



Efectividad de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* para purificar el formaldehído en ambientes interiores

Effectiveness of *Sansevieria trifasciata* and *Spathiphyllum* to purify formaldehyde in indoor environments

KEVIN ABNER ORTEGA-QUISPE ¹, MADELEYNEE PACHECO-HUAMAN ², ANA MARÍA QUISPE-RIVERA ³, ARLITT AMY LOZANO-POVIS ¹ y KELLY STEFFY MONAGO-TORRES ²

RESUMEN

Se analizó la reducción del formaldehído, como contaminante común del aire interior, mediante dos especies de plantas ornamentales: *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum*. El estudio se llevó a cabo en una cámara hermética, donde se midió el formaldehído cada media hora durante 22 horas utilizando un medidor de formaldehído. Los resultados revelaron que la combinación de ambas plantas fue la más efectiva, logrando una absorción del 98 % en 22 horas, con 92,5 % durante el día y 84,5 % durante la noche. El *Spathiphyllum* redujo el 96 % en 22 horas, con 91,5 % durante el día y 74,75 % durante la noche. Mientras tanto, la *Sansevieria trifasciata* disminuyó el 75,75 % en 22 horas, con 57 % en el día y 46,5 % por la noche. Estos resultados resaltan la importancia de las plantas en la mejora de la calidad del aire, siendo la combinación de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* la más eficiente. Las variables de exposición a la luz y tiempo de exposición de las plantas al formaldehído también influyeron en su capacidad de reducción del contaminante. En conclusión, se demuestra el potencial de utilizar estas especies de plantas como una solución amigable con el ambiente para reducir la contaminación del aire

¹Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú

²Universidad Continental. Huancayo, Perú

³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir-copiar** y **redistribuir** el material en cualquier medio o formato, **Adaptar-remezclar**, **transformar** y **construir** a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

interior y proteger la salud poblacional.

Palabras clave: *sansevieria trifasciata*; *Spathiphyllum*; formaldehído; COV; ambiente interior.

ABSTRACT

The reduction of formaldehyde, as a common indoor air pollutant, was analyzed using two species of ornamental plants: *Sansevieria trifasciata* and *Spathiphyllum*. The study was conducted in an airtight chamber, where formaldehyde was measured every half hour for 22 hours using a formaldehyde meter. The results revealed that the combination of both plants was the most effective, achieving 98 % absorption in 22 hours, with 92,5 % during the day and 84,5 % at night. *Spathiphyllum* reduced 96 % in 22 hours, with 91,5 % during the day and 74,75 % at night. Meanwhile, *Sansevieria trifasciata* decreased 75,75 % in 22 hours, with 57 % during the day and 46,5 % at night. These results highlight the importance of plants in improving air quality, with the combination of *Sansevieria trifasciata* and *Spathiphyllum* being the most efficient. The variables of light exposure and time of exposure of the plants to formaldehyde also influenced their ability to reduce the pollutant. In conclusion, the potential of using these plant species as an environmentally friendly solution to reduce indoor air pollution and protect population health is demonstrated.

Keywords: *sansevieria trifasciata*; *Spathiphyllum*; formaldehyde; VOC; indoor environment.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire interior se ha vuelto una preocupación creciente debido a la globalización y el desarrollo económico acelerado en las últimas décadas (Liu et al. ,2023). Esta forma de contaminación representa un importante problema de salud pública en muchos países, ya que las personas se encuentran expuestas a altos niveles de contaminantes tanto en entornos domésticos como ambientales (Yin et al. , 2020). Además, el hecho de que las personas pasen más tiempo en sus hogares y/o espacios cerrados, como escuelas, oficinas y medios de transporte, agrava la exposición a estos contaminantes (Hänninen et al. , 2014; Kotzias , 2022).

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) del aire interior son sustancias químicas que con-

tienen carbono y se encuentran en los seres vivos y diversas fuentes como materiales de construcción, pinturas, adhesivos, productos de cuidado personal, entre otros, además se convierten fácilmente en vapores o gases (Liu et al. , 2022). Debido a su alta volatilidad, son motivo de preocupación constante por instituciones médicas y otros organismos como la OMS (De Gouw y Warneke , 2007). Algunos de los COV incluidos en las directrices de calidad del aire interior (IAQ) de la OMS son el benceno, monóxido de carbono, formaldehído, naftaleno, dióxido de nitrógeno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, tricloroetileno, tetra-cloroetileno y radón (OMS ,2021). Estos compuestos están asociados a diversas patologías, como cáncer, leucemia y otros problemas de salud (Maung et al. , 2022).

El formaldehído es un COV presente principalmente en fase gaseosa en ambientes interiores, lo que lo convierte en un gas de exposición para el cuerpo humano a través de la inhalación (WHO ,1989,2010). Antiguamente se utilizaba para preservar tejidos y cuerpos humanos, y en la actualidad es importante tanto en la industria textil como en cosmética, y se encuentra en productos comunes como madera contrachapada, resinas, tintes y explosivos, entre otros (Cerna , 2008). El aumento de estos productos en los hogares, conlleva un aumento en la concentración de formaldehído, el cual en bajas concentraciones, puede causar irritación en ojos, nariz y garganta, así como efectos neurofisiológicos; en altas concentraciones, puede provocar edema pulmonar, neumonía e incluso cáncer (Gao et al. , 2021).

Existen varias tecnologías para mejorar la calidad del aire interior, como el uso tradicional de filtración en sistemas de aire acondicionado, ventilación natural o mecánica, carbón activado, cultivo y cuidado de plantas verdes ornamentales (Bandeali et al. , 2021; Fjeld et al. ,2021;Smith y Pitt ,2011). Entre estas opciones, el cultivo de plantas destaca como un método económico, respetuoso con el ambiente y sobre todo, altamente efectivo en la reducción de gases nocivos en ambientes interiores (Salt et al. , 1995).

Diversas plantas ornamentales han demostrado su capacidad para reducir los COV (Sriprapat et al. , 2014). Absorben los contaminantes atmosféricos a través de sus estomas y los almacenan en sus vacuolas, logrando así disminuir los niveles de contaminantes (Yang et al. , 2018). Se han identificado especies de plantas eficaces para eliminar contaminantes del aire interior, como el COV formaldehído (Permana , 2022), entre estas, la *Sansevieria trifasciata* destaca por su alta efectividad, siendo fácil de cultivar incluso en condiciones de estrés (Wei et al. , 2017).. Esta planta ha mostrado ser altamente eficiente en la reducción del COV formaldehído, así como en la disminución de dióxido de carbono, acetona y benceno (Siswanto et al. , 1995).

La *Spathiphyllum*, es otra planta ornamental que ofrece beneficios significativos para mejorar la calidad del aire. Originaria de México, Malasia y varios países del oeste del Pacífico, ha sido objeto de investigación, aunque la información disponible sobre sus virtudes aún es limitada. Se ha determinado que su desarrollo foliar y hojas se debe a la presencia de minerales esenciales como hierro, calcio, fósforo, potasio y magnesio (Vogelezang, 1992; Yeh et al., 2000). En ambientes reales, la *Spathiphyllum* ha demostrado tener una alta capacidad para reducir los contaminantes del aire, logrando disminuciones de hasta un 74 % en diversos casos. Además, se ha comprobado que puede reducir los olores en ambientes interiores en un 68 % (Sawada et al., 2005), destaca además por su resistencia y tolerancia a altos niveles de contaminantes de aire en el interior, como el formaldehído, lo que la convierte en una opción ideal para mejorar la salud del ambiente en diversas situaciones habitacionales (Wang et al., 2020).

Considerando lo mencionado, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto del uso de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* en la reducción de los niveles de formaldehído en ambientes interiores?, en consecuencia, el objetivo de este estudio es evaluar la eficacia de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* para disminuir los niveles de formaldehído en espacios interiores, y determinar su potencial para mejorar la calidad del aire en ambientes cerrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación comenzó con la selección de los ambientes interiores donde se llevaría a cabo el experimento. A continuación, se procedió a la selección de las plantas ornamentales y se preparó el entorno de los espacios interiores para asegurar condiciones óptimas de luz, temperatura y humedad. Las plantas se llegaron a distribuir estratégicamente en cada área del ambiente seleccionado, asegurándose de que estuvieran expuestas y recibieran luz directa e indirecta. Todo el proceso se llevó a cabo en condiciones controladas y se realizó un seguimiento continuo de los niveles de formaldehído en los ambientes interiores en presencia de las plantas. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico para evaluar la eficacia de cada planta y su combinación en la reducción del formaldehído.

Se estableció un programa de monitoreo y muestreo del aire para medir de manera regular los niveles de formaldehído en el ambiente interior. Se realizaron muestreos periódicos del aire, registrando cuidadosamente los datos obtenidos en cada medición. Estos datos fueron esenciales para determinar las variaciones en los niveles del COV formaldehído en presencia de *Sansevieria*

trifasciata y *Spathiphyllum*, permitiendo comparar los niveles iniciales con los niveles medidos después de la colocación de las plantas. Esto permitió evaluar la magnitud de la reducción de los niveles de formaldehído basándose en los resultados obtenidos. Además, durante el análisis, se consideraron otros factores relevantes, como el tiempo de exposición de las plantas y las condiciones ambientales específicas del espacio interior.

Selección y adaptación de las plantas

Se seleccionaron cuidadosamente plantas jóvenes y saludables de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum*. Antes del inicio del experimento, se aplicaron abonos foliares al sustrato de cada planta para garantizar su salud y óptimo desarrollo. Posteriormente, se dedicó un espacio en el interior para aclimatar las plantas a la temperatura ambiente durante 15 días, y en ese mismo lugar se llevó a cabo la experimentación.

Una vez que las plantas estuvieron completamente adaptadas, se trasladaron a macetas de cerámica y se mantuvieron dentro del área de estudio durante dos semanas para que pudieran acostumbrarse a las nuevas condiciones de luz, temperatura y humedad. Esta fase de aclimatación permitió que las plantas se prepararan adecuadamente para enfrentar las condiciones específicas del entorno experimental.

El uso de plantas jóvenes y en buen estado, junto con la aplicación de abonos foliares y la adecuación de un espacio interior para aclimatarlas, aseguró que las condiciones de inicio del experimento fueran óptimas y consistentes para ambas especies. La preparación cuidadosa de las plantas contribuyó a obtener resultados confiables y significativos en cuanto a la capacidad de reducción de formaldehído por parte de la *Sansevieria trifasciata* y el *Spathiphyllum* en el ambiente interior, como se evidencia en la figura 1.

Figura 1

Plantas ornamentales (a) Sansevieria trifasciata (b) Spathiphyllum



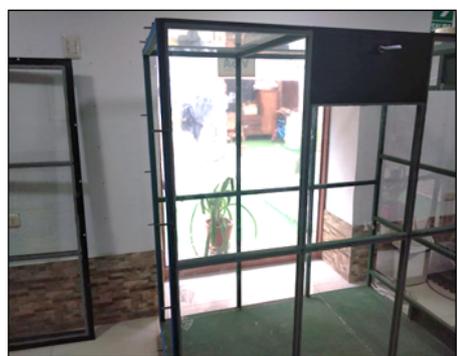
Preparación del ambiente cerrado

La investigación se realizó dentro de un ambiente controlado, para la obtención de resultados específicos sin que exista fuga de este gas y los resultados sean confiables. La construcción de la cámara hermética cerrada requirió materiales de alta calidad y durabilidad, usando tubos electrosoldados cuadrados de 1" x 0,9 m x 1,55 m y ángulos de 2" x 1/4" x 1,55 m. Además, se empleó una plancha metálica estriada de 2 mm para garantizar la resistencia y estabilidad de la cámara. Para facilitar la observación y el monitoreo de las mediciones, se incorporó un vidrio transparente de 2 mm. Con el fin de asegurar la portabilidad, se agregaron ruedas en la base, lo que facilitó su desplazamiento y posicionamiento en diferentes ubicaciones de interés. La fijación y ensamblaje de los diferentes elementos se lograron mediante el uso de pernos y tuercas, garantizando así una estructura sólida. Para la conexión y control de los sensores, se emplearon elementos como material microporoso y Sikaflex para metal, lo que permitió un sellado hermético y resistente a condiciones ambientales variables y que además no pueda escapar el gas formaldehído. La cámara contó con válvulas de control para ajustar y regular las mediciones de variables ambientales según las necesidades específicas del estudio. Finalmente, se utilizaron mangueras de plástico transparente para establecer las conexiones y permitir el flujo de los elementos medidos hacia los sensores.

La disminución del formaldehído se evaluó en esta cámara sellada de 150 cm largo x 85 cm ancho x 155 cm alto como se muestra en la Figura 2, además, se realizó una prueba de hermetismo de la cámara inyectando gas del COV formaldehído a razón de 4 ppm/m³ utilizando una compresora de aire, determinando así que no existan fugas, para después adecuar las plantas dentro de la cámara.

Figura 2

(a) Instalación de la cámara cerrada con metal y vidrio grueso (b) Puerta hermética de la cámara cerrada



(a)



(b)

Medición de la concentración del formaldehído

Para realizar las mediciones, se usó el equipo de medición de formaldehído HAL-HFX205 con sensor electroquímico. La medición se realizó cada 30 minutos con 2 repeticiones, por 22 horas tanto en horas luz día como en horas de la noche.

Medición de masa foliar

El estudio realizó mediciones de tamaño y número de hojas de las plantas ornamentales Sansevieria trifasciata, Spathiphyllum antes y después de la experimentación.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico partió de una prueba paramétrica ANOVA realizado para las 45 mediciones a través de factores intersujetos y posterior a ello una prueba Post Hoc (prueba de Tukey) con significancia del 95 % buscando mostrar la variación de la disminución del COV formaldehído usando *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados en la tabla 1, revelaron valores iniciales y finales de cada tratamiento en función de la exposición a la luz durante el día y noche. Se logró reducir con la combinación de ambas plantas los niveles de formaldehído de 4 ppm a 0,30 ppm en el día. Asimismo, durante el tratamiento en horas noche, se observó una disminución de 4 ppm a 0,62 ppm. Se destaca que la combinación de ambas plantas demostró ser la más eficiente, ya que, en un lapso de 22 horas de exposición al COV, se logró una reducción de 4 ppm a 0,08 ppm.

Tabla 1

Resultados inicial y final de cada tratamiento

Especies	Luz horas-día		Luz horas-noche		Tiempo	
	V.I	V.F	V.I	V.F	V.I	V.F
	(ppm*)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Sansevieria Trifasciata	4	1,72	4	2,14	4	0,97
Spathiphyllum	4	0,34	4	1,01	4	0,16
Spathiphyllum + Sansevieria	4	0,30	4	0,62	4	0,08

V.I=Valor Inicial; V.F=Valor Final; *ppm= partes por millon ; tiempo de exposición = 22 horas

Además se presenta el promedio de las repeticiones de cada tratamiento, describiendo el tiempo de exposición y las concentraciones de gas formaldehído. Se observó que a mayor concentración del gas, la planta mostró una mayor capacidad de absorción en un menor tiempo de exposición.

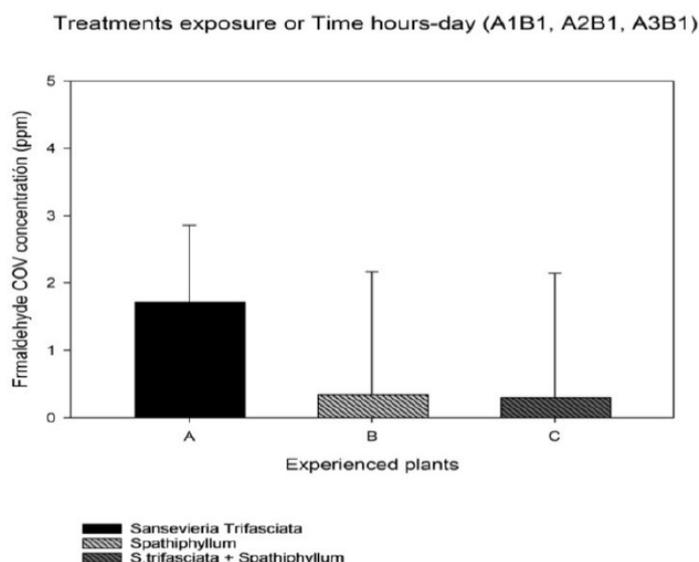
Cuando la concentración del formaldehído disminuyó, también se redujo la absorción por parte de las plantas, además se evidenció una disminución significativa de los niveles de formaldehído en presencia de *Sansevieria trifasciata*, destacándose por su capacidad para absorber y metabolizar diversos compuestos químicos, incluyendo el formaldehído. En esta etapa, la aplicación de procesos adicionales como el uso de microorganismos y un sustrato adecuado pueden elevar la eficiencia de remoción de gases por parte de las plantas, tal como lo han demostrado diversos estudios sobre el tema (Wang et al. , 2014).

Se presenta que a mayor concentración del formaldehído, la planta mostró una mayor absorción en un tiempo de exposición reducido, como se observa en la figura 3. Por otro lado, cuando la concentración del formaldehído disminuyó, la absorción por parte de las plantas también fue menor, lo que implicó un mayor tiempo de absorción del gas.

En cuanto a los resultados de los tratamientos, se observó que el tercer tratamiento (A3B1) fue el más efectivo, logrando absorber el 92,5 % del gas formaldehído al final del experimento, quedando un resto de 0,30 ppm en la cámara. El segundo tratamiento (A2B1) alcanzó una eficacia del 91,5 %, con un resto de 0,34 ppm. Por último, el primer tratamiento (A1B1) logró absorber el 57 %, dejando un resto de 1,72 ppm.

Figura 3

Concentración de COV formaldehído (ppm) respecto a la exposición de luz (horas-día) mediante la planta *Sansevieria Trifasciata* (A1B1), *Spathiphyllum* (A2B1) y las 2 plantas juntas (A3B1)

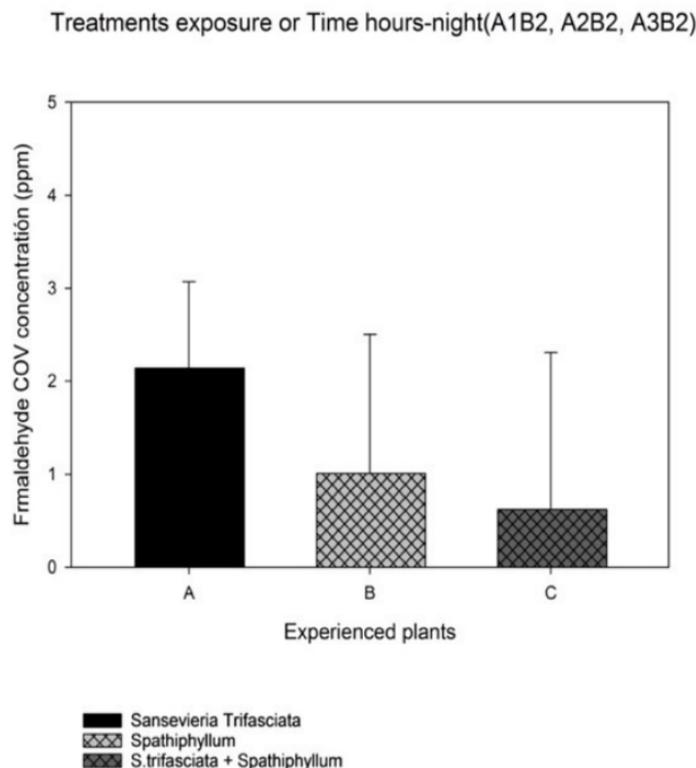


La figura 4 muestra que a medida que aumenta la concentración del gas formaldehído, la planta muestra una mayor capacidad de absorción en un tiempo de exposición más corto, mientras que, con concentraciones más bajas del gas, la absorción por parte de la planta es menor, lo que implica que requerirá más tiempo para absorber el formaldehído.

En el análisis de los tratamientos, se destaca que el tercer tratamiento (A3B2) resultó ser el más efectivo, logrando absorber el 84,5 % del gas formaldehído al final del experimento, dejando solo un resto de 0,62 ppm en la cámara. En el caso del segundo tratamiento (A2B2), se obtuvo una eficacia del 74,75 %, con un registro de 1,01 ppm del gas formaldehído en la cámara cerrada. Por último, el primer tratamiento (A1B2) mostró una absorción del 46,5 % del gas formaldehído, con un resto de 2,14 ppm en la cámara.

Figura 4

Concentración de COV formaldehído (ppm) respecto a la exposición de luz (horas-noche) mediante la planta *Sansevieria Trifasciata* (A1B2), *Spathiphyllum* (A2B2) y *Sansevieria Trifasciata* + *Spathiphyllum* (A3B2)

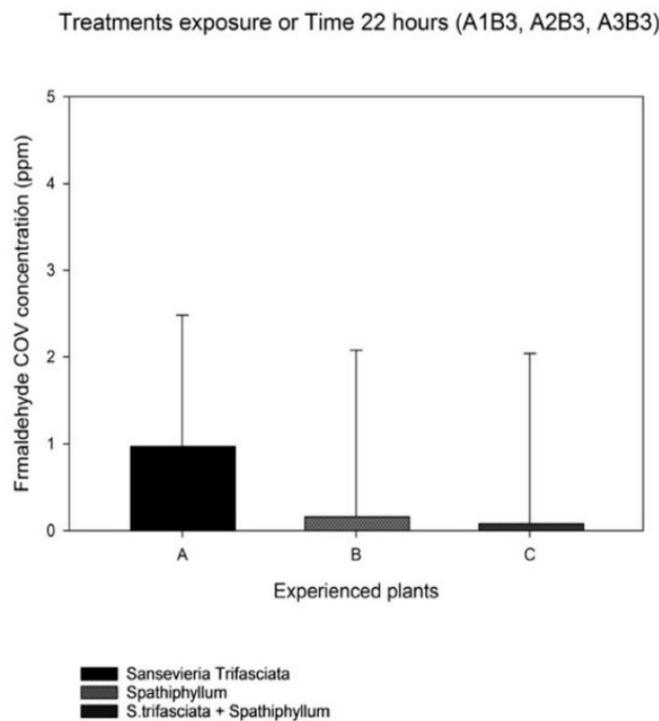


La figura 5 muestra que el tercer tratamiento (A3B3) se destaca como el más efectivo, logrando absorber un 98 % de formaldehído al finalizar el experimento, con un registro de tan solo 0,08

ppm en la cámara. El segundo tratamiento (A2B3) también demostró una alta eficiencia, alcanzando el 96 % de absorción del gas formaldehído, con una cantidad de 0,16 ppm registrada en la cámara cerrada. Por último, el primer tratamiento (A1B3) mostró una absorción del 75,75 % del gas formaldehído, registrando una concentración de 0,97 ppm en la cámara. Estos resultados enfatizan la sobresaliente capacidad del tercer tratamiento, que involucra la combinación de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* (A3B3), para reducir significativamente los niveles de formaldehído en el ambiente interior.

Figura 5

Concentración de COV formaldehído (ppm) respecto del tiempo (horas), utilizando las plantas *Sansevieria trifasciata*, *Spathiphyllum* y las 2 plantas juntas



Se evaluaron las plantas *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* antes y después del experimento, considerando su tamaño y el número de hojas. El trabajo experimental se llevó a cabo durante un período de 12 días. La planta *Sansevieria trifasciata*, con una altura inicial de 100 cm y 13 hojas, mantuvo estas mismas características después del experimento. Además, se observó que el color de las hojas no sufrió cambios significativos, permaneciendo con un atractivo tono verde brillante con manchas amarillas. Esto indica que el gas formaldehído no afectó negativamente a la planta, sino que parece haber contribuido a su desarrollo al servir como fuente de energía.

En cuanto a la planta *Spathiphyllum*, que inicialmente medía 130 cm de altura y tenía 10 hojas, también mantuvo su tamaño y número de hojas después del experimento. Se observó también que la planta estaba en estado de floración. Al igual que en el caso de la *Sansevieria trifasciata*, las hojas del *Spathiphyllum* no mostraron cambios apreciables en su color, luciendo un tono verde oscuro brillante. Estos resultados sugieren que el gas formaldehído no dañó la planta, sino que, al contrario, parece haber contribuido positivamente a su desarrollo como lo demuestran otras investigaciones donde han demostrado un fenómeno similar en otras especies de plantas, como la *Hedera hélix* y el *Chrysanthemum morifolium* (Sawada et al., 2005; Wei et al., 2017). Estos hallazgos subrayan el amplio potencial de diversas especies para su uso en la reducción de gases nocivos en ambientes interiores, mediante el proceso conocido como fitorremediación entendiendo este proceso como la capacidad de las plantas para absorber y acumular contaminantes presentes en el aire, como los compuestos orgánicos volátiles, con altos niveles de eficiencia (Aydogan y Montoya, 2011; Teiri et al., 2018).

La capacidad de las plantas para convivir con el gas formaldehído de manera beneficiosa y mejorar el ambiente interior abre nuevas perspectivas para la purificación del aire en espacios cerrados y resalta la importancia de explorar aún más la utilización de diferentes especies de plantas para mejorar la calidad del aire y promover entornos más saludables y sostenibles. En la tabla 4 se muestra los resultados de la medición foliar de las plantas ornamentales *Sansevieria Trifasciata* y *Spathiphyllum* antes y después del trabajo experimental.

Tabla 2

Resultados registro del tamaño de las plantas en cm

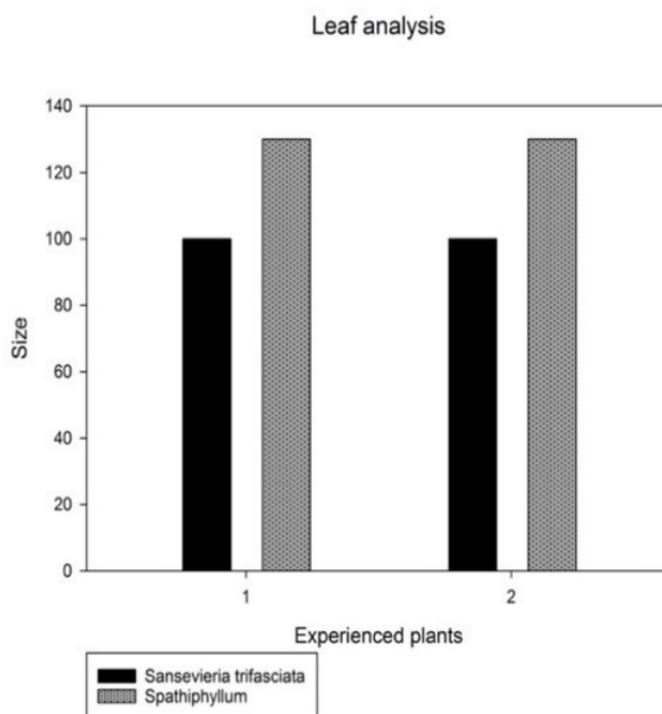
Especie	Antes de experimentación (cm)	Después de experimentación (cm)
<i>Sansevieria trifasciata</i>	100	100
<i>Spathiphyllum</i>	130	130

En la figura 6 se muestra que el tamaño (cm) de *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* antes y después de la experimentación no sufre ningún cambio estructural o a nivel de sus órganos visibles.

Es importante destacar que la disminución de los niveles de formaldehído no ocurrió de manera inmediata, sino que fue un proceso gradual ya que a medida que las plantas absorbían el formaldehído a través de sus hojas, el compuesto era metabolizado y convertido en sustancias menos tóxicas. Esto sugiere que la presencia continua de estas plantas en un ambiente interior puede mantener los niveles de formaldehído en un rango más bajo y saludable a largo plazo (Teiri et al., 2018).

Figura 6

Comparación del tamaño (cm) de la planta *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* antes y después del experimento.



CONCLUSIONES

Esta investigación demostró que las plantas *Sansevieria trifasciata* y *Spathiphyllum* son altamente efectivas para reducir la concentración de COV formaldehído en ambientes interiores. La *Sansevieria trifasciata* mostró una absorción del 75,75 % en 22 horas, 57 % durante el día y 46,5 % durante la noche. Por otro lado, el *Spathiphyllum* demostró una eficiencia del 96 % en 22 horas, 91,5 % durante el día y 74,75 % durante la noche. La combinación de ambas plantas resultó ser la más eficiente, logrando una absorción del 98 % en 22 horas, 92,5 % durante el día y 84,5 % durante la noche.

Asimismo, se confirmó que la exposición a la luz influye en la disminución del COV formaldehído en ambientes interiores, lo que sugiere que el proceso de purificación del aire es más efectivo en presencia de luz. Además, se observó que las plantas utilizadas requieren bajas intensidades de luz, facilitando su adaptación en la cámara cerrada.

Es importante destacar que a lo largo del proceso, no se registraron cambios a nivel foliar de las plantas, lo que indica que no hubo alteraciones estructurales o visibles en sus órganos principales, como el tamaño o tonalidad de las hojas. Esto confirma que el gas formaldehído no daña a

las plantas utilizadas en el proceso, sino que, por el contrario, parece favorecer su desarrollo al servir como fuente de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aydogan, A., & Montoya, L. D. (2011). Formaldehyde removal by common indoor plant species and various growing media. *Atmospheric Environment*, 45(16), 2675-2682. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.062>
- Bandehali, S.; Miri, T.; Onyeaka, H.; & Kumar, P. (2021). Current state of indoor air phytoremediation using potted plants and green walls. *In Atmosphere* 12 (4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>
- Cerna, N. (2008). Estudio sobre la exposición ocupacional a formaldehído de trabajadores preparadores de cadáveres en funerarias de la ciudad de Guatemala [Tesis, Universidad San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1065.pdf>
- De Gouw, J. y Warneke, C. (2007). Measurements of volatile organic compounds in the earth's atmosphere using proton-transfer-reaction mass spectrometry. *In Mass Spectrometry Reviews* 26 (2). <https://doi.org/10.1002/mas.20119>
- Fjeld, T.; Veierstedt, B.; Sandvik, L.; Riise, G.; & Levy, F. (1998). The Effect of Indoor Foliage Plants on Health and Discomfort Symptoms among Office Workers. *Indoor Built Environment*, 7, 204-209. <https://doi.org/10.1177/1420326X9800700404>
- Gao, X.; Jali, Z. M.; Abdul Aziz, A. R.; Hizaddin, H. F.; Buthiyappan, A.; Jewaratnam, J.; & Bello, M. M. (2021). Inherent health oriented design for preventing sick building syndrome during planning stage. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103285>
- Hänninen, O.; Knol, A. B.; Jantunen, M.; Lim, T. A.; Conrad, A.; Rappolder, M.; Carrer, P.; Fanetti, A. C.; Kim, R.; Buekers, J.; Torfs, R.; Iavarone, I.; Classen, T.; Hornberg, C.; & Mekel, O. C. L. (2014). Environmental burden of disease in Europe: Assessing nine risk factors in six countries. *In Environmental Health Perspectives*, 122 (5). Public Health Services, US Dept of Health and Human Services. <https://doi.org/10.1289/ehp.1206154>

- Kotzias, D. (2022). Exposure to volatile organic compounds in indoor/outdoor environments and methodological approaches for exposure estimates -the European paradigm. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 8, 100197. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100197>
- Liu, F.; Yan, L.; Meng, X.; & Zhang, C. (2022). A review on indoor green plants employed to improve indoor environment. *In Journal of Building Engineering*, 53. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104542>
- Liu, N.; Fang, L.; Liu, W.; Kan, H.; Zhao, Z.; Deng, F.; Huang, C.; Zhao, B.; Zeng, X.; Sun, Y.; Qian, H.; Mo, J.; Sun, C.; Guo, J.; Zheng, X.; Bu, Z.; Weschler, L. B.; & Zhang, Y. (2023). Health effects of exposure to indoor formaldehyde in civil buildings: A systematic review and meta-analysis on the literature in the past 40 years. *In Building and Environment* 233. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110080>
- Maung, T. Z.; Bishop, J. E.; Holt, E.; Turner, A. M.; & Pfrang, C. (2022). Indoor Air Pollution and the Health of Vulnerable Groups: A Systematic Review Focused on Particulate Matter (PM), Volatile Organic Compounds (VOCs) and Their Effects on Children and People with Pre-Existing Lung Disease. *In International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148752>
- OMS. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire Resumen ejecutivo*.
- Osman. (2011). Calidad del aire interior. *In Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía* (pp. 1?134).
- Permana, B. H.; Thiravetyan, P.; & Treesubsuntorn, C. (2022). Effect of airflow pattern and distance on removal of particulate matters and volatile organic compounds from cigarette smoke using *Sansevieria trifasciata* botanical biofilter. *Chemosphere*, 295, 133919. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133919>
- Sawada, S. Y.; Suzuki, H.; Ichimaida, F.; Yamaguchi, M. A.; Iwashita, T.; Fukui, Y.; Nishino, H.; y Nakayama, T. (2005). UDP-glucuronic acid: anthocyanin glucuronosyltransferase from red daisy (*Bellis perennis*) flowers: enzymology and phylogenetics of a novel glucuronosyltransferase involved in flower pigment biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, 280(2), 899-906. <https://doi.org/10.1074/jbc.M410537200>
- Salt, D. E.; Blaylock, M.; Kumar, N. P. B. A. ; Dushenkov, V.; Ensley, B. D.; Chet, I.; & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals

- from the Environment Using Plants. *Bio/Technology* 1995 13:5, 13(5), 468-474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
- Siswanto, D.; Permana, B. H.; Treesubuntorn, C.; & Thiravetyan, P. (2020). Sansevieria trifasciata and Chlorophytum comosum botanical biofilter for cigarette smoke phytoremediation in a pilot-scale experiment? evaluation of multi-pollutant removal efficiency and CO₂ emission. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 13(1), 109-117. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00775-9>
- Smith, A. ; & Pitt, M. (2011). Healthy workplaces: Plantscaping for indoor environmental quality. *Facilities*, 29(3), 169-187. <https://doi.org/10.1108/026327711111109289>
- Sriprapat, W.; Suksabye, P.; Areephak, S.; Klantup, P.; Waraha, A.; Sawattan, A.; & Thiravetyan, P. (2014). Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: Removal of vol-atile indoor air contaminants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102(1), 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.032>
- Teiri, H.; Pourzamzani, H.; & Hajizadeh, Y. (2018). Phytoremediation of formaldehyde from indoor environment by ornamental plants: An approach to promote occupants health. *International Journal of Preventive Medicine*, 9(1). https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_269_16
- Vogelezang, J. V. M. (1992). Effect of root-zone and air temperature on flowering and growth of Spathiphyllum and Guzmania mtnor ?Empire.? *In Scientia Horticulturae*, 49.
- Wang, L.; Sheng, Q.; Zhang, Y.; Xu, J.; Zhang, H.; & Zhu, Z. (2020). Tolerance of fifteen hydroponic ornamental plant species to formaldehyde stress. *Environmental Pollution*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115003>
- Wang, Z.; Pei, J.; & Zhang, J. S. (2014). Experimental investigation of the formaldehyde removal mechanisms in a dynamic botanical filtration system for indoor air purification. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 235-243. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.059>
- Wei, L.; Wang, Z.; Zhang, G.; & Ye, B. (2017). Characterization of terminators in Saccharomyces cerevisiae and an exploration of factors affecting their strength. *ChemBioChem*, 18(24), 2422-2427. <https://doi.org/10.1002/cbic.201700516>

Kevin Abner Ortega-Quispe, Madeleynee Pacheco-Huaman, Ana María Quispe-Rivera, Arlitt Amy Lozano-Povis, Kelly Steffy Monago-Torres

WHO. (1989). Indoor air quality: Organic pollutants. *Environmental Technology Letters*, 10(9), 855-858. <https://doi.org/10.1080/09593338909384805>

WHO. (2010). Selected Pollutants (WHO Regional Office for Europe, Ed., 1. www.euro.who.int

Yang, Q. ; Wang, H. ; Wang, J. ; Lu, M. ; Liu, C. ; Xia, X. ; Yin, W. ; & Guo, H. (2018). PM_{2.5}-bound SO₄²⁻ absorption and assimilation of poplar and its physiological responses to PM_{2.5} pollution. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 311-319. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.009>

Yeh, D. M. ; Lin, L. ; & Wright, C. J. (2000). Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Horticulturae*, 86, 223-233.

Yin, P.; Brauer, M.; Cohen, A. J.; Wang, H.; Li, J.; Burnett, R. T.; Stanaway, J. D.; Causey, K.; Larson, S.; Godwin, W.; Frostad, J.; Marks, A.; Wang, L.; Zhou, M.; & Murray, C. J. L. (2020). The effect of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across China and its provinces, 1990-2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), e386-e398. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30161-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30161-3)

Fecha de recepción: 23/07/23

Fecha de aceptación: 13/09/23

Correspondencia

Kevin Abner Ortega-Quispe

kevinorqu@gmail.com