., Rui, Y., Chunxia, G. (2023). Can heat-activated peroxymonosulfate be used as a pretreatment to mitigate fouling for membrane distillation: performance of individual organics. *Revista Water*, 15(6), 1148. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w15061148>

Montaño, A., Navarro, F, & Puello, E. (2023). Effect of nickel support modification and copper promotion on the competitive reaction of Dibenzothiophene Hydrosulfuration and carbazol hydrodesnitrogenation using CuMo-Ni/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst. *Revista Prospectiva*, 21(2),7-16. Recuperado de <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/3095/2641>

- Montenegro, O. (2024). *Efecto del cambio climático en la adaptación de hongos patógenos de importancia en la salud humana, animal y ambiental*. (Tesis de grado, Universidad de los Andes). Recuperado de <http://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/37e13793-60f9-4dc3-8b46-e83a5bb58bd3/content>
- Nourmoradi, H., Nikaeen, M., Stensvold, C. & Mirhendi. (2012). Ultraviolet irradiation: An effective inactivation method of *Aspergillus spp* in water for the control of waterborne nosocomial aspergilosis. *Revista Water*, 15(18), 5935-40. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22985523/>
- Nuñez, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Revista de agrícola y pecuaria*, 4(3), 69-79. Recuperado de <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/55/97>
- Obregón, A. (2017). *Evaluación de la eficiencia de un proceso de oxidación avanzada para la desinfección del agua del río Otún en el sistema de potabilización para el consumo de la ciudad de Pereira*. (Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/e5c495b4-7cf1-45f9-a96ed8764362f413/content>
- O'Dowd, K. & Suresh, P. (2020). Photo-Fenton disinfection at near neutral pH: process, parameter optimization and recent advances. *Revista Journal of environmental chemical engineering*, 3437(20), 30411-5. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/341633482\\_PhotoFenton\\_disinfection\\_at\\_near\\_neutral\\_pH\\_Process\\_parameter\\_optimization\\_and\\_recent\\_advances](https://www.researchgate.net/publication/341633482_PhotoFenton_disinfection_at_near_neutral_pH_Process_parameter_optimization_and_recent_advances)
- Oller, I., Fernández, I. (2013). Benefits of Photo-Fenton at low concentrations for solar disinfection of distilled water. A case study: Phytophthora caPDSici. *Revista Catalysis*, 209, 181-187  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092058611200689X>
- Organización Mundial de la salud & Organización panamericana de la salud. (2015). Control de infecciones para *Candida auris*, un hongo patógeno emergente. Recuperado de <http://www.paho.org/es/noticias/10-3-2021-candida-auris-patogeno-emergente-acciones-prevencion-colombia>

- Organización Panamericana de la salud & Organización mundial de la salud. (2019). Tratamiento de las enfermedades infecciosas. Recuperado de [httpPDS://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51695/9789275321133\\_spa.pdf](httpPDS://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51695/9789275321133_spa.pdf)
- Ortega, A. & Sánchez N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de agua residuales. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121-134. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01248170202100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01248170202100020)
- Osorio, J. (2018). *Efecto antifúngico in vitro del extracto de Allium Sativum "Ajo" sobre cepas de Candida albicans en comparación con el fluconazol en el hospital materno infantil Carlos Showing Ferrari Huánuco*. (Tesis de grado, Universidad nacional Hermilio Valdizán). Recuperado de <httpPDS://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3147/TO%2000091%20081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palacio, A., Villar, J. & Alhambra, A. (2009). Epidemiología de las candidiasis invasoras en población pediátrica y adulta. *Revista Iberoamericana de micología*, 26(1), 2-7. Recuperado de <httpPDS://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-micologia-290-articulo-epidemiologia-candidiasis-invasoras-poblacion-pediatrica-13135259>
- Panizo, M., Reviákina, V. (2001). *Candida albicans* y su efecto patógeno sobre las mucosas. *Revista de la sociedad Venezolana de Microbiología*, 21(2), 38-45. Recuperado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S131525562001000200011&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S131525562001000200011&script=sci_arttext)
- Patiño, Md., Maestre, A. (2015). Daño y reparación del ADN. Recuperado de <httpPDS://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/download/325985/20783276/118180>
- Pelayo, D. (2018). *Procesos de oxidación avanzada: avances recientes y tendencias futuras*. (Tesis de grado, Universidad de Cantabria). Recuperado de <httpPDS://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14217/409513.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pereira. V., Ricardo. J., Galinha. R., Benoliel, M. & Crepos, T. (2013). Occurrence and low-pressure ultraviolet inactivation of yeasts in real water sources. *Revista Phorochem Photobiol*, 12(4), 626-30. Recuperado de <httpPDS://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23001236/>

- Permán, J., & Quindós, G. (2016). Aspectos actuales de las enfermedades invasoras causadas por *Candida* y otros hongos levaduriformes. *Revista Iberoamericana de Micología*, 33(3), 133-139. Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-micologia-290-articulo-aspectos-actuales-enfermedades-invasoras-causadas-S1130140615000765>
- Pérez. A. (2022). Hongos que amenazan nuestra salud. *Revista Medscape*. Recuperado de [http://espanol.medscape.com/verarticulo/5910011?form=fpf#vp\\_2](http://espanol.medscape.com/verarticulo/5910011?form=fpf#vp_2)
- Pey, J. (2008). *Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles*. (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia). Recuperado de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2241/tesisUPV2816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pochteca. (2016). Persulfato de amonio. Recuperado de <http://mexico.pochteca.net/persulfato-de-amonio/>
- Qingchao, S., Xiaosan, C., Jushuo, V. & Cheng, C. (2024) Proceso de oxidación avanzada por rayos ultravioleta para eliminar el ácido húmico Comparación de diferentes métodos y efecto de los factores externos, *Revista Water*, 16(3), 1815 Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1815>
- Ramos, K. & Jiménez, Y. (2016). Aplicación de diseño de experimentos en la degradación de desechos por el proceso Foto-Fenton heterogéneo usando un óxido mixto de MgFeAl. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 28(3), 574-582. Recuperado de <http://www.redalyc.org/journal/4277/427750771014/html/>
- Reedy, J., Pousty, D., Waliaula, B., Maniga, J., Mamane, H., Mariita, R., (2023). Enhancing quality of life, public health, and economic development in the Global South through waterborne disease prevention with ultraviolet C light-emitting diode Technology. *Revista GHES*, 2(1), 1984. Recuperado de <http://accscience.com/journal/GHES/2/1/10.36922/ghes.1984>
- Ríos, A. (2013). *Evaluación del nivel de contaminación de superficie y la eficacia del producto desinfectante a corto y largo plazo, nuevos métodos*. (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona). Recuperado de

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/129381/agrc1de1.pdf?sequence=1>

Rivera, S., Flórez, L. & Sanabria, J. (2018) Validación de métodos microbiológicos para cuantificar *Salmonella spp*, presente en aguas tratadas con fono-fenton. Recuperado de

<http://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/download/71/73/962?inline=1>

Rodríguez, D., Almirante, B., Almela, M., Mensa, J., Sánchez, F., Ayats, J., Fridkin, S., Tudela, J. & Pahissa, A. (2005). Epidemiology and predictors of mortality in cases of *Candida* bloodstream infection: results from population-based surveillance, Barcelona. Spain from 2002 to 2003. *Revista J Clin Microbial*, 43(4), 1829-35. Recuperado de

<http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15815004/>

Rojas, A., Pérez, J., Hernández, J. & Zapata, Y. (2020). Análisis cuantitativo de la expresión de genes de resistencia a fluconazol en cepas de *Candida albicans* aisladas al ingreso de adultos mayores a una unidad de cuidados intensivos de Manizales, *Revista del instituto Nacional de salud (Biomédica)*, 40(1), 153-65. Recuperado de

<http://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/4723>

Romero, N. (2012). La revolución en la toma de decisiones estadísticas: el p-valor. *Revistas de estudios interdisciplinarios en ciencias sociales*, 14(3), 439-446. Recuperado de

<http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6436479.pdf>

Róžańska, A., Walkowicz, M., Bulanda, M., Kasperki, T., Synowiec, E., Osuch, P. & Chmielarczyk, A. (2023) Microorganisms of Special Epidemiological Importance from Touch Surfaces under Laboratory Conditions and in the Hospital Environment. *Revista Healthcare (Basel)*, 4;11(23), 3096. Recuperado de

<http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38063664/>

Ruiz, J. (2001). El asombroso reino de los hongos. *Revista Avance y perspectiva*, 20. Recuperado de

<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/229/Articulos/Hongos/Elasombrosomundodeloshongos.pdf>

Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (Reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de química e ingeniería*, 13(1), 30-38- Recuperado de

[http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551/363\\_5](http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551/363_5)

- Sichel, C, Fernandez, I., Cara, m. & Tello, J. (2009). Lethal synergy of solar UV- radiation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on wild fusarium solani spores in distilled and nature well water. *Revista Water*, 43(7), 1841-50. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19217637/>
- Soboleva, N., Saprykina, N., Kosiniva, V., Nosonovich, A. & Goncharuk. (2012). Inactivation of *Candida albicans* in the Photo-Fenton System. *Revista Water Chemistry and Technology*, 34(2), 96-102. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.3103/S1063455X1202004X>
- Staerck, C., Gastebois, A., Vandeputte, P., Calenda A., Larcher, G., Gillmann, L., Papon, N., Bouchara, J. & Fleyru, M. (2017). Microbial antioxidant defense enzymes. *Revista Microbial pathogenesis*, 110, 56-65. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0882401017300773>
- Tobar, E., Silva, F., Olivares, R., Gaete, P. Luppi. (2011). Candidiasis invasoras en el paciente critico adulto. *Revista Chilena de infectología*, 28(1), 41-49. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182011000100008](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182011000100008)
- Ttofa, L., Raj., Prakash, H., Fatta, D. (2019). Solar photo-Fenton oxidation for the removal of ampicillin, total cultivable and resistant *E. coli* and ecotoxicity from secondary-treated wastewater effluents. *Revista Chemical engineering Journal*, 355(1), 91-102. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718315316>
- Valdez, A. (2021). Descomposición del test de Friedman aplicado a pruebas de degustación. Recuperado de <http://ojs.umsa.bo/ojs/index.php/revistavarianza/article/download/400/335/555#:~:text=La%20prueba%20extendida%20de%20Friedman,la%20descomposici%C3%B3n%20del%20test%20chi>
- Vediyappan, G., Rossignol, T. & d'Enfert, C. (2010). Interaction of *Candida albicans* Biofilms with antifungals: Transcriptional response and binding of antifungals to beta- glucans. *Revista Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 54(5), 2096-2111. Recuperado de [http://cat.biblioteca.ua.es/discovery/fulldisplay?docid=cdi\\_openaire\\_primary\\_oai\\_dnet\\_od\\_4325\\_c5afa43278e962258be5dc5d51ce3228&context=PC&vid=34CVA\\_UA:VU1&lang=es&search\\_scope=Coleccion\\_completa&adaptor=Primo%20Central&tab=All\\_resour](http://cat.biblioteca.ua.es/discovery/fulldisplay?docid=cdi_openaire_primary_oai_dnet_od_4325_c5afa43278e962258be5dc5d51ce3228&context=PC&vid=34CVA_UA:VU1&lang=es&search_scope=Coleccion_completa&adaptor=Primo%20Central&tab=All_resour)

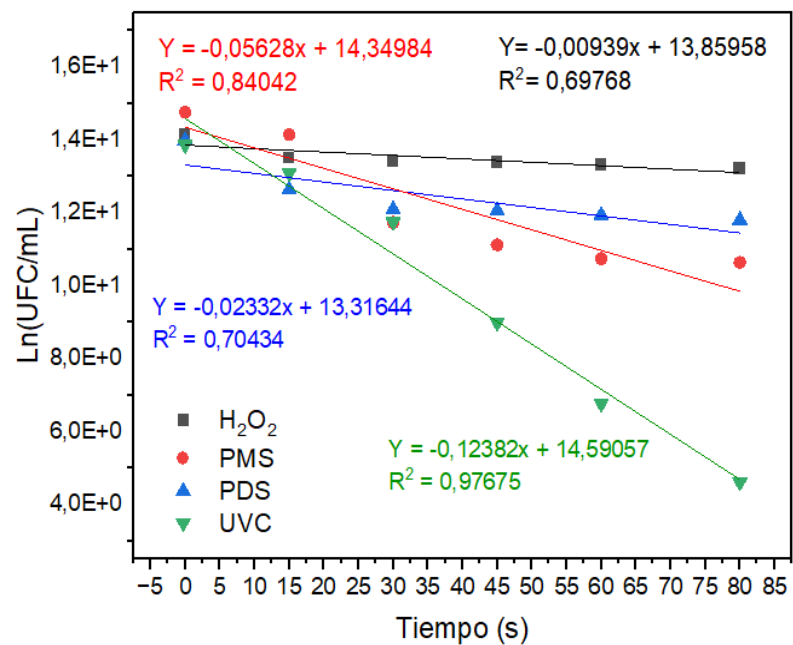
[ces&query=sub.exact.%20Gene%20Expression%20Regulation,%20Fungal%20,AND&mode=advanced](#)

- Wen, G., Xu, X., Zhu, H., Huang, T. & Ma, J. (2017). Inactivation of four genera of dominant fungal spores in groundwater using UV and UV/PMSF: Efficiency and mechanisms. *Revista Chemical Engineering*, 328. Recuperado de [http://www.researchgate.net/publication/318441363\\_Inactivation\\_of\\_four\\_genera\\_of\\_dominant\\_fungal\\_spores\\_in\\_groundwater\\_using\\_UV\\_and\\_UVPMS\\_Efficiency](http://www.researchgate.net/publication/318441363_Inactivation_of_four_genera_of_dominant_fungal_spores_in_groundwater_using_UV_and_UVPMS_Efficiency)
- Wen, G., Wan, Q., Deng, X., Cap, R., Xu, X., Chen, Z., Wang, J, & Huang, T. (2019). Reactivation of fungal spores in water following UV Disinfection; Effect of temperature, Dark delay, and real water matrices. *Revista Chemosphere*, 237, 124490. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31394451/>
- Wisplinghoff, H., Bischoff, T., Talento, S., Seifert, H., Wenzel, R. & Edmond, M. (2004). Nosocomial bloodstream infections in US hospitals: analysis of 24,179 cases from a prospective nationwide surveillance study. *Revista Clin Infect Dis*, 1;39(3), 309-17. Recuperado de <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15306996/>
- Yaru, H., Tianyang, Z., Lei, J., Shijie, Y., Hui, Y., Kuangfei, L, & Changzheng, C. Removal of sulfonamide antibiotic resistant bacterial and intracellular antibiotic resistance gene by UVC-activated peroxydisulfate. *Revista Chemical Engineering Journal*, 368, 88-895. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719304553>
- Ying, H., Jin, C., Li, J., Xin-xan, J. & Giang, F. (2020). Comparison of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/PMS, and UV/PDS in destruction of different reactivity chorate. *Revista Green and Sustainable Chemistry*, 8. Recuperado de <https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2020.581198/full>
- Zaoutis, T. (2010). Candidemia in children. *Revista medical Research & Opinion*, 26(7), 1761-1768. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1185/03007995.2010.487796?needAccess=true>
- Zaragoza, Ramírez, Borges & Permán. (2016). Puesta al día en la candidiasis invasora en el paciente crítico no neutropénico. *Revista Iberoamericana de Micología*, 33(3), 145-151. Recuperado de

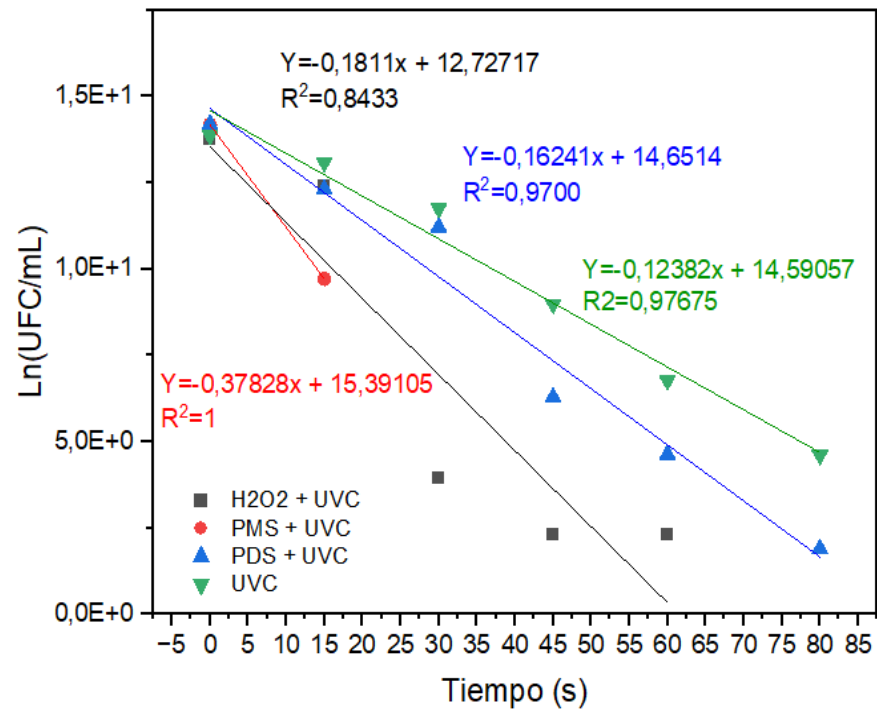
<http://www.elsevier.es/es/revista/revista-iberoamericana-micologia-290-articulo-puesta-al-dia-candidiasis-invasora-S1130140616000176>

Zurita, J. (2017). Infecciones micóticas: esas enfermedades relegadas de la salud pública. *Revista Ibero Americana Journal of Biotechnology and life Sciences*. Recuperado de <http://www.revistabionatura.com/2017.02.03.2.html>

## ANEXO



**Figura 7.** Linealización cinética primer orden para la oxidación de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500μM, PH: 7.4.



**Figura 8.** Linealización cinética primer orden para la fotooxidación de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500μM, pH: 7.4.

**Tabla 4.** Porcentaje de remoción de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD).

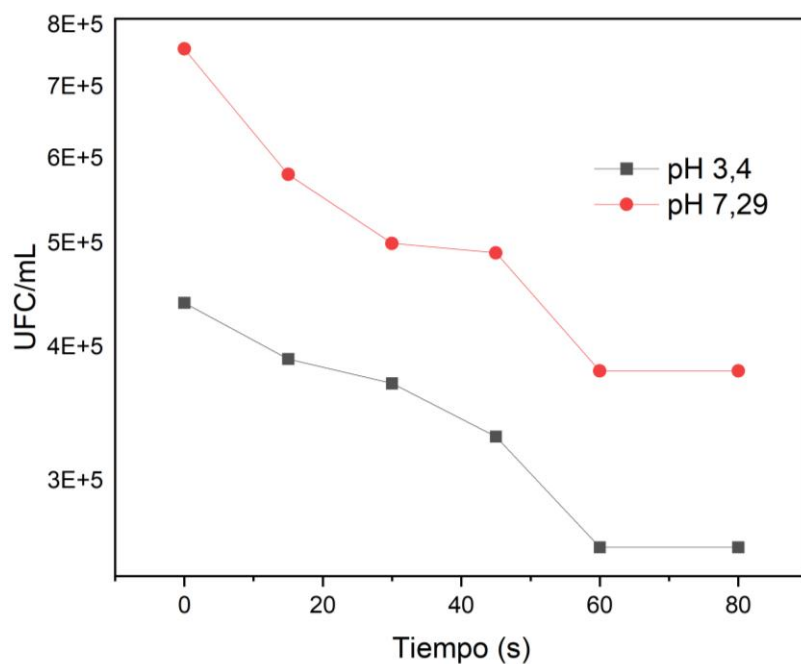
| TIEMPO | LEVADURA | % DE REMOCIÓN | UVC | PMS<br>500µM | UVC/PM<br>S/500µM | H2O2<br>500µM | UVC/H2O<br>2/500µM | PDS<br>500µM | UVC/PD<br>S/500µM |
|--------|----------|---------------|-----|--------------|-------------------|---------------|--------------------|--------------|-------------------|
| 0"     | CAS      |               | 0   | 0            | 0                 | 0             | 0                  | 0            | 0                 |
| 15"    | CAS      |               | 54  | 46           | 99                | 47            | 75                 | 74           | 85                |
| 30"    | CAS      |               | 88  | 95           | 100               | 52            | 100                | 85           | 95                |
| 45"    | CAS      |               | 99  | 97           | 100               | 53            | 100                | 85           | 100               |
| 60"    | CAS      |               | 100 | 98           | 100               | 56            | 100                | 87           | 100               |
| 80"    | CAS      |               | 100 | 98           | 100               | 60            | 100                | 89           | 100               |

Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 500µM, pH: 7.4.

**Tabla 5.** Constante de velocidad de reacción y el tiempo de vida media de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD).

| Prueba de fotooxidación                 | K(s <sup>-1</sup> ) | t <sub>1/2</sub> (s) | R <sup>2</sup> |
|---|---------------------|----------------------|----------------|
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UVC 50µM | 0,20744             | 3,34143454           | 0,9370         |
| PMS/UVC 50µM                            | 0,22594             | 3,06783739           | 0,9565         |
| PDS/UVC 50µM                            | 0,2256              | 3,07246091           | 0,9303         |

Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [PMS]: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: [PDS]: 50µM, PH: 7.4.





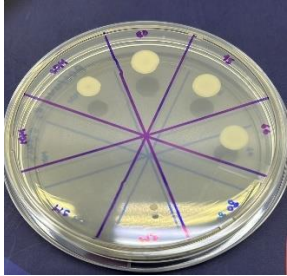
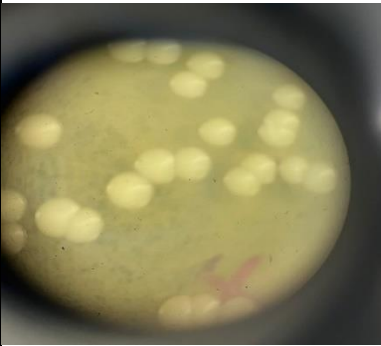


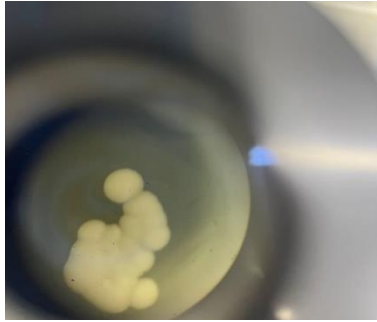


**Figura 3.** Tratamiento Foto-Fenton de *C. albicans* ATCC 66027 en agua destilada (AD). Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 500μM, PH: 7.29 y 3.4.

**Tabla 6.** Porcentaje de remoción de *C. albicans* ATCC 66027 proceso Foto-Fenton

| TIEMPO | % DE REMOCIÓN | PH 3,4 | PH 7,29 |
|--------|---------------|--------|---------|
| 0"     |               | 0      | 0       |
| 15"    |               | 11     | 24      |
| 30"    |               | 16     | 34      |
| 45"    |               | 25     | 36      |
| 60"    |               | 41     | 50      |
| 80"    |               | 41     | 50      |

Condiciones: V: 50 mL, P: 8W, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 500μM, pH: 7.29 y 3.4.

**Tabla 7.** Evidencia fotográfica de los tratamientos de *C. albicans* ATCC 66027.

| Ensayos                            | Morfología macro  | morfología Micro   | Reactivación  |
|------------------------------------|---|--|---|
| PMS/UVC                            |    |    |    |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UVC |   |   |   |
| PDS/UVC                            |  |  |  |