

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“FIJACIÓN DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS DEL ENTORNO URBANO
MEDIANTE PLANTAS Y ARBUSTOS
APLICABLES EN JARDINERÍA VERTICAL”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Santiago Pérez Borrás

Tutor/a:
Josep Vicent Llinares Palacios

GANDIA, 2021

RESUMEN

Este trabajo se basa en una revisión bibliográfica que trata de recopilar información acerca de los COV en concreto del formaldehído, el benceno y el tolueno y, cómo estos afectan sobre la salud humana. Se procede a buscar información sobre especies vegetales capaces de eliminar de la manera más eficaz posible dichos COV. En primer lugar, se realizará una búsqueda de artículos y documentos utilizando los principales motores de búsqueda y sus bases de datos (PubMed, Google Scholar, SciELO, Elsevier, Springer, EPA, entre otros). Se procederá con una estrategia de búsqueda que se basará en la utilización de descriptores y operadores lógicos para obtener resultados concretos. Tras la búsqueda se aplicarán los diferentes criterios de inclusión y exclusión para descartar resultados que puedan perjudicar a la revisión bibliográfica. Una vez obtenidos los artículos finales se presentarán en tablas resumidas para proceder a su discusión. Se discutirá sobre los resultados de cada artículo y se concluirá con las especies vegetales más eficientes en la eliminación de los COV.

Palabras clave: revisión bibliográfica, formaldehído, benceno, tolueno, especies vegetales

ABSTRACT

This work is based on a bibliographic review that tries to gather information about VOCs specifically formaldehyde, benzene, and toluene and how they affect human health. It proceeds to seek information on plant species capable of eliminating these VOCs in the most efficient way possible. First, a search for articles and documents will be carried out using the main search engines and their databases (PubMed, Google Scholar, SciELO, Elsevier, Springer, EPA, among others). It will proceed with a search strategy that will be based on the use of descriptors and logistics operators to obtain concrete results. After the search, the different inclusion and exclusion criteria will be applied to rule out results that could harm the bibliographic review. Once the final articles have been obtained, they will be presented in summary tables for discussion. The results of each article will be discussed, and it will conclude with the most efficient plant species in eliminating VOCs.

Keywords: bibliographic review, formaldehyde, benzene, toluene, plant species.

RESUM

Aquest treball es basa en una revisió bibliogràfica que tracta de recopilar informació sobre els COV en concret del formaldehid, el benzé i el tolué i, com aquests afecten sobre la salut humana. Es procedeix a buscar informació sobre espècies vegetals capaces d'eliminar de la manera més eficaç possible dits COV. En primer lloc, es realitzarà una cerca d'articles i documents utilitzant els principals motors de cerca i les seues bases de dades (PubMed, Google Scholar, SciELO, Elsevier, Springer, EPA, entre altres). Es procedirà amb una estratègia de cerca que es basarà en la utilització de descriptors i operadors lògics per a obtindre resultats concrets. Després de la cerca s'aplicaran els diferents criteris d'inclusió i exclusió per a descartar resultats que puguen perjudicar la revisió bibliogràfica. Una vegada obtinguts els articles finals es presentaran en taules resumides per a procedir a la seua discussió. Es discutirà sobre els resultats de cada article i es conclourà amb les espècies vegetals més eficients en l'eliminació dels COV.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Contextualización del problema.	4
1.1.1. Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud.....	4
1.1.2. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema respiratorio.....	4
1.1.3. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema cardiovascular.	4
1.1.4. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema nervioso.....	5
1.1.5. Efectos de la contaminación del aire sobre embarazadas.....	5
1.2. Problemática en interiores.	5
1.2.1. Cocinar.....	5
1.2.2. Productos químicos y limpieza.....	5
1.2.3. Calefacción.....	6
1.2.4. Materiales de construcción y mobiliario.	6
1.3. Justificación.....	7
1.3.1. Formaldehído.	8
1.3.2. Benceno.	8
1.3.3. Tolueno.....	9
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIAL Y MÉTODOS	9
3.1. Estrategia de búsqueda.....	10
3.2. Criterios de inclusión y exclusión.....	10
3.3. Obtención de los datos.....	10
4. RESULTADOS	12
5. DISCUSIONES	17
5.1. Preparación del material vegetal.....	17
5.2. Eliminación del Benceno.....	17
5.3. Eliminación del Tolueno.....	19
5.4. Eliminación de Formaldehído.....	22
5.5. Otros datos relevantes.....	26
6. CONCLUSIONES	27
7. BIBLIOGRAFÍA	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contribución media de la fuente al total de COV medidos para ambientes interiores.	6
Figura 2. Concentraciones de formaldehído en el interior expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).	7
Figura 3. Encuesta Nacional de Patrones de Actividad Humana.	7
Figura 4. Cronograma de la del desarrollo del trabajo.	9
Figura 5. Flujograma de la búsqueda bibliográfica utilizada para la obtención de los artículos.	11
Figura 6. Eliminación acumulada de benceno.	17
Figura 7. Eficiencia de eliminación basada en el área foliar para el VOC de benceno.. 18	
Figura 8. Comparación de la eficiencia de las partes aéreas de algunas especies en la eliminación de $1\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de benceno gaseoso ($3,21\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en un ambiente cerrado. ...	18
Figura 9. Eliminación acumulada de benceno por partes aéreas de algunas especies durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó únicamente benceno como gas contaminante ($1\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$).	19
Figura 10. Comparación de la eficiencia de las partes aéreas de algunas especies en la eliminación de $1\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de tolueno gaseoso ($3,79\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en un ambiente cerrado. ...	20
Figura 11. Eliminación acumulada de benceno por partes aéreas de algunas especies durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó únicamente tolueno como gas contaminante ($1\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$).	20
Figura 12. Eliminación acumulada de benceno.	21
Figura 13. Eficiencia de eliminación de tolueno en algunas plantas estudiadas a las 24, 48 y 72 horas.	21
Figura 14. Eliminación de formaldehído durante 5 horas de exposición para las 86 especies de plantas de interiores.	22
Figura 15. Eliminación de formaldehído por plantas de interiores, tras la exposición a $2\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de formaldehído durante 5 horas.	23
Figura 16. Eliminación de formaldehído por los sistemas planta-suelo afectados por el formaldehído e intensidades de luz durante el día y la noche.	24
Figura 17. Comportamiento de los brotes en la eliminación de formaldehído.	25
Figura 18. Comportamiento de los suelos de las macetas en la eliminación de formaldehído.	25
Figura 19. Eliminación acumulada de benceno y tolueno por partes aéreas de durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó una mezcla de benceno y tolueno como gas contaminante $0,5\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunas de las fuentes más comunes de formaldehído en espacios interiores. .	8
Tabla 2. Resumen de las características del estudio de Yang, D.S. et al. (2009).....	12
Tabla 3. Resumen de las características del estudio de Yoo et al. (2006).....	13
Tabla 4. Resumen de las características del estudio de Kim et al. (2010).....	14
Tabla 5. Resumen de las características del estudio de Sriprapat et al. (2014).....	15
Tabla 6. Resumen de las características del estudio de Xu et al. (2011).....	16

ABREVIATURAS

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente.

As: Arsénico.

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.

BaP: Benceno[a]pireno.

CAE: Contaminación Ambiental Exterior.

CAI: Contaminación Ambiental Interior.

CO: Monóxido de Carbono.

CO₂: Dióxido de Carbono.

COV: Compuestos Orgánico Volátiles.

EPA: Agencia de Protección Ambiental Estadounidense.

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

Hg: Mercurio.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer.

NO₂: Dióxido de Nitrógeno.

O₃: Ozono.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PAR: Radiación Fotosintéticamente Activa.

Pb: Plomo.

PM: Material Particulado.

PM₁₀: Material Particulado con diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$.

PM_{2,5}: Material Particulado con diámetro $\leq 2,5 \mu\text{m}$.

SE: Error Estándar.

SO₂: Dióxido de Azufre.

TCE: tricloroetileno.

UPV: Universitat Politècnica de València.

VPN: Red Privada Virtual.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Contextualización del problema.

En la actualidad los problemas de contaminación ambiental son reconocidos internacionalmente, sobre todo los relacionados con la contaminación del aire que van incrementando año tras año dando lugar a una posible exposición a elementos perjudiciales para la salud como los COV, al CO, al CO₂, el O₃, el SO₂, las partículas PM_{2,5} y PM₁₀, entre muchos otros (AEMA, 2020).

El constante aumento de la contaminación atmosférica afecta a todos los países del mundo, según la OMS (2016) aproximadamente el 91% de la población mundial vive en zonas donde la calidad del aire supera los límites determinados por la misma, siendo las zonas más afectadas las del Pacífico Occidental y el Sudeste Asiático.

La OMS (2016; 2018) ha llegado a catalogar la contaminación del aire (exterior e interior) como el factor de riesgo para la salud de mayor relevancia, causando aproximadamente el 10 por ciento de muertes al año. En el cómputo global es la causante de 7 millones de muertes de las cuales 3 millones son causadas por la contaminación de aire exterior (CAE) y los otros 4 millones por la contaminación del aire interior (CAI).

1.1.1. Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud.

La exposición a contaminantes atmosféricos y sus efectos dependen de diversos factores como el tiempo de exposición, la dosis y la exposición humana a mezclas de contaminantes pueden tener diferentes impactos y efectos sobre la salud. Algunos datos epidemiológicos indican que los principales sistemas afectados son el cardiovascular y el respiratorio, no obstante, algunos órganos pueden verse afectados (Künzli & Tager, 2005; Sharma, 2014).

1.1.2. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema respiratorio.

Existen diversos estudios que especifican que todos los tipos de contaminantes presentes en aire en altas concentraciones o a la exposición de contaminantes a bajas concentraciones durante largos periodos de tiempo, pueden afectar a las vías respiratorias (Lim et al., 2012). La exposición a una elevada concentración y a un periodo corto de tiempo en O₃ puede provocar un agravamiento en personas que padezcan otras enfermedades respiratorias como el asma, incluso provocarles la muerte (Sunyer et al., 2002). Otros síntomas causados por una exposición sobre contaminantes como las PM₁₀, el SO₂, el NO₂ y el O₃ a largo plazo sobre adultos fueron: tos crónica, flemas crónicas, sibilancias sin presencia de resfriado, disnea durante el día o noche o ambas y sensación de opresión en el pecho (Zemp et al., 1999).

1.1.3. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema cardiovascular.

Los efectos más frecuentes suelen ser aquellos que puedan afectar a la capacidad de transportar oxígeno o a los vasos sanguíneos. El principal contaminante que afecta al transporte del oxígeno en sangre es el CO que entra al corriente sanguíneo fácilmente y se une con mayor facilidad a la hemoglobina que el oxígeno. Podemos encontrar altas concentraciones de CO en nuestros garajes (Badman & Jaffe, 1996). La contaminación

del aire sobre todo con las PM_{2,5} y el O₃ que causan coagulación de la sangre e infarto agudo de miocardio respectivamente (Ruidavets et al., 2005; Vermynen et al., 2005).

1.1.4. Efectos de la contaminación del aire sobre el sistema nervioso.

Los efectos más habituales se suelen dar por inhalación de CO en altas concentraciones. Estos casos se suelen dar en incendios (forestales cercanos a viviendas, en vivienda, en vehículos, etc.) donde se puede llegar a sufrir cegueras, pérdida del habla, deterioros neurológicos, desorientación, disminución de la fuerza muscular, etc. (Cardoso et al., 2020).

El sistema nervioso también se ve afectado por los metales pesados (As, Hg y Pb) y dioxinas que, tras su exposición se produce neurotoxicidad con síntomas como trastornos del sueño, ira, alteraciones de la memoria, entre otros (Ratnaik, 2003).

1.1.5. Efectos de la contaminación del aire sobre embarazadas.

Existen estudios científicos que demuestran que los contaminantes presentes en el aire, sobre todo el Pb, afectan al desarrollo del feto durante el embarazo (Schell et al., 2006) y pueden conllevar al aborto espontáneo, malformaciones congénitas y lesiones en el sistema nervioso del feto que desembocan en un deterioro en las habilidades motoras y cognitivas del neonato (Bellinger, 2005; Garza et al., 2006).

1.2. Problemática en interiores.

Cabe esperar que las concentraciones de contaminantes en interiores (oficinas, escuelas, viviendas, etc.) sean inferiores a las presentes en el exterior debido a la sensación de que el edificio puede presentar alguna protección contra las fuentes contaminantes del exterior (emisiones de tráfico, emisiones industriales, etc.). En cambio, pueden existir importantes infiltraciones de contaminantes del aire exterior hacia el interior, el más importante fisuras y huecos en ventanas (Chen & Zhao, 2011).

1.2.1. Cocinar.

Numerosos estudios demuestran que cocinar es una importante fuente de emisiones en PM en el interior de los hogares alrededor de todo el mundo y que, dependiendo del material de combustión y tipología de comida, es capaz de incrementar la concentración de PM hasta cinco veces durante el tiempo que se está cocinando (Abdullahi et al., 2013; See & Balasubramanian, 2008).

1.2.2. Productos químicos y limpieza.

Varios estudios demuestran que los productos químicos relacionados con el hogar como los materiales de construcción, los revestimientos de pisos y paredes, pinturas, desodorantes, lejías, jabones, geles, plaguicidas, etc. (Figura 1¹) y la resuspensión de PM

¹ En la Figura 1 se observa que los productos del hogar conforman la mayor parte de las aportaciones (44%), seguido de la aportación por procesos de combustión, que es la segunda más importante (cocinar y humo de tabaco).

en el barrido de la casa contribuyeron a más del 70% del total de los COV en el interior del hogar (Bari et al., 2015; Kwon et al., 2007).

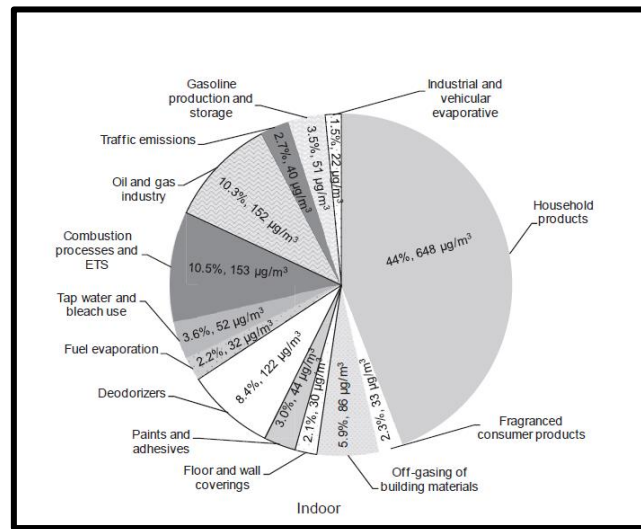


Figura 1. Contribución media de la fuente al total de COV medidos para ambientes interiores.

Fuente: (Bari et al., 2015).

1.2.3. Calefacción.

En países desarrollados la calefacción suele estar centralizada, sin embargo, existe un auge en la instalación de estufas y chimeneas de leña causado por su estética acogedora y un menor costo de los combustibles.

En algunos estudios se ha demostrado que las casas que obtienen calefacción a través de la combustión de leña poseen niveles de son considerablemente más elevados en HAPs, habiendo registrado niveles medios de BaP de $0,88 \text{ ng/m}^3$ superando los niveles recomendados de la Comisión Europea establecidos en $0,5 \text{ ng/m}^3$ (Gustafson et al., 2008; WGPAH, 2001).

1.2.4. Materiales de construcción y mobiliario.

Algunos estudios determinan que la edad del edificio y el mobiliario que lo compone tiene un gran efecto sobre las emisiones de formaldehído que se detectó en el 90% de los hogares y de tolueno que se detectó en el 65% de los hogares y otros COV (Guo et al., 2009).

Cabe destacar que el mobiliario conforma el 45% de las aportaciones del formaldehído en el interior del hogar y un 43% corresponden a los materiales de construcción y ambas se ven agravadas con los incrementos de temperatura (Figura 2) en el interior (Blondel & Plaisance, 2011).

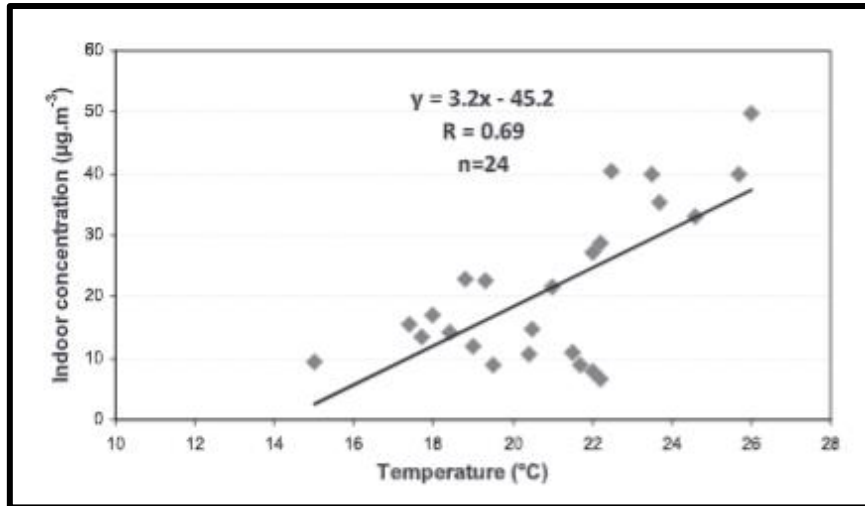


Figura 2. Concentraciones de formaldehído en el interior expresado en µg /m³ frente a la temperatura en grados centígrados (°C).

Fuente: (Blondel & Plaisance, 2011).

1.3. Justificación.

Diversos estudios afirman que la contaminación atmosférica es un factor de riesgo para la salud humana incrementando las enfermedades como el cáncer de pulmón y la muerte por fallo cardiopulmonar debido a la exposición a largo plazo a las PM_{2.5} (Pope III et al., 2002), el riesgo y muerte por accidentes cerebrovasculares isquémicos a causa de la exposición a contaminantes como NO₂, SO₂, O₃ y CO (Hong et al., 2002), las afecciones en la fertilidad y muertes por cáncer de mama por la exposición a PM_{2.5} y HAPs (Hung et al., 2012), entre otras afecciones ya nombradas.

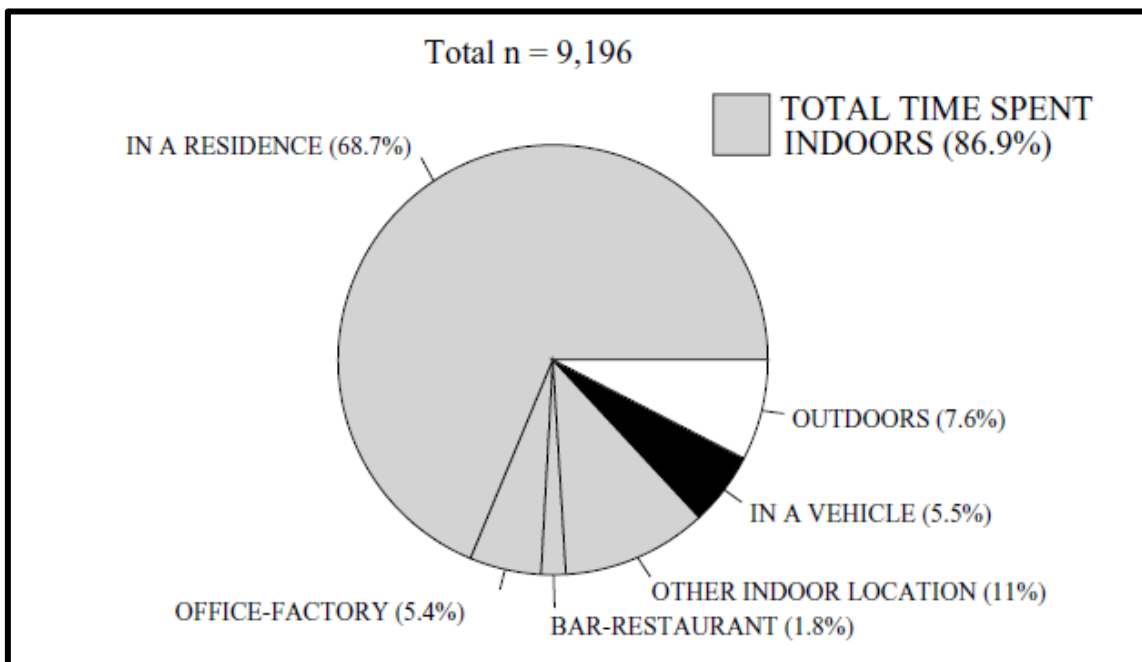


Figura 3. Encuesta Nacional de Patrones de Actividad Humana.

Fuente: (Klepeis et al., 2001).

Algunos estudios afirman que la concentración de determinados contaminantes es hasta cinco veces mayor en los ambientes interiores que en los exteriores (Marcos & Pulgarín, 2005) y se estima que las personas pasan aproximadamente el 90 por cien del tiempo (Figura 3²) en ambiente interiores como oficinas, gimnasios, viviendas, etc. (Klepeis et al., 2001; Velux, 2018).

Varios estudios se han centrado en la mejora de la CAI mediante el uso de plantas interiores demostrando que sus principales efectos sobre la CAI son la eliminación del formaldehído, benceno y tolueno, reducen el efecto de la temperatura e incrementan la humedad (Kerschen et al., 2016; Orwell et al., 2004, 2006; Wood et al., 2002).

Estudios determinan que en los hogares y espacios interiores públicos existen limitaciones de espacio y por ello la jardinería vertical otorga una respuesta a esta carencia de espacio, pudiendo aprovechar al máximo el mismo (Carpenter, 2008).

1.3.1. Formaldehído.

Se trata de un gas incoloro que a concentraciones elevadas puede provocar irritación de ojos, nariz y garganta en cortos periodos de exposición (Air & Guideline, 2004). La IARC (2004) clasificó el formadehído como un gas carcinógeno para el ser humano. Existen numerosas fuentes de formaldehído en los espacios interiores (Tabla 1).

Tabla 1. Algunas de las fuentes más comunes de formaldehído en espacios interiores.

Fuentes comunes de formadheído en los espacios interiores	
Productos de madera prensada	Tableros de fibra de densidad media, contrachapados y materiales de consturcción (paredes y suelos).
Productos de consumo	Endurecedores de uñas, esmales, papel tapiz, pinturas, revestimientos y/o coservantes en estos productos.
Recubrimiento para muebles	En acabados tipo urea que poseen catalizadores por ácido.
Tejidos	Ropa, sábanas y cortinas.
Aparatos de combustión	Estufas de leña o gas, estufas de queroseno, chimeneas, etc.
Otros	Tabaco

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos de (Air & Guideline, 2004).

1.3.2. Benceno.

El IARC (1987) clasificó al benceno como una sustancia de riesgo de cancer para la salud humana de clase I – carcinógeno. El benceno es un líquido que se evapora rápidamente (ATSDR, 2007) y que es capaz de provocar riesgo de cancer en los ambientes interiores (Huang et al., 2013). Según la ATSDR (2007) “*el benceno también se usa en la manufactura de ciertos tipos de caucho, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y plaguicidas*”.

² En la Figura 3, se muestran los porcentajes de tiempo correspondiente a seis diferentes localizaciones donde diariamente las personas ocupan su tiempo (Klepeis et al., 2001).

1.3.3. Tolueno.

Se trata de un líquido transparente que se suele utilizar en la fabricación de pinturas, diluyentes de pinturas, esmaltes para las uñas, caucho, etc. (ATSDR, 2015). Según el estudio de Maryiantari *et al.* (2016) la exposición a corto plazo puede provocar hormigueos, dolor de cabeza, piel seca incluyendo sangrado, sensación de ardor, escozores, etc. mientras que a exposiciones prolongadas puede causar desórdenes en la micción, olvidos, obstrucciones en el estomago e incluso desórdenes del movimiento.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos principales de este estudio son los expuestos a continuación:

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de las especies vegetales que favorezcan a mejorar la CAI.
- Las especies vegetales estudiadas deben reducir las concentraciones de formaldehído, benceno y tolueno en el aire interior.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para este trabajo se ha efectuado una revisión bibliográfica, ha ocupado el periodo de tiempo de julio de 2021, hasta noviembre de 2021 (Figura 4).

Mes	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Búsqueda artículos																				
Tratamiento datos																				
Redacción																				

Figura 4. Cronograma de la del desarrollo del trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Entre los principales motores de búsqueda utilizados para este trabajo se encuentran: PubMed, Google Scholar, SciELO y Scopus; entre las principales bases de datos se encuentran: Elsevier, Springer, PLOS y EPA.

La búsqueda en dichos motores y bases de datos se ha realizado mayoritariamente en inglés por ser la lengua predominante en el campo científico, aunque en algunas de estas búsquedas se ha optado por el castellano. Los descriptores de búsqueda mayormente utilizados han sido: “Air quality”, “Air pollution”, “Potted plants”, “Reduce”, “Removal”, “Formaldehyde”, “Benzene”, “Toluene”.

Se han utilizado los siguientes operadores lógicos para unir los diferentes descriptores en la búsqueda de información:

- AND: Recoge todos los documentos que contengan los descriptores incluidos, reduce y concreta la búsqueda.
- OR: Recoge todos los documentos que contengan al menos uno de los descriptores empleados o todos ellos a la vez, amplía la búsqueda.

- NOT: Recoge todos los documentos que contengan el primer descriptor per no el siguiente, limita la búsqueda.

Para este trabajo no se han incluido truncamientos ni máscaras, tampoco operadores de proximidad.

Se han admitido documentos y artículos más destacados en los últimos años, focalizándose en aquellos que se investiga y hablan sobre especies vegetales interiores y cómo disminuyen las concentraciones de formaldehído, benceno y tolueno.

3.1. Estrategia de búsqueda.

Para la búsqueda documentos y de artículos se consultaron utilizaron los diferentes motores de búsqueda para acceder a diferentes bases de datos empleando cadenas de búsqueda:

Cadena de búsqueda = Descriptor₁ + Operador logístico₁ + Descriptor₂ + Operador logístico₂ + ... Descriptor_n + Operador logístico_n

Una se obtuvieron los artículos se filtraron según el número de veces que fueron citados.

3.2. Criterios de inclusión y exclusión.

En el trabajo se ha procedido a incluir artículos que cumplen los siguientes requisitos:

- El planteamiento de los artículos son el estudio de especies vegetales capaces de remover contaminantes.
- Las especies vegetales estudiadas deben ser capaces de remover o disminuir el formaldehído, el benceno, el tolueno o todos ellos.
- Las especies vegetales han sido estudiadas bajo condiciones de ambientes interiores.
- Los artículos deben ser de acceso gratuito o accesibles mediante la VPN de la UPV y, haber sido publicados en los últimos 15 años sin incluir los años 2020 y 2021 por la situación excepcional de pandemia por COVID-19 a nivel global.
- Los artículos encontrados deben estar citados al menos 70 veces para obtener un artículo de relevancia e impacto y para estar en la revisión bibliográfica.

Se han excluido aquellos documentos y artículos que:

- Estudian especies arbóreas y/o arbustivas exclusivamente.
- No estudian la remoción del formaldehído, el benceno o el tolueno.
- Las especies vegetales que han sido estudiadas bajo condiciones ambientales exteriores.

3.3. Obtención de los datos.

Tras la primera búsqueda se obtuvieron un total de 101 artículos, un total de 90 artículos se excluyeron por no cumplir con los criterios de inclusión o no ser de interés para el objetivo de la revisión bibliográfica, mediante la lectura de los títulos y resúmenes. Para la conclusión de la búsqueda se leyeron las discusiones y conclusiones de los

diferentes artículos seleccionando finalmente un total de 5 artículos de interés para la revisión bibliográfica (Figura 5), en los cuales se obtienen las principales especies vegetales que concuerdan con el objetivo.

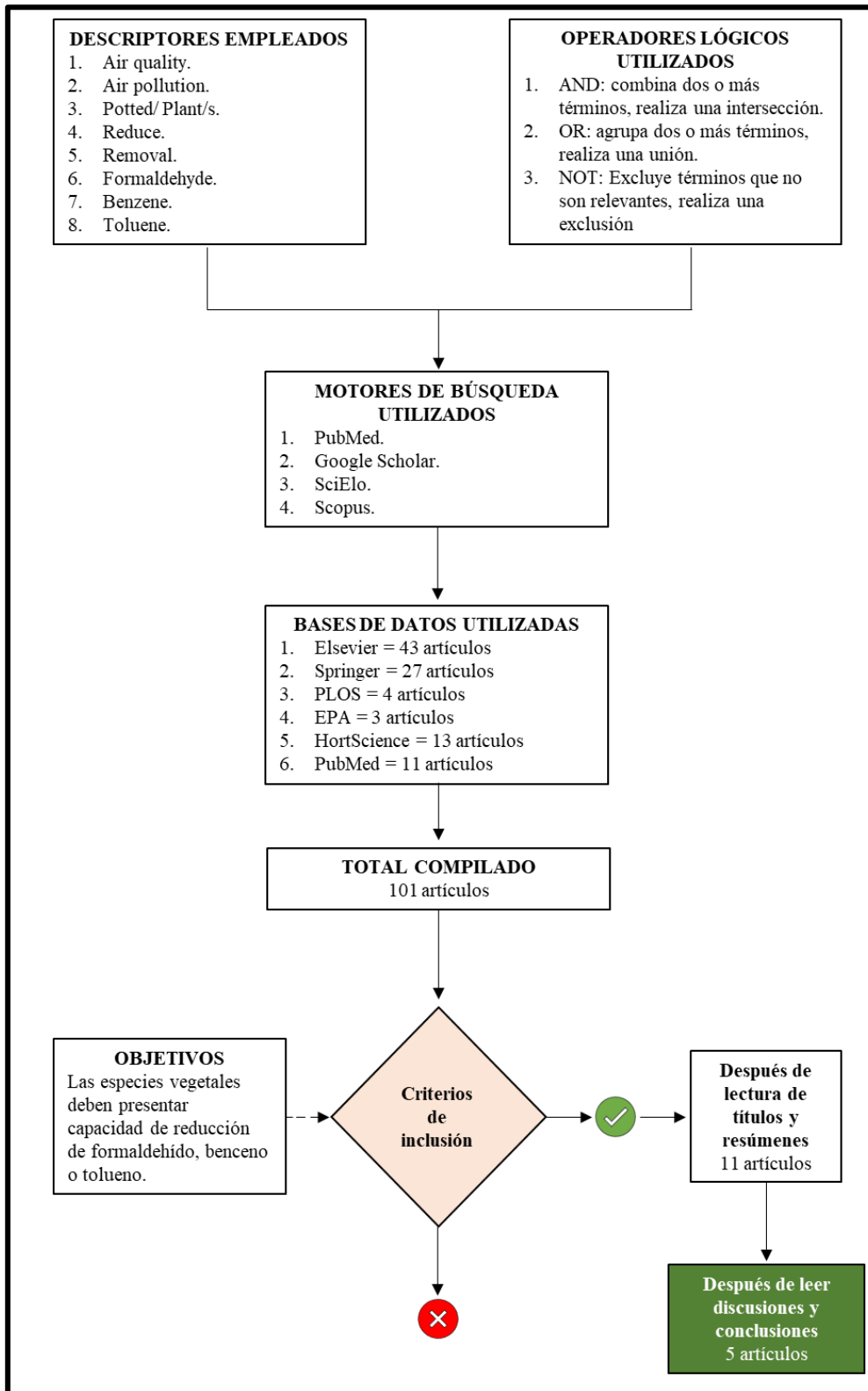


Figura 5. Flujograma de la búsqueda bibliográfica utilizada para la obtención de los artículos.

Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS.

Tras la lectura crítica de los 5 artículos obtenidos tras la metodología de búsqueda bibliográfica, se ha realizado un resumen en tablas donde se han recogido los objetivos, las metodologías, los resultados que se han obtenido y las conclusiones de cada uno de los artículos de manera breve y concisa.

Tabla 2. Resumen de las características del estudio de Yang, D.S. et al. (2009).

Título del artículo	Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency
Citado por	194 veces citado
Autores	Yang, D.S. et al. (2009)
Objetivos	Ampliar el campo de la fitorremediación mediante el estudio de 28 especies de plantas de interior y su habilidad para reducir cinco COV.
Especies vegetales empleadas	<i>Fittonia argyroneura</i> Coem.; <i>Hemigraphis alternata</i> ; <i>Dracaena fragrans</i> ; <i>Sansevieria trifasciata</i> ; <i>Chlorophytum comosum</i> ; <i>Anthurium andreanum</i> ; <i>Dieffenbachia seguine</i> ; <i>Philodendron scandens</i> ssp. <i>oxycardium</i> ; <i>Pipemnum aureum</i> ; <i>Spathiphyllum wallisii</i> ; <i>Syngonium podophyllum</i> ; <i>Schefflera arboricola</i> ; <i>Schefflera</i> ; <i>Hedera helix</i> ; <i>Polyscias fruticosa</i> ; <i>Hoya carnosa</i> ; <i>Guzmania</i> sp.; <i>Tradescantia</i> ; <i>Codiaeum variegatum</i> ; <i>Pelargonium graveolens</i> ; <i>Asparagus densiflorus</i> ; <i>Aspidistra elatior</i> ; <i>Calathea roseopicta</i> ; <i>Maranta leuconeura</i> ; <i>Ficus benjamina</i> ; <i>Ficus elastica</i> ; <i>Howea belmoreana</i> ; <i>Peperomia clusifolia</i> .
Metodología	<p>Material vegetal: Se lavaron y replantaron en macetas. Se dejaron 8 semanas a la sombra y luego se aclimataron durante 12 semanas en condiciones de interior ($5.45 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [PAR] $22 \pm 1^\circ\text{C}$ y 50% HR.). Las plantas se regaron según necesidades. Al final del experimento las áreas foliares fueron determinadas con un medidor de área foliar para expresar la eficiencia de eliminación sobre la base del área foliar.</p> <p>Introducción del compuesto orgánico volátil: las plantas se colocaron en el interior de jarras de vidrio que poseen tapa en la entrada y salida, con una tubería de acero inoxidable soldada. Para que el gas se reparta uniformemente el tubo de entrada se extiende de arriba abajo de la jarra. El puerto de entrada posee un filtro de carbón de modo que se introdujo aire purificado y se colocaron las plantas 24 h antes del tratamiento y con un fotoperiodo de luz de 12 h. Previa inoculación de los COV se sellan los puertos de entrada y salida. Las plantas fueron expuestas a 10 ppm de benceno, TCE, tolueno, octanol y a-pireno de alta pureza. En las pruebas preliminares se crearon nuevas concentraciones de 9.66, 11.00, 9.66, 9.49, and 9.82 ppm con la introducción de 2.0, 2.7, 2.4, 4.0 y 4.0 μL respectivamente utilizando microjeringas y calibrando la cantidad de cada compuesto adsorbido en la superficie interior de las jarras.</p> <p>Análisis de los compuestos orgánico volátil: Muestras de 1mL fueron extraídas durante el fotoperiodo de luz con jeringas a las 3 y a las 6 horas después de la exposición a los COV y fueron analizadas por capilaridad mediante cromatografía de gases espectroscopia de masas. El helio fue utilizado como gas portador. Para cuantificar concentraciones absolutas de cada compuesto, se realizaron curvas estándar para cada uno mediante soluciones a 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ en hexano.</p> <p>Análisis estadístico: análisis de variación y prueba de rango múltiple de Duncan mediante el sistema SAS para Windos v8.</p>
Resultados	<p>Benceno: tres especies fueron superiores en la remoción <i>Hemigraphis alternata</i> ($5.54 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$), <i>Tradescantia pallida</i> (3.86) y <i>Hedera helix</i> (3.63).</p> <p>Tolueno: Tres especies fueron superiores <i>Hemigraphis alternata</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$), <i>Tradescantia pallida</i> (9.10) y <i>Hedera helix</i> (8.25)</p>
Conclusiones	De las 28 especies estudiadas <i>Hemigraphis alternata</i> , <i>Tradescantia pallida</i> , <i>Hedera helix</i> y <i>Asparagus densiflorus</i> poseen unas eficiencias de remoción superiores para cada uno de los compuestos estudiados. En particular <i>H. alternata</i> tuvo la mayor eficiencia de remoción. En este y otros estudios, se demuestra que las plantas de interior poseen el potencial para mejorar significativamente la calidad del aire interior garantizando eficiencias de eliminación para los COV.

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos en (Yang, D.S. et al., 2009).

Tabla 3. Resumen de las características del estudio de Yoo et al. (2006).

Título del artículo	Efficacy of Indoor Plants for the Removal of Single and Mixed Volatile Organic Pollutants and Physiological Effects of the Volatiles on the Plants
Citado por	112 veces citado
Autores	Yoo et al. (2006)
Objetivos	Estudiar la eficacia de cuatro especies de plantas de interior en la remoción de un o una combinación de COV.
Especies vegetales empleadas	<i>Hedera helix</i> L.; <i>Spathiphyllum wallisii</i> Regal; <i>Syngonium podophyllum</i> Schott; <i>Cissus rhombifolia</i> Vahl.
Metodología	<p>Material vegetal: Se plantaron en macetas de 18 cm de diámetro. Se aclimataron durante un periodo superior a 6 meses ($100 \pm 30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [PAR], $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $50\% \pm 10\%$ HR). Las plantas fueron regadas según necesidades. Se obtuvieron las áreas de hoja. Las plantas fueron aclimatadas antes de la exposición en cámaras de crecimiento a $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [PAR], $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 50% a 60% de HR por 1 mes.</p> <p>Introducción del compuesto orgánico volátil: Las plantas fueron colocadas en cámaras estancas al gas y expuestas individualmente a una concentración de 1 ppm de benceno, tolueno o 0.5 ppm de cada uno de los componentes. Para evaluar la diferencia de remoción entre día y noche, las concentraciones en las cámaras fueron determinadas cada 2 h durante 6 h tanto por el día como por la noche.</p> <p>Análisis de los compuestos orgánico volátil: Se extrajeron muestras de 0.5 mL de las cámaras y fueron analizadas mediante capilaridad con cromatografía de gases.</p> <p>Medidas de respuestas fisiológicas: se utilizó un analizador fotosintético portátil que se utilizó para cerciorarse de posibles cambios en los procesos fisiológicos antes y después de la exposición al gas.</p> <p>Análisis estadístico: Las concentraciones de gas se expresaron en miligramos por metro cúbico y los datos se normalizaron a $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atm. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza utilizando software estadístico estándar (SAS Institute, Cary, N.C.) con las medias separadas utilizando la prueba de Duncan. Las diferencias estadísticas en las respuestas fisiológicas seleccionadas antes y después del tratamiento con gas se determinaron usando una prueba t-student.</p>
Resultados	<p>Benceno: <i>S. wallisii</i>, <i>S. podophyllum</i> y <i>H. helix</i> fueron las que mayor cantidad removieron, siendo <i>H. helix</i> la más eficiente en los periodos de noche ($102.8 \text{ ngm}^{-3}\text{h}^{-1}\text{cm}^{-2}$). En el periodo de día <i>S. wallisii</i> es la especie con mayor capacidad de remoción posee ($174.5 \text{ ngm}^{-3}\text{h}^{-1}\text{cm}^{-2}$).</p> <p>Tolueno <i>Hedera helix</i> presenta resultados sustancialmente mejores que el resto ($220.2 \text{ ngm}^{-3}\text{h}^{-1}\text{cm}^{-2}$).</p> <p>Mezcla de Benceno y Tolueno: <i>H. helix</i> obtiene los mejores resultados tanto en periodos de día como de noche ($57.5 \text{ ngm}^{-3}\text{h}^{-1}\text{cm}^{-2}$ día y $50.6 \text{ ngm}^{-3}\text{h}^{-1}\text{cm}^{-2}$ durante la noche).</p>
Conclusiones	La eficiencia de remoción de las plantas estudiadas decrece cuando se las expone a la mezcla de ambos compuestos, lo que sugiere que estos gases poseen un efecto sinérgico que afecta a las estomas o al metabolismo dentro de las plantas estudiadas. <i>H. helix</i> demuestra un desempeño similar o incluso mejor por la noche en la remoción de estos contaminantes. Estos resultados sugieren que la eliminación de COV por <i>H. helix</i> se logran mediante la adhesión de las moléculas gaseosas o mediante procesos distintos a los estomas. Se obtiene a su vez que <i>S. wallisii</i> es muy eficiente en la eliminación de benceno y tolueno. Además, una mejor comprensión de la contribución relativa de cada vía de eliminación de volátiles para cada especie aportaría un valor considerable a los sistemas de plantas para maximizar la fitorremediación del CAI, representando un tema de estudio importante.

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos en (Yoo et al., 2006).

Tabla 4. Resumen de las características del estudio de Kim et al. (2010).

Título del artículo	Variation in Formaldehyde Removal Efficiency among Indoor Plant Species
Citado por	102 veces citado
Autores	Kim et al. (2010)
Objetivos	Estudiar la eficiencia de remoción en formaldehído de 86 especies de plantas leñosas, herbáceas, helechos, hierbas y nativas coreanas como medida para aplicar en fitorremediación de ambientes interiores de Corea.
Especies vegetales empleadas	Se estudian un total de 86 plantas clasificadas en cinco categorías generales: <ul style="list-style-type: none"> - 20 especies leñosas. - 20 especies herbáceas. - 20 especies nativas coreanas. - 20 especies de helechos. - 6 especies hierbas.
Metodología	<p>Material vegetal: Todas las plantas fueron trasplantadas a macetas de entre 15 y 19 cm de diámetro. Las plantas fueron aclimatadas en un ambiente interior durante más de 1 mes (20 a 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [PAR], 23 ± 2 °C y $40\% \pm 5\%$ de HR) por 1 mes. Las plantas se regaron cada 3 días y el día antes del tratamiento con el gas. Se colocaron de una a cuatro macetas de cada especie en una cámara y se realizaron tres réplicas de cada especie. Se utilizaron cámaras de control sin plantas para determinar las pérdidas de formaldehído no resultantes de las plantas. La altura de la planta y el área foliar se determinaron al final del experimento</p> <p>Introducción y medida de los compuestos orgánico volátiles: Se utilizó un generador de gas que transformaba una solución de formalina 35% en formaldehído gaseoso. El formaldehído gaseoso se recogió en una bolsa de teflón sellada y se introdujo a las cámaras de prueba (2 L) mediante una bomba que extraía 2 L de aire de la cámara para permitir la entrada el formaldehído por diferencia de presión. Se mezcló durante 30 min utilizando un sistema de circulación de aire. El formaldehído inicial se midió utilizando un sistema de registro calibrado a una cantidad mínima detectable de 0.01 $\mu\text{L}/\text{L}$. Se determinó la concentración a cada hora durante un total de 5 h. Las cámaras de control se trataron de igual manera.</p> <p>Análisis estadístico: Las concentraciones de gas se expresaron en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y los datos se normalizaron a 24 ± 1 °C y 100 KPa. Los datos se sometieron a análisis de varianza utilizando software estadístico estándar (SAS Institute Inc., Cary, NC) y la diferencia menos significativa protegida de Fisher ($\alpha \leq 0,05$).</p>
Resultados	De las 86 especies estudiadas, nueve (<i>Osmunda japonica</i> , <i>Selaginella tamariscina</i> , <i>Davallia mariesii</i> , <i>Polypodium formosanum</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Lavandula spp.</i> , <i>Pteris dispar</i> , <i>Pteris multifida</i> , and <i>Pelargonium spp.</i>) exhibieron una excelente eliminación del formaldehído ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área de hoja). <i>O. japonica</i> eliminó 6.64 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de formaldehído / cm^2 de área foliar durante 5 h y fue la más efectiva de las 86 especies probadas. <i>S. wallisii</i> y <i>S. trifasciata</i> eliminaron cantidades muy bajas de formaldehído siendo 0.37 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área foliar y 0.23 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área foliar respectivamente.
Conclusiones	<p>El formaldehído se presenta en concentraciones preocupantes en los ambientes interiores de Corea (hogares y oficinas) con este estudio se clasifican las especies estudiadas en tres grupos generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficacia de eliminación del formaldehído excelente ($\geq 1.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área de foliar en 5 h). - Eficacia de eliminación del formaldehído intermedia (entre 1.2 y 0.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área de foliar en 5 h). - Eficacia de eliminación del formaldehído deficientes ($\leq 0.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\text{cm}^{-2}$ área de foliar en 5 h). <p>Las especies estudiadas fueron predominantemente ornamentales, pero probablemente sean otras especies no incluidas en el estudio las que presenten la misma e incluso mayor capacidad para la eliminación del formaldehído que <i>O. japonica</i>. Una mayor comprensión del efecto de la concentración, la duración de la exposición y la presencia de otros COV es necesaria para mejorar la CAI de los diferentes ambientes interiores.</p>

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos en (Kim et al., 2010).

Tabla 5. Resumen de las características del estudio de Sriprapat et al. (2014).

Título del artículo	Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: Removal of volatile indoor air contaminants
Citado por	79 veces citado
Autores	Sriprapat et al. (2014)
Objetivos	Examinar la absorción de tolueno y etilbenceno en el aire por doce especies de plantas y observar a su vez el efecto que estos contaminantes presentan a las mismas.
Especies vegetales empleadas	<i>Aloe vera</i> ; <i>Sansevieria masoniana</i> ; <i>Sansiviera trifasciata</i> ; <i>Sansevieria hyacinthoides</i> ; <i>Sansoviera ehrenbergii</i> ; <i>Kalanchoe blossfeldiana</i> , <i>Dracaena deremensis</i> 'Lemon lime'; <i>Dracaena sanderiana</i> ; <i>Codiaeum variegatum</i> ; <i>Chlorophytum comosum</i> ; <i>Cordyline fruticosa</i> ; <i>Aglaonema commutatum</i> .
Metodología	<p>Material vegetal: El área foliar de las doce especies fue medida mediante papel cuadriculado y se escogieron aquellas que poseían un área foliar de 0.013 m² para el experimento. Antes de iniciar los experimentos las plantas fueron limpiadas con agua destilada para dispersar las partículas del suelo. Se colocaron en cámaras de vidrio con un volumen de 15.6 L para el experimento. Se sellaron con parafina a una temperatura de 32 ± 5 °C y una presión de 1 atm, con ciclo de día y noche de 12 h.</p> <p>Medios de cultivo: Las plantas se mantuvieron en macetas de plástico que contenía 200 g de suelo y fibra de coco (relación 1:1) como medio de crecimiento. Las macetas fueron cubiertas con papel de aluminio para evitar que otros factores como el suelo o la propia maceta afectaran en la absorción.</p> <p>Introducción del tolueno y del etilbenceno: Se introdujeron mediante fumigación con triplicado de cada tratamiento hasta que la concentración de tolueno o etilbenceno alcanzaban 20 ppm o 12 µmol dentro de la cámara.</p> <p>Análisis del gas: Las concentraciones de tolueno o etilbenceno fueron analizadas mediante cromatografía de gases con condiciones de 100 °C de inyección, 130 °C de columna y 150 °C de detección.</p> <p>Análisis estadístico: Los datos se analizaron mediante análisis de varianza unidireccional utilizando el software estadístico ANOVA v. SPSS 20. Las pruebas de rango múltiple de Duncan evaluaron medias significativamente diferentes en un nivel de confianza del 95%.</p>
Resultados	<p>Se encontró que del 2 al 4% de tolueno o etilbenceno estaba perdiéndose por fotodegradación. Se observaron tras 72 h que las especies con mayor eficiencia de eliminación del tolueno total fueron <i>S. trifasciata</i>, <i>K. blossfeldiana</i> y <i>D. deremensis</i> eliminando 10.17 ± 0.38, 10.10 ± 0.31 y 9.79 ± 0.14 µmol de tolueno respectivamente.</p> <p>Se observaron tras 72 h que las especies con mayor eficiencia de eliminación del etilbenceno fueron <i>C. comosum</i>, <i>S. ehrenbergii</i>, <i>A. commutatum</i> y <i>S. hyacinthoides</i> eliminando 11.11 ± 0.07, 11.01 ± 0.02, 10.81 ± 0.65 y 10.70 ± 0.35 µmol de etilbenceno respectivamente.</p> <p>Las plantas tratadas con tolueno no mostraron diferencias significativas con las plantas control al terminar el tiempo de exposición, mientras que las tratadas con etilbenceno presentaron diferencias significativas con las plantas control al terminar el tiempo de exposición como <i>D. deremensis</i>, <i>D. sanderiana</i>, <i>K. blossfeldiana</i> y <i>C. fruticosa</i>.</p>
Conclusiones	De las doce especies examinadas, la de mayor eficiencia de eliminación de tolueno es <i>S. trifasciata</i> , en cambio para el etilbenceno es <i>C. comosum</i> . Tanto el tolueno como el etilbenceno pueden penetrar en la cutícula de las plantas.

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos en (Sriprapat et al., 2014).

Tabla 6. Resumen de las características del estudio de Xu et al. (2011).

Título del artículo	Formaldehyde removal by potted plant – soil systems
Citado por	114 veces citado
Autores	Xu et al. (2011)
Objetivos	Eliminar el formaldehído del aire interior para mejorar la CAI mediante el estudio del sistema planta – raíz de tres especies.
Especies vegetales empleadas	<i>Chlorophytum comosum</i> ; <i>Aloe vera</i> ; <i>Epipremnum aureum</i>
Metodología	<p>Material vegetal: Todas las plantas fueron trasplantadas a macetas de porcelana con un diámetro interior de 15 cm y una altura de 10 cm. Se utilizó agua desionizada para mantener el 15% de humedad volumétrica en el suelo. Se expusieron a una intensidad de luz de 240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [PAR] durante 12 horas durante más de cinco meses antes de los experimentos de fumigación de formaldehído.</p> <p>Medios de cultivo: Cada maceta contiene 2 kg de suelo fluvoácuico (pH 8.3) que contiene un 15.8g/kg de materia orgánica, una fracción de arcilla del 36%, un contenido total en N de 1.12g/kg y un fósforo total de 1.07g/kg. Previo al trasplante se añadieron urea, superfosfato (óxido de fósforo III) y cloruro de potasio como 0.18 g de N, 0.12 g de P_2O_5 y 0.12 g de K_2O respectivamente para incrementar los nutrientes y favorecer el trasplante.</p> <p>Introducción del formaldehído: Las tres especies fueron colocadas en cámaras y sometidas a intensidades de luz de 80, 160 y 240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Para cada intensidad de luz, la cámara fue alimentada con una concentración inicial de formaldehído de 1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y se fue incrementando en 1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ cada tres días hasta que la concentración se acercó a la fitotoxicidad para cada especie. El formaldehído era introducido al dejar pasar un caudal bajo de N_2 a través de una solución de formaldehído obteniendo así formaldehído en gas que era perfectamente mezclado con un alto caudal de corriente de aire. La alta tasa de flujo de aire se humificó al 50 – 60% antes de la mezcla. Al finalizar un periodo de tres días, el formaldehído eliminado por el sistema planta – suelo fue medido mediante la determinación de formaldehído de entrada y salida de la cámara con un analizador de formaldehído (4160, Interscan Co., USA). Para analizar la contribución del suelo se eliminó la parte aérea dejando las raíces y el suelo en las cámaras y volviendo a someterse al mismo tratamiento.</p> <p>Análisis del gas: La concentración fue medida mediante la determinación de formaldehído de entrada y salida de la cámara con un analizador de formaldehído (4160, Interscan Co., USA).</p> <p>Análisis estadístico: El análisis de datos se realizó con SYSTAT para Windows (SPSS, C^a). Se aplicó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) para probar los efectos de la luz y las especies de plantas en la eliminación de formaldehído y para probar la diferencia entre las actividades de FDH en las tres plantas especies.</p>
Resultados	Mostraron que los tres sistemas planta – suelo podían eliminar de manera eficiente el formaldehído del aire en periodos de tiempo prolongados. En este estudio la eliminación del formaldehído se debe al metabolismo de la planta y a la degradación microbiana más que a la adsorción por el sistema planta – suelo. El sistema de planta – suelo de <i>Chlorophytum comosum</i> fue el de mayor capacidad de eliminación de formaldehído, ya que tanto la planta araña como el suelo plantado eliminaron más formaldehído que los demás. Se observó que por el día la eliminación de formaldehído es mucho mayor debido a que está muy relacionado con el metabolismo de la planta.
Conclusiones	Todos los sistemas planta – suelo fueron capaz de eliminar el formaldehído del aire durante periodos largos de exposición. El sistema más eficiente fue el de <i>Chlorophytum comosum</i> . Los sistemas planta – suelo eran mucho más eficientes durante el día que durante la noche. Se demostró que la eliminación de formaldehído puede estar limitada por la difusión en lugar de estar limitada por la reacción. Los microorganismos del suelo representaron el 50% de la eliminación de todo el formaldehído por los sistemas planta – suelo.

Fuente: Elaboración propia mediante los datos obtenidos en (Xu et al., 2011).

5. DISCUSIONES.

En el presente epígrafe, se presentan los resultados obtenidos de los diferentes artículos tras la búsqueda bibliográfica y se comparan para obtener puntos comunes entre los diferentes estudios.

5.1. Preparación del material vegetal.

Se obtuvo el material de viveros cercanos al área de estudio y se trasplantaron a nuevos recipientes (macetas) de diámetro y altura conocidos y se procedió a su aclimatación (Yang D.S et al., 2009; Kim et al., 2010; Sriprapat et al., 2014; Xu et al., 2011; Yoo et al., 2006) bajo condiciones de humedad, temperatura y luz conocidas, regándose en caso de necesidad de cada especie o bajo control cada un número de días previamente fijados (Kim et al., 2010; Sriprapat et al., 2014).

En algunos estudios se procedió a medir el área foliar antes de empezar con la parte experimental (Yang D.S *et al.*, 2009; Kim et al., 2010; Sriprapat et al., 2014; Yoo et al., 2006) mientras que en otros midieron directamente el gas de estudio mediante analizadores de entrada y salida (Xu et al., 2011).

En todos los estudios esta parte concluye en la colocación de las especies vegetales dentro de cámaras de vidrio estancas para su posterior análisis (Yang D.S et al, 2009; Kim et al., 2010; Sriprapat et al., 2014; Xu et al., 2011; Yoo et al., 2006).

Como podemos observar la metodología para todos los estudios es muy similar por lo que se procede a compararlos por contaminantes.

5.2. Eliminación del Benceno.

El estudio de Yang D.S *et al.* (2009) muestra que la eliminación de benceno por la superficie foliar de las plantas era mayor en las tres primeras horas y que presentaban sus máximos a las 6 horas (condiciones de día). Así identificó un total de seis especies con una buena capacidad de eliminación de benceno a las 3 horas siendo *Hemigraphis alternata* la que presentaba la mayor eliminación acumulada. Según avanzaba el tiempo hacia la 6ª hora empezaron a existir cambios significativos en la eliminación acumulada conforme se puede observar en la Figura 6.

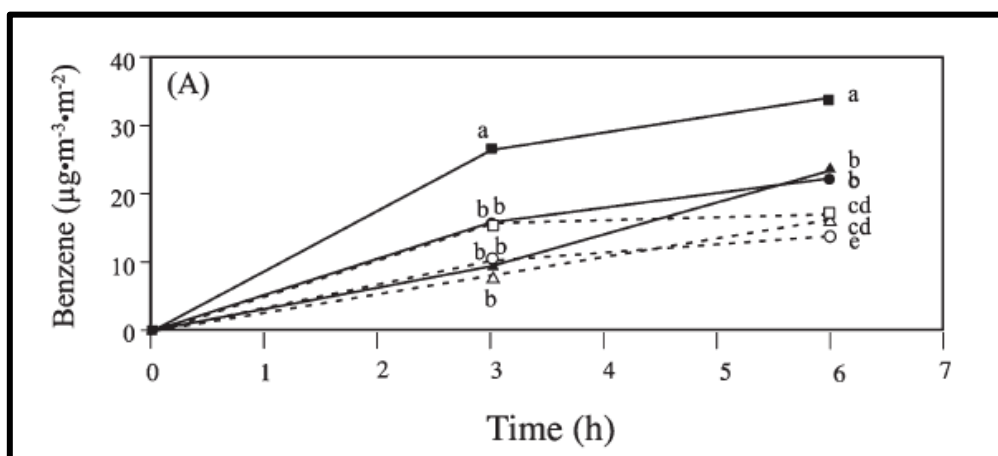


Figura 6. Eliminación acumulada de benceno.

Fuente: (Yang D.S. et al., 2009).

Las letras diferentes al mismo tiempo son significativamente diferentes por el rango múltiple de Duncan ($P < 0,05$). Los cuadrados sólidos, triángulos sólidos, círculos sólidos, cuadrados abiertos, triángulos y círculos abiertos representan las siguientes especies: *Hemigraphis alternata*, *Tradescantia pallida*, *Hedera helix*, *Fittonia argyroneura*, *Asparagus densiflorus*, y *Hoya carnosa* respectivamente (Yang D.S. et al., 2009).

El estudio finalizó con una clasificación de cinco plantas superiores en la eficiencia para la eliminación del benceno siendo las tres más eficientes: *Hemigraphis alternata*, *Tradescantia pallida* y *Hedera helix* respectivamente (Figura 7).

VOC removal efficiency ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	
Plant	Benzene
Superior removal efficiency	
<i>Hemigraphis alternata</i>	5.54 ± 0.29
<i>Hedera helix</i>	3.63 ± 0.33
<i>Tradescantia pallida</i>	3.86 ± 0.58
<i>Asparagus densiflorus</i>	2.65 ± 0.24
<i>Hoya carnosa</i>	2.21 ± 0.21

Figura 7. Eficiencia de eliminación basada en el área foliar para el VOC de benceno.

Fuente: (Dong Sik, Svoboda V., Ki-Cheol, & Stanley J., Screening Indoor Plants for Volatile Organic Pollutant Removal Efficiency, 2009)(Yang D.S. et al., 2009)

El estudio de Yoo *et al.* (2006) se presentan unos valores similares a los vistos en el estudio de Yang D.S. *et al.* (2009) corroborando que la metodología empleada es replicable y se obtienen resultados similares (Figura 8³).

Species	Apparent removal efficiency of benzene ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ leaf area)	
	Day	Night
<i>S. wallisii</i>	$174.5 \pm 3.8^{\text{a}}$	$129.4 \pm 39.5^{\text{a}^{\text{y}}}$
<i>S. podophyllum</i>	$103.4 \pm 6.9^{\text{b}}$	$67.6 \pm 17.2^{\text{ab}}$
<i>C. rhombifolia</i>	$50.3 \pm 7.0^{\text{c}}$	$26.6 \pm 8.0^{\text{b}}$
<i>H. helix</i>	$102.8 \pm 8.3^{\text{b}}$	$134.5 \pm 13.7^{\text{a}}$
Significance	***	*

Figura 8. Comparación de la eficiencia de las partes aéreas de algunas especies en la eliminación de $1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de benceno gaseoso ($3,21 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en un ambiente cerrado.

Fuente: (Yoo et al., 2006).

Yoo *et al.* (2006) como aportación observó diferencias en la eficiencia de eliminación del benceno durante el día y la noche, siendo durante el día mayor que

³ Las especies comparadas en la Figura 8 son *Spathiphyllum wallisii*, *Cissus rhombifolia*, *Syngonium podophyllum* y *Hedera helix*.

durante la noche, exceptuando el caso de *Hedera helix* que fue mayor durante la noche (Figura 9⁴⁵).

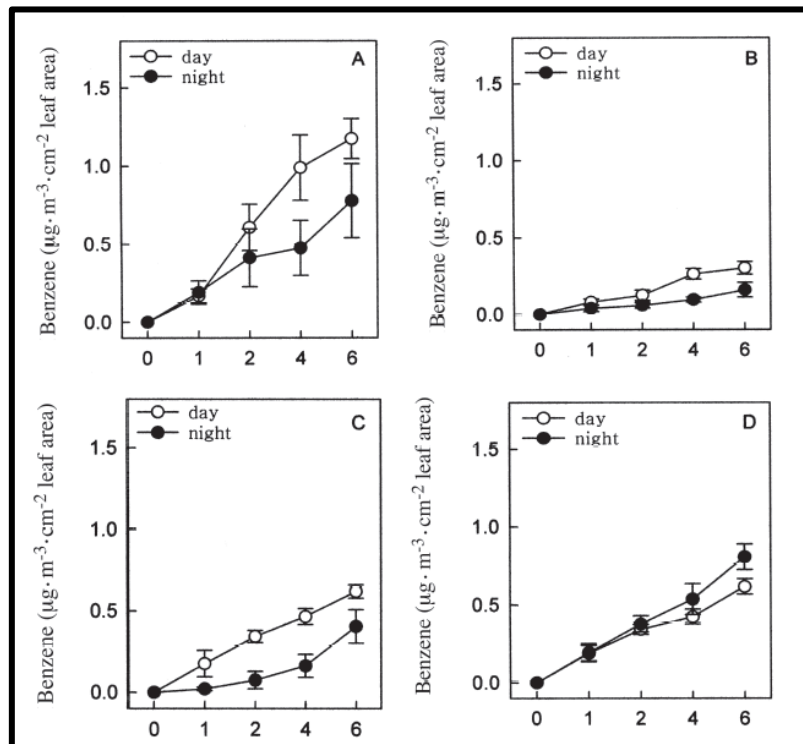


Figura 9. Eliminación acumulada de benceno por partes aéreas de algunas especies durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó únicamente benceno como gas contaminante ($1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$).

Fuente: (Yoo et al., 2006).

5.3. Eliminación del Tolueno.

Conforme al estudio de Yoo *et al.* (2006) se observa que las plantas estudiadas eran capaces de remover el tolueno con mucha eficacia. Se estudió un total de cuatro especies *Spathiphyllum wallisii*, *Cissus rhombifolia*, *Syngonium podophyllum* y *Hedera helix* y su capacidad para remover tolueno durante el día y durante la noche. *Hedera helix* fue la planta con mayor capacidad aparente de eliminar tolueno (Figura 10⁶).

Además, se observó que todas las especies estudiadas (*Spathiphyllum wallisii*, *Cissus rhombifolia*, *Syngonium podophyllum* y *Hedera helix*) poseían una mayor eficiencia de eliminación del tolueno durante el día que durante la noche (Figura 11⁷).

⁴ Las especies estudiadas en la Figura 9 son: *Spathiphyllum wallisii* (Gráfico A), *Cissus rhombifolia* (Gráfico B), *Syngonium podophyllum* (Gráfico C) y *Hedera helix* (Gráfico D).

⁵ En la Figura 9, los puntos blancos denotan los resultados obtenidos durante el día y los negros, los de la noche. Las barras verticales denotan SE.

⁶ Las especies estudiadas en la Figura 10 son: *Spathiphyllum wallisii*, *Cissus rhombifolia*, *Syngonium podophyllum* y *Hedera helix*.

⁷ Las especies estudiadas en la Figura 11 son *Spathiphyllum wallisii* (Gráfico A), *Cissus rhombifolia* (Gráfico B), *Syngonium podophyllum* (Gráfico C) y *Hedera helix* (Gráfico D). Los puntos blancos denotan los resultados obtenidos durante el día y los negros, los de la noche.

Species	Apparent removal efficiency of toluene ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ leaf area)	
	Day	Night
<i>S. wallisii</i>	203.7 ± 24.3^z a ^y	128.9 ± 12.2
<i>S. podophyllum</i>	161.6 ± 19.2 a	60.2 ± 8.3
<i>C. rhombifolia</i>	85.8 ± 6.0 b	57.8 ± 15.1
<i>H. helix</i>	220.2 ± 31.8 a	142.1 ± 41.5
Significance	*	NS

Figura 10. Comparación de la eficiencia de las partes aéreas de algunas especies en la eliminación de $1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de tolueno gaseoso ($3,79 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en un ambiente cerrado.

Fuente: (Yoo et al., 2006).

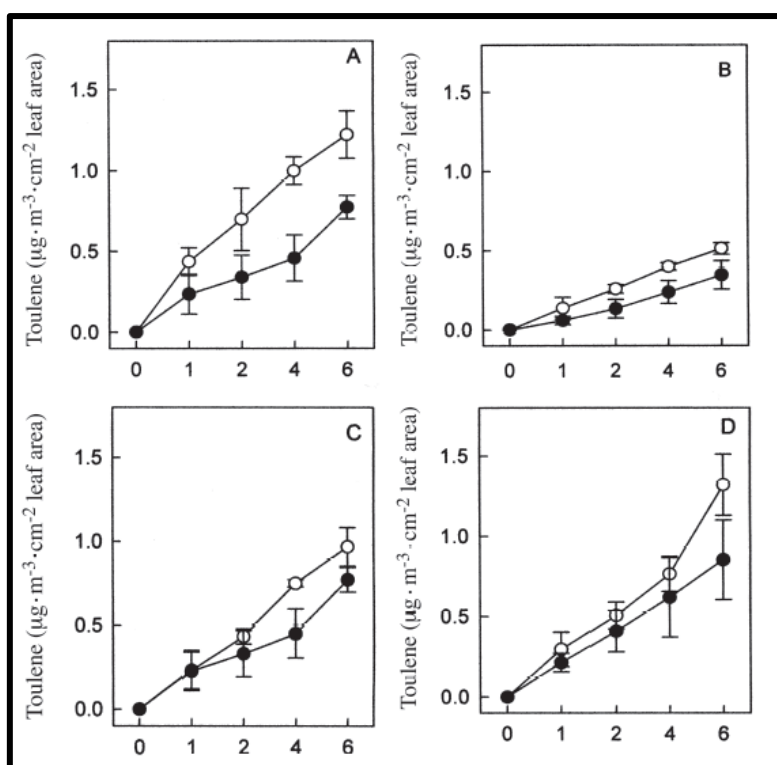


Figura 11. Eliminación acumulada de benceno por partes aéreas de algunas especies durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó únicamente tolueno como gas contaminante ($1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$).

Fuente: (Yoo et al., 2006).

En el estudio de Yang D.S. *et al.* (2009) se puede corroborar que las especies vegetales absorben por la superficie foliar de manera más eficiente el tolueno. Se observa que la mayor eficiencia de las plantas es a las tres primeras horas y que presentaban sus máximos a las 6 horas (condiciones de día).

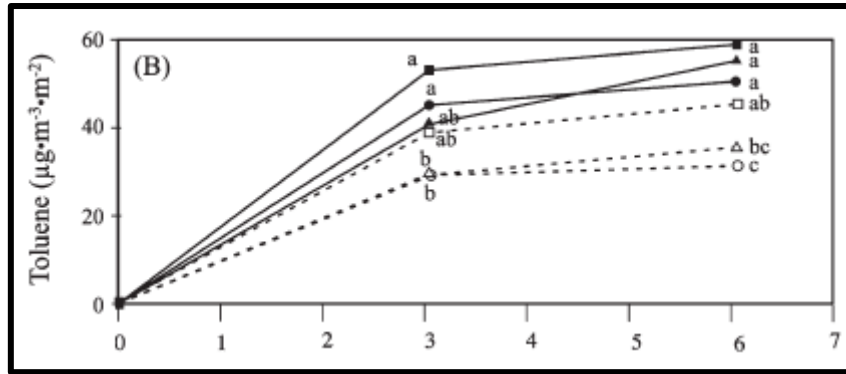


Figura 12. Eliminación acumulada de benceno.

Fuente: (Yang D.S. et al., 2009).

Las letras diferentes al mismo tiempo son significativamente diferentes por el rango múltiple de Duncan ($P < 0,05$). Los cuadrados sólidos, triángulos sólidos, círculos sólidos, cuadrados abiertos, triángulos y círculos abiertos representan las siguientes especies: *Hemigraphis alternata*, *Tradescantia pallida*, *Hedera helix*, *Asparagus densiflorus*, *Hoya carnosa* y *Fittonia argyroneura* respectivamente (Yang D.S. et al., 2009).

El estudio de Sriprapat *et al.* (2014) se obtuvo que la eliminación final de tolueno promedio era aproximadamente del 77% de la dosis administrada en las doce plantas.

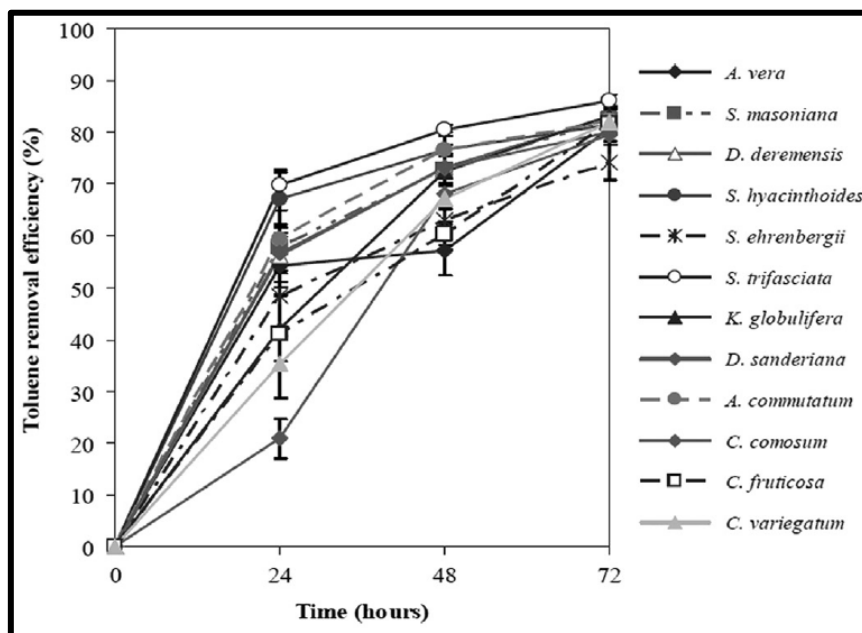


Figura 13. Eficiencia de eliminación de tolueno en algunas plantas estudiadas a las 24, 48 y 72 horas.

Fuente: (Sriprapat et al., 2014).

Se obtuvo a su vez, que las especies con una alta tasa de eliminación del tolueno una vez transcurridas las 72 horas fueron: *Sansevieria trifasciata*, *Kalanchoe blossfeldiana* y *Dracaena deremensis*.

Conforme se observa en la Figura 13, todas las especies eliminaron tolueno de forma exponencial durante las primeras 24 horas, durante las 24 y 48 horas sigue existiendo una tasa de eliminación elevada pero que poco a poco se va estabilizando hasta llegar al rango de 48 a 72 horas donde la eliminación es menor, corroborando y ampliando los estudios a lo largo del tiempo de Yoo *et al.* (2006) y Yang *et al.* (2009).

5.4. Eliminación de Formaldehído.

En el estudio de Kim *et al.* (2010) se estudiaron un total de 86 especies, de las cuales las siguientes nueve especies *Osmunda japonica*, *Selaginella tamariscina*, *Davallia mariesii*, *Polypodium formosanum*, *Psidium guajava*, *Lavandula spp.*, *Pteris dispar*, *Pteris multifida*, y *Pelargonium spp* mostraron excelentes resultados.

Las eficiencias de eliminación del formaldehído de las especies anteriormente nombradas fueron 6,64, 4,84, 4,15, 3,62, 2,39, 2,12, 1,95, 1,92 y 1,87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cm}^{-2}$ de área foliar respectivamente, tras 5 h respecto a la media de las 86 especies que se sitúa en 1,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cm}^{-2}$ de área foliar tras 5 horas (Figura 14⁸).

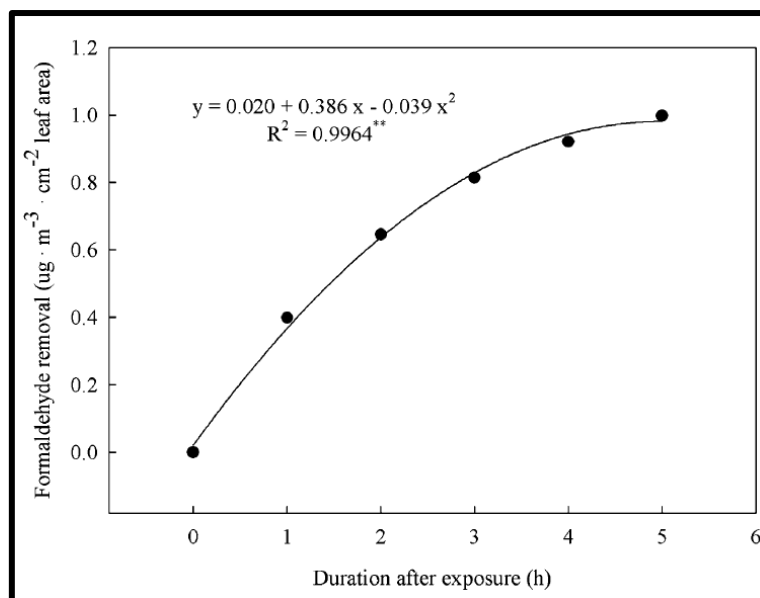


Figura 14. Eliminación de formaldehído durante 5 horas de exposición para las 86 especies de plantas de interiores.

Fuente: (Kim et al., 2010).

Al comprar las cinco clases generales de plantas, se observa que los helechos fueron los más efectivos para eliminar formaldehído seguido de las hierbas, mientras que las plantas herbáceas de follaje, las leñosas y las nativas coreanas presentaban niveles similares, pero siendo mucho más bajos que los helechos y hierbas.

⁸ La concentración inicial de formaldehído en la Figura 14 es de $2\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$.

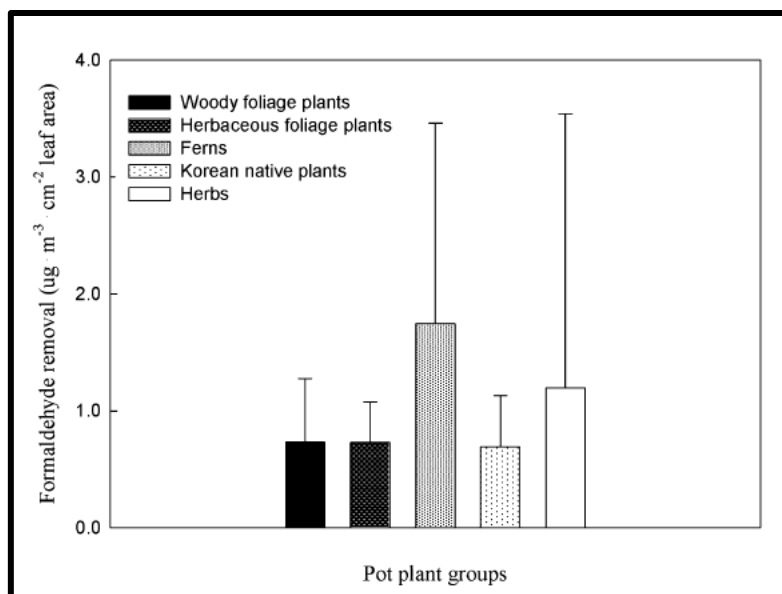


Figura 15. Eliminación de formaldehído por plantas de interiores, tras la exposición a $2 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de formaldehído durante 5 horas.

Fuente: (Kim et al., 2010).

Se observan en el grupo de los helechos como en el de las hierbas grandes variaciones en la capacidad de eliminar formaldehído entre las especies estudiadas dentro de cada uno de estos grupos (Figura 15⁹).

Kim *et al.* (2010) remarca que la especie más efectiva para eliminar formaldehído es *O. japonica* con $6,64 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cm}^{-2}$ de área foliar tras 5 horas, siendo 50 veces más eficaz que *D. deremensis* que eliminó $0,13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cm}^{-2}$ siendo la de menor eficacia en la eliminación de formaldehído, demostrando la amplia gama de eficiencias que existen en estas 86 especies estudiadas.

Xu *et al.* (2011) realizó un estudio de tres especies de plantas típicas de interior siendo estas *Chlorophytum comosum*, *Aloe vera* y *Epipremnum aureum* y como eran capaces de eliminar formaldehído según el sistema planta – suelo de cada una de las especies.

Realizo el estudio con diferentes intensidades de luz y un ciclo de noche. Todos los sistemas de planta – suelo incrementaron su eficiencia para la eliminación de formaldehído cuando se incrementó su concentración de entrada. Se observó que todos los sistemas planta – suelo eliminaron significativamente más formaldehído por el día que durante la noche.

Conforme se observa en la Figura 16¹⁰¹¹ las eficiencias de eliminación de formaldehído incrementan significativamente con incrementos leves de intensidades de luz para todos los sistemas planta – suelo, especialmente el correspondiente a las especies *Aloe vera* y *Epipremnum aureum*.

⁹ En la Figura 15, las plantas han sido divididas en 5 grupos genéricos en base al tipo de planta. Las barras verticales (SE) denotan variación entre especies dentro de los grupos.

¹⁰ En la Figura 16, los sistemas planta-suelo utilizados pertenecen a las especies: *Chlorophytum comosum* (Gráficos a-c), *Aloe vera* (Gráficos d-f) y *Epipremnum aureum* (Gráficos g-i).

¹¹ Las intensidades de luz: 80 (Gráficos a-d-g), 160 (Gráficos b-e-h) y 240 (Gráficos c-f-i) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

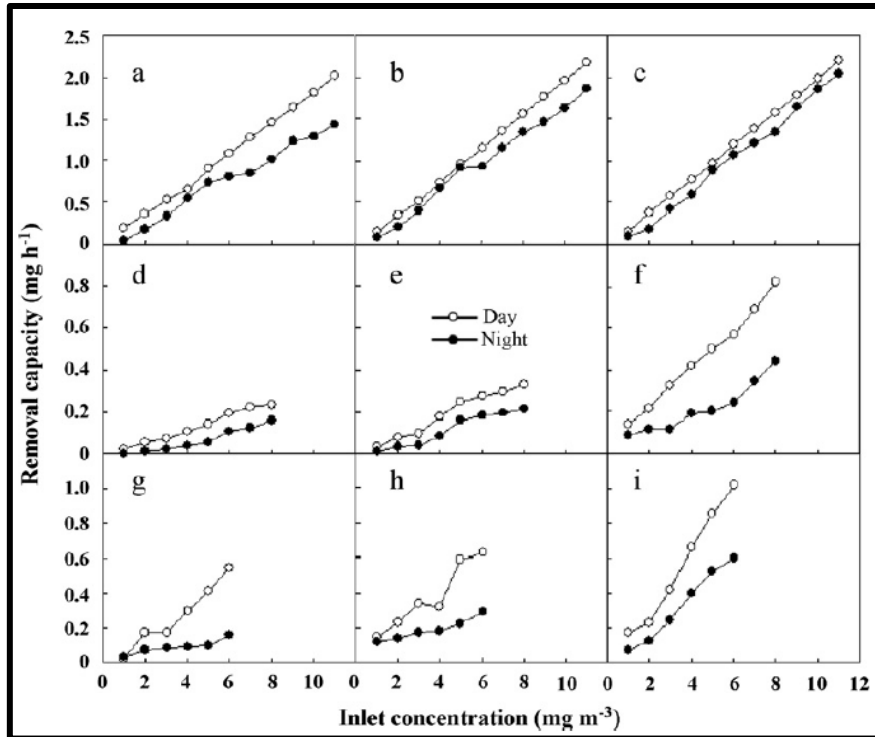


Figura 16. Eliminación de formaldehído por los sistemas planta-suelo afectados por el formaldehído e intensidades de luz durante el día y la noche.

Fuente: (Xu et al., 2011).

El estudio de Xu *et al.* (2011) eliminó quirúrgicamente la parte aérea de las tres especies para comprobar la eficiencia en la remoción de los brotes de estas. Tras realizar de nuevo el procedimiento se obtuvieron que todos los brotes eliminaron significativamente más formaldehído durante el día que durante la noche. Como se observa en la Figura 17¹² los brotes de *Chlorophytum comosum* fueron los que menor diferencia presentaron entre el día y la noche. *Aloe vera* presentó los brotes con menor capacidad de eliminación de formaldehído.

Xu *et al.* (2011) realizó en este mismo estudio una investigación sobre las contribuciones del suelo de las macetas en la eliminación de formaldehído. Como se observa en la Figura 18¹³ las contribuciones del suelo, a pesar de ser una superficie de 0,018m², en el sistema planta – suelo fueron de media para las tres plantas aproximadamente el 50% del formaldehído total removido por los sistemas planta – suelo.

A continuación, se presentan las Figuras 17 y 18 que son representas de los 2 estudios anteriormente mencionados.

¹² En la Figura 17, se estudian los brotes de *Chlorophytum comosum* (Gráfico a), *Aloe vera* (Gráfico b) y *Epipremnum aureum* (Gráfico c) con una concentración creciente de formaldehído en la entrada y una intensidad de luz de 240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el día y la noche.

¹³ En la Figura 18, se estudian los suelos de las macetas de *Chlorophytum comosum* (Gráfico a), *Aloe vera* (Gráfico b) y *Epipremnum aureum* (Gráfico c) con una concentración creciente de formaldehído en la entrada y una intensidad de luz de 240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el día y la noche.

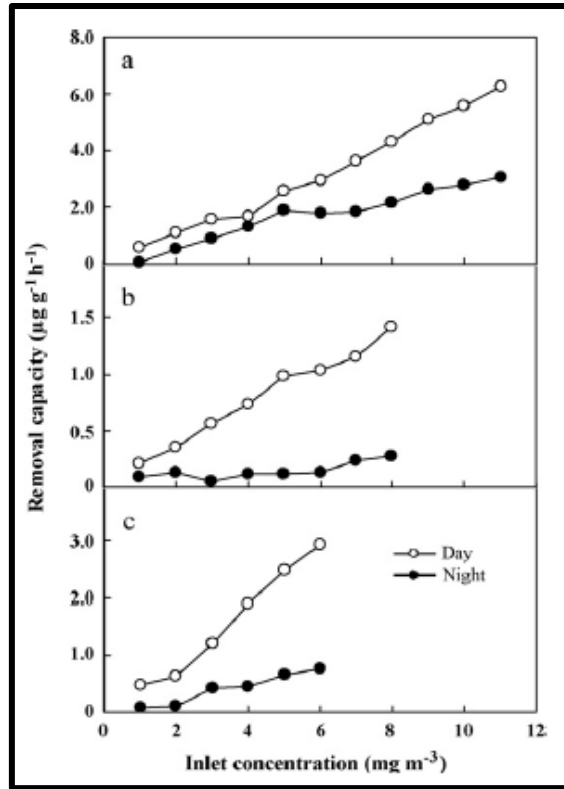


Figura 17. Comportamiento de los brotes en la eliminación de formaldehído.

Fuente: (Xu et al., 2011).

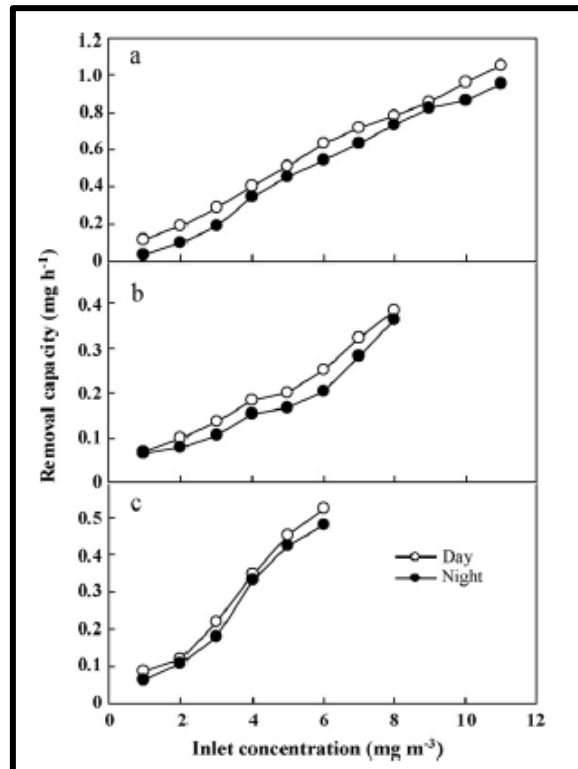


Figura 18. Comportamiento de los suelos de las macetas en la eliminación de formaldehído.

Fuente: (Xu et al., 2011).

5.5. Otros datos relevantes.

Tal y como podemos ver en la Figura 19¹⁴, el estudio de Yoo *et al.* (2006) evidencia que la exposición de las especies vegetales a una mezcla de benceno y tolueno de 0,5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente, reduce considerablemente la eficacia de eliminación de estas sustancias.

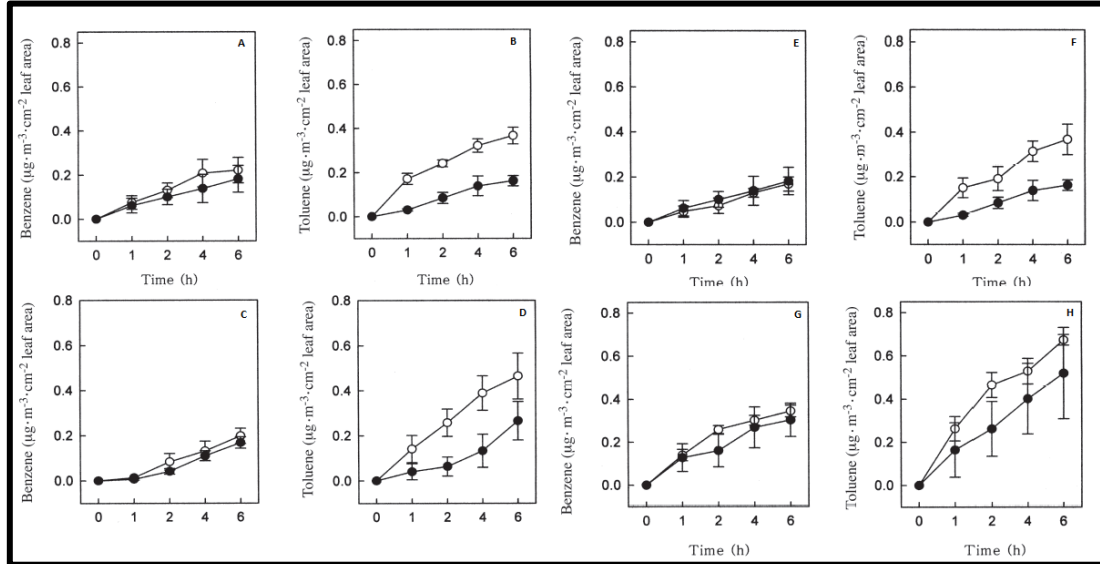


Figura 19. Eliminación acumulada de benceno y tolueno por partes aéreas de durante 6 h en el día y la noche cuando se aplicó una mezcla de benceno y tolueno como gas contaminante 0,5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$.

Fuente: (Yoo et al., 2006).

¹⁴ En la Figura 19, se estudian las especies: *Spathiphyllum wallisii* (Gráficos A-B), *Cissus rhombifolia* (Gráficos C-D), *Syngonium podophyllum* (Gráficos E-F) y *Hedera helix* (Gráficos G-H). Los puntos blancos hacen referencia a las horas de día, y los negros, a las horas de noche.

6. CONCLUSIONES.

En esta revisión bibliográfica se ha podido observar los efectos adversos de algunos COV como el formaldehído, el benceno y el tolueno sobre la salud humana.

Estos contaminantes se encuentran presentes en el aire de las viviendas unifamiliares, lugares de trabajo, restaurantes, etc. en concentraciones de hasta cinco veces más elevadas que en el aire exterior. Esto evidencia la importancia de mejorar la CAI.

Durante la revisión bibliográfica se ha podido documentar la eficacia de las metodologías empleadas en los artículos, que muestran resultados muy positivos a la hora de estudiar y valorar la eficiencia en la eliminación de formaldehído, benceno y tolueno por plantas típicamente ornamentales.

Visto los resultados obtenidos en esta revisión bibliográfica, se ha podido demostrar la utilidad de algunas especies vegetales ornamentales para la eliminación de formaldehído, benceno y tolueno.

Las especies vegetales ornamentales estudiadas presentan mayor eficiencia de eliminación cuando el contaminante se encuentra solo en el ambiente y la eficiencia disminuye cuando se encuentran mezclados con otros COV.

Los helechos y hierbas poseen buenas eficiencias para la eliminación de formaldehído.

Los estudios revisados han demostrado una gran variación en las eficiencias de eliminación de los contaminantes estudiados, por lo que indica que pueden existir otras especies vegetales con mayores eficiencias para la eliminación de formaldehído, benceno y tolueno por lo que se debe seguir investigando diferentes especies para el futuro.

Las principales especies ornamentales con mayor eficacia demostrada para la eliminación de benceno únicamente fueron *Hemigraphis alternata*, *Tradescantia pallida* y *Hedera helix*.

Las principales especies ornamentales con mayor eficacia demostrada para la eliminación del tolueno únicamente fueron *Spathiphyllum wallisii*, *Syngonium podophyllum*, *Hedera helix*, *Sansevieria trifasciata*, *Kalanchoe blossfeldiana* y *Dracaena deremensis*.

Las principales especies con mayor eficiencia demostrada para la eliminación de formaldehído únicamente fueron *Osmunda japonica*, *Selaginella tamariscina*, *Davallia mariesii*, *Polypodium formosanum*, *Psidium guajava*, *Lavandula spp.*, *Pteris dispar*, *Pteris multifida*, *Chlorophytum comosum* y *Pelargonium spp.*

Estos estudios suponen un gran avance a la hora de aplicar fitorremediación en espacios interiores y mejorar la CAI mediante la eliminación de formaldehído, benceno y tolueno a través de especies vegetales ornamentales y que, además aportan un beneficio psicológico a las personas.

Se deben estudiar las diferentes composiciones vegetales para incrementar la eficiencia de eliminación de los contaminantes atmosféricos de interiores y desarrollar muros verdes y/o jardines verticales para minimizar el espacio requerido por las plantas ornamentales.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Abdullahi, K. L., Delgado-Saborit, J. M., & Harrison, R. M. (2013). Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmospheric Environment*, *71*, 260–294. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.061>
- Air, I., & Guideline, Q. (2004). Formaldehyde in the Home. *California Environmental Protection Agency*, *1*, 1–16.
- ATSDR. (2015). Tolueno RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Tolueno. *Agencia Para Sustancias Toxicas y El Registro de Enfermedades*.
- Badman, D. G., & Jaffe, E. R. (1996). Blood and air pollution: State of knowledge and research needs. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *114*(2), 205–208. [https://doi.org/10.1016/S0194-5998\(96\)70166-3](https://doi.org/10.1016/S0194-5998(96)70166-3)
- Bari, M. A., Kindzierski, W. B., Wheeler, A. J., Héroux, M. È., & Wallace, L. A. (2015). Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada. *Building and Environment*, *90*, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.023>
- Bellinger, D. C. (2005). Teratogen update: Lead and pregnancy. *Birth Defects Research Part A - Clinical and Molecular Teratology*, *73*(6), 409–420. <https://doi.org/10.1002/bdra.20127>
- Blondel, A., & Plaisance, H. (2011). Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler. *Building and Environment*, *46*(6), 1284–1291. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.011>
- Cardoso, P. C., La Fuente, A., Subbotina, N., & Cargnel, E. G. (2020). Blindness and neurological sequelae following carbon monoxide poisoning: Effective treatment with hyperbaric oxygen. *Archivos Argentinos de Pediatría*, *118*(5), E480–E485. <https://doi.org/10.5546/AAP.2020.E480>
- Carpenter, S. (2008). Green Roofs And Vertical Gardens. *International Specialised Skills Institute*, November, 48. <http://www.scribd.com/doc/118225286/green-roofs>
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, *45*(2), 275–288. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.048>
- European Environment Agency (EEA). (2020). Air quality in Europe - 2020 report. In *EEA Report* (Issue No 09/2020). <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- Garza, A., Vega, R., & Soto, E. (2006). Cellular mechanisms of lead neurotoxicity. *Medical Science Monitor*, *12*(3), 57–65.
- Guo, H., Kwok, N. H., Cheng, H. R., Lee, S. C., Hung, W. T., & Li, Y. S. (2009). Formaldehyde and volatile organic compounds in Hong Kong homes: Concentrations and impact factors. *Indoor Air*, *19*(3), 206–217. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00580.x>

- Gustafson, P., Östman, C., & Sällsten, G. (2008). Indoor levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in homes with or without wood burning for heating. *Environmental Science and Technology*, 42(14), 5074–5080. <https://doi.org/10.1021/es800304y>
- Health Organization, W. (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. *Clean Air Journal*, 26(2), 6. <https://doi.org/10.17159/2410-972x/2016/v26n2a4>
- Hong, Y. C., Lee, J. T., Kim, H., & Kwon, H. J. (2002). Air pollution: A new risk factor in ischemic stroke mortality. *Stroke*, 33(9), 2165–2169. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000026865.52610.5B>
- Huang, L., Mo, J., Sundell, J., Fan, Z., & Zhang, Y. (2013). Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing. *PLoS ONE*, 8(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079553>
- Hung, L. J., Tsai, S. S., Chen, P. S., Yang, Y. H., Liou, S. H., Wu, T. N., & Yang, C. Y. (2012). Traffic air pollution and risk of death from breast cancer in Taiwan: Fine particulate matter (PM 2.5) as a proxy marker. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(2), 275–282. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.09.0155>
- Kerschen, E. W., Garten, C., Williams, K. A., & Derby, M. M. (2016). Evapotranspiration from spider and jade plants can improve relative humidity in an interior environment. *HortTechnology*, 26(6), 803–810. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03473-16>
- Kim, K. J., Jeong, M. Il, Lee, D. W., Song, J. S., Kim, H. D., Yoo, E. H., Jeong, S. J., Han, S. W., Kays, S. J., Lim, Y. W., & Kim, H. H. (2010). Variation in formaldehyde removal efficiency among indoor plant species. *HortScience*, 45(10), 1489–1495. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.10.1489>
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- Künzli, N., & Tager, I. B. (2005). Air pollution: From lung to heart. *Swiss Medical Weekly*, 135(47–48), 697–702. <https://doi.org/2005/47/smw-11025>
- Kwon, K. D., Jo, W. K., Lim, H. J., & Jeong, W. S. (2007). Characterization of emissions composition for selected household products available in Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 148(1–2), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.025>
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., Amann, M., Anderson, H. R., Andrews, K. G., Aryee, M., Atkinson, C., Bacchus, L. J., Bahalim, A. N., Balakrishnan, K., Balmes, J., Barker-Collo, S., Baxter, A., Bell, M. L., Blore, J. D., ... Ezzati, M. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380(9859), 2224–2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)
- Marcos, F. V., & Pulgarín, I. G. (2005). Environmental quality: Welfare, confort and

- health. *Revista Espanola de Salud Publica*, 79(2), 243–251.
<https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200011>
- Orwell, R. L., Wood, R. A., Burchett, M. D., Tarran, J., & Torpy, F. (2006). The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. Laboratory study. *Water, Air, and Soil Pollution*, 177(1–4), 59–80.
<https://doi.org/10.1007/s11270-006-9092-3>
- Orwell, R. L., Wood, R. L., Tarran, J., Torpy, F., & Burchett, M. D. (2004). Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality. *Water, Air, and Soil Pollution*, 157(1–4), 193–207.
<https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000038896.55713.5b>
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Thurston, G. D. (2002). to Fine Particulate Air Pollution. *The Journal of the American Medical Association*, 287(9), 1132–1141.
<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.287.9.1132>
- Ratnaike, R. N. (2003). Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgraduate Medical Journal*, 79(933), 391–396. <https://doi.org/10.1136/pmj.79.933.391>
- Ruidavets, J. B., Cournot, M., Cassadou, S., Giroux, M., Meybeck, M., & Ferrières, J. (2005). Ozone air pollution is associated with acute myocardial infarction. *Circulation*, 111(5), 563–569.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000154546.32135.6E>
- Schell, L. M., Gallo, M. V., Denham, M., & Ravenscroft, J. (2006). Effects of pollution on human growth and development: An introduction. *Journal of Physiological Anthropology*, 25(1), 103–112. <https://doi.org/10.2114/jpa2.25.103>
- See, S. W., & Balasubramanian, R. (2008). Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmospheric Environment*, 42(39), 8852–8862. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.011>
- Sharma, R. K. (2014). Biological effects of heavy metals : An overview Biological effects of heavy metals : An overview. *Journal of Environmental Biology*, 26(July 2005), 301–313.
- Sriprapat, W., Suksabye, P., Areephak, S., Klantup, P., Waraha, A., Sawattan, A., & Thiravetyan, P. (2014). Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: Removal of volatile indoor air contaminants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102(1), 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.032>
- Sunyer, J., Basagaña, X., Belmonte, J., & Antó, J. M. (2002). Effect of nitrogen dioxide and ozone on the risk of dying in patients with severe asthma. *Thorax*, 57(8), 687–693. <https://doi.org/10.1136/thorax.57.8.687>
- Tóxicas, S., & Enfermedades, R. De. (2007). Resumen de Salud Pública Benceno. *Atsdr*, 8. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.pdf
- Velux. (2018). How Did We Go From Being an Outdoor To an Indoor Species Almost All Our Time Inside Buildings and Vehicles ? the Effects of Modern Indoor Living on Health , Wellbeing and Productivity. *Velux*. www.velux.nn/indoorgeneration
- Vermynen, J., Nemmar, A., Nemery, B., & Hoylaerts, M. F. (2005). Ambient air pollution and acute myocardial infarction. *Journal of Thrombosis and*

- Haemostasis*, 3(9), 1955–1961. <https://doi.org/10.1111/j.1538-7836.2005.01471.x>
- WGPAH. (2001). Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (WGPAH), Ambient Air Pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: position paper. In *Reproduction*.
- Wood, R. A., Orwell, R. L., Tarran, J., Torpy, F., & Burchett, M. (2002). Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(1), 120–129. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511467>
- World Health Organization. (2018). Burden of disease from the joint effects of household and ambient Air pollution for 2016 Summary of results. *World Health Organization*, 2(May), 1–5. http://apps.who.int/gho/data/node.sdg.%0Ahttp://www.who.int/airpollution/%0Adata/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf?ua=1%0A
- Xu, Z., Wang, L., & Hou, H. (2011). Formaldehyde removal by potted plant-soil systems. *Journal of Hazardous Materials*, 192(1), 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.020>
- Yang, D. S., Pennisi, S. V., Son, K. C., & Kays, S. J. (2009). Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency. *HortScience*, 44(5), 1377-1381.
- Yoo, M. H., Kwon, Y. J., Son, K. C., & Kays, S. J. (2006). Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(4), 452–458. <https://doi.org/10.21273/jashs.131.4.452>
- Zemp, E., Elsasser, S., Schindler, C., Künzli, N., Perruchoud, A. P., Domenighetti, G., Medici, T., Ackermann-Liebrich, U., Leuenberger, P., Monn, C., Bolognini, G., Bongard, J. P., Brändli, O., Karrer, W., Keller, R., Schöni, M. H., Tschopp, J. M., Villiger, B., & Zellweger, J. P. (1999). Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (SAPALDIA Study). *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159(4 I), 1257–1266. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.4.9807052>