



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial

Desarrollo experimental de la cámara atmosférica
de ensayo de plantas
para mejora de calidad del aire.

Autor: Jesús Catalán Rojas

Tutores: Julián Lebrato Martínez

Clara Lebrato Vázquez

Departamento de Ingeniería Química

Junio 2022



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.





Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



Desarrollo experimental de la cámara atmosférica de ensayo de plantas para mejora de calidad del aire.

Autor: Jesús Catalán Rojas

Tutores: Julián Lebrato Martínez

Clara Lebrato Vázquez

Departamento de Ingeniería Química

RESUMEN

Este trabajo se dedica al diseño y desarrollo de una cámara atmosférica y a un ensayo de verificación de esta con la planta sansevieria. Esta cámara atmosférica de ensayo de plantas se ha desarrollado para estudios donde comprobar como las plantas de interior mejoran la calidad del aire y aumentan la salud ambiental. La cámara consta de dos partes, una vitrina pequeña que alberga el aire patrón y otra más grande donde se introducen las plantas, se han medido ciertas variables en ambas vitrinas: formaldehído, compuestos orgánicos volátiles, partículas de materia y dióxido de carbono. Al comparar los valores medidos podemos comprobar como modifica estas plantas en la calidad del aire.

El ensayo de verificación se ha llevado a cabo con una de estas plantas, la sansevieria, y mediante a unos aparatos con numerosos sensores que miden las variables citadas anteriormente, se han obtenido diferentes medidas que se han contrarrestado. Estas medidas se han tomado sin parar durante 24 horas y se han realizado tres medidas en días diferentes para verificar el estudio. Se han comparado los datos de día frente a la noche para ver cuando se mejora más la calidad el aire.



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



Desarrollo experimental de la cámara atmosférica de ensayo de plantas para mejora de calidad del aire.

Autor: Jesús Catalán Rojas

Tutores: Julián Lebrato Martínez

Clara Lebrato Vázquez

Departamento de Ingeniería Química

ABSTRACT

This work is dedicated to the design and development of an atmospheric chamber and a verification test of this with the sansevieria plant. This atmospheric plant test chamber has been developed for studies where indoor plants improve air quality and increase environmental health. The chamber consists of two parts, a small showcase that houses the standard air and a larger one where the plants are introduced, certain variables have been measured in both showcases: formaldehyde, volatile organic compounds, matter particles and carbon dioxide. By comparing the measured values we can see how these plants modify the air quality.

The verification test has been carried out with one of these plants, the sansevieria, and by means of devices with numerous sensors that measure the variables mentioned above, different measures have been obtained that have been counteracted. These measurements have been taken non-stop for 24 hours and three measurements have been made on different days to verify the study. Data from day to night have been compared to see when air quality improves the most.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Marco teórico.....	4
2.2.1. Variables y compuestos medidos	4
2.2.2. Otros compuestos importantes.....	6
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS PROPUESTOS	9
4. MATERIALES, MÉTODOS Y TÉCNICAS	10
4.1. Materiales.....	10
4.1.1. Sensores	10
4.1.2. Cámara atmosférica de ensayo de plantas	11
4.1.3. Sistema de riego por goteo.....	11
4.1.4. Planta del ensayo	12
4.2. Métodos y técnicas	12
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
5.1. Ensayo de verificación	16
5.1.1. Datos obtenidos.....	17
5.1.2. Comparación de datos	20
5.1.3. Diferencias de día y noche	28
6. CONCLUSIONES	48
7. BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL APARATO DE MEDIDA	52
ANEXO II: OTRAS PLANTAS DE INTERÉS	54



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Sensor de medida usado en el estudio ubicado en el laboratorio del Grupo Tar.....	10
Figura 4.2: Programador de riego usado en el estudio ubicado en el laboratorio del Grupo Tar.	11
Figura 4.3: Sansevieria usada en el estudio ubicada en el laboratorio del Grupo Tar.....	12
Figura 5.1: Cámara atmosférica de nuestro estudio ubicada en el laboratorio del Grupo Tar.....	16



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resumen de compuestos químicos.....	2
Tabla 5.1: Medidas de las variables del aire patrón del primer día.	17
Tabla 5.2: Medidas de las variables de la cámara del primer día.....	17
Tabla 5.3: Medidas de las variables del aire patrón del segundo día.....	18
Tabla 5.4: Medidas de las variables de la cámara del segundo día.	18
Tabla 5.5: Medidas de las variables del aire patrón del tercer día.	19
Tabla 5.6: Medidas de las variables de la cámara del tercer día.....	19
Tabla 5.7: Datos y medias del día del primer ensayo.....	29
Tabla 5.8: Datos y medias de la noche del primer ensayo.....	30
Tabla 5.9: Datos y medias del día del segundo ensayo.	35
Tabla 5.10: Datos y medias de la noche del segundo ensayo.	35
Tabla 5.11: Datos y medias del día del tercer ensayo.....	41
Tabla 5.12: Datos y medias de la noche del tercer ensayo.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.1: Comparación de medidas de dióxido de carbono del primer día. . 20	
Gráfica 5.2: Comparación de medidas de partículas de materia del primer día.	21
Gráfica 5.3: Comparación de medidas de formaldehído del primer día.	21
Gráfica 5.4: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del primer día.	22
Gráfica 5.5: Comparación de medidas del dióxido de carbono del segundo día.	23
Gráfica 5.6: Comparación de medidas de partículas de materia del segundo día.	24
Gráfica 5.7: Comparación de medidas de formaldehído del segundo día.	24
Gráfica 5.8: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del segundo día.....	25
Gráfica 5.9: Comparación de medidas del dióxido de carbono del tercer día. . 26	
Gráfica 5.10: Comparación de medidas de partículas de materia del tercer día.	27
Gráfica 5.11: Comparación de medidas de formaldehído del tercer día.	27
Gráfica 5.12: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del tercer día.	28
Gráfica 5.13: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del primer ensayo.	31
Gráfica 5.14: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del primer ensayo.....	31
Gráfica 5.15: Diferencias de partículas de materia durante el día del primer ensayo.....	32
Gráfica 5.16: Diferencias de partículas de materia durante la noche del primer ensayo.....	32
Gráfica 5.17: Diferencias formaldehído durante el día del primer ensayo.....	33
Gráfica 5.18: Diferencias formaldehído durante la noche del primer ensayo. ..	33
Gráfica 5.19: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del primer ensayo.....	34
Gráfica 5.20: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del primer ensayo.....	34
Gráfica 5.21: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del segundo ensayo.....	37
Gráfica 5.22: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del segundo ensayo.....	37
Gráfica 5.23: Diferencias de partículas de materia durante el día del segundo ensayo.....	38



Gráfica 5.24: Diferencias de partículas de materia durante la noche del segundo ensayo.....	38
Gráfica 5.25: Diferencias formaldehído durante el día del segundo ensayo. ...	39
Gráfica 5.26: Diferencias formaldehído durante la noche del segundo ensayo.	39
Gráfica 5.27: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del segundo ensayo.	40
Gráfica 5.28: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del segundo ensayo.	40
Gráfica 5.29: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del tercer ensayo.	43
Gráfica 5.30: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del tercer ensayo.....	43
Gráfica 5.31: Diferencias de partículas de materia durante el día del tercer ensayo.....	44
Gráfica 5.32: Diferencias de partículas de materia durante la noche del tercer ensayo.....	44
Gráfica 5.33: Diferencias formaldehído durante el día del tercer ensayo.	45
Gráfica 5.34: Diferencias formaldehído durante la noche del tercer ensayo. ...	45
Gráfica 5.35: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del tercer ensayo.....	46
Gráfica 5.36: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del tercer ensayo.....	46

1. INTRODUCCIÓN

Se ha elegido este tema porque el diseño y el desarrollo de una cámara atmosférica de ensayo de plantas es algo que es útil para diferentes estudios. En este caso se podrán realizar ensayos de comportamiento de plantas, para medir como reducen ciertos tipos de contaminantes y la mejora de la calidad del aire.

En primera instancia el tipo de planta seleccionada es una planta de interior, se ha investigado bastante hasta llegar a ella, pues hemos buscado que cumpla una serie de requisitos y además nos hemos guiado por la tradición de los mayores para verificar la sabiduría de nuestros mayores.

Seguidamente en estudios posteriores se podrán ensayar ramas de árboles recién cortadas para poder comparar su comportamiento frente a diversos contaminantes atmosféricos.

El desarrollo de esta cámara atmosférica y del ensayo con ella es algo innovador, como se ha citado, con ella se puede estudiar distintos tipos de contaminantes. Volviendo al ensayo de verificación, vivimos en unos momentos donde hay mucha contaminación debido a la producción de energía, uso de vehículos de gasolina y quema en fábricas para la obtención productos. Esto produce que la salud ambiental decaiga, nuestra propuesta en este ensayo es ver si se mejora la salud ambiental mediante la mejoría de la calidad del aire de nuestra cámara.

Como dijimos antes, elegimos un tipo de planta, pero hay numerosas plantas de interior, nosotros hemos realizado una revisión de lo investigado y el saber popular, y hemos seleccionado aquella planta que cumple una serie de requisitos, estos son: generen oxígeno también durante la noche, eliminen compuestos químicos peligrosos o tóxicos presentes en el día a día procedentes del uso de productos de limpieza, humo del tabaco, contaminación exterior, etc., y también hemos tenido en cuenta el requisito de que puedan ayudar al bienestar personal con su aroma, ayudando por ejemplo con la ansiedad e insomnio.

Esta planta seleccionada es capaz de eliminar el benceno, el formaldehído, el tricloroetileno, el xileno, el tolueno y el monóxido de carbono. Todos estos compuestos son tóxicos para el ser humano, en grandes cantidades o en exposiciones prolongadas pueden ser muy perjudiciales para la salud, incluso puede provocar cáncer o la muerte.

A continuación, se muestra una tabla resumen de estos químicos, más adelante se indaga más en ellos.

Compuesto químico	Origen	Efectos
Benceno	Humo del tabaco, tintes, plásticos, gomas, detergentes.	Causa mareos, somnolencia, taquicardias. Se considera un agente cancerígeno.
Formaldehído	Pinturas, esmalte de uñas, pegamentos, humo del tabaco.	Irritan los ojos, la piel y la garganta, y dolor de cabeza.
Tricloroetileno	Limpieza en aerosol, pintura, adhesivos.	Dolor de ojos e irritación en la piel y dolor de cabeza.
Xileno	Humo del tabaco, pinturas, gasolina.	Dolor de cabeza y náuseas.
Tolueno	Humo del tabaco, pinturas, gasolina, lacas, adhesivos.	Irritan los ojos, mareos y somnolencia.
Monóxido de carbono	Gasolina, humo del tabaco y gas natural.	Muerte por envenenamiento en minutos en altas cantidades.

Tabla 1.1: Resumen de compuestos químicos.

Una vez ya diseñada la cámara atmosférica, se ha realizado un ensayo de verificación. La cámara consta de dos vitrinas. Una mayor donde se ha introducido las plantas y se ha colocado un medidor de la calidad del aire que es capaz de medir, gracias a sus sensores, el nivel de dióxido de carbono (CO₂), las partículas en suspensión (PM2.5, PM10, PM1.0), el nivel de formaldehído (HCHO), compuestos orgánicos volátiles (TVOC), y también mide la temperatura y la humedad. Al mismo tiempo se ha dispuesto otro medidor idéntico en una vitrina más pequeña y dentro de la grande de forma que haga de patrón, es decir, mida la calidad del aire sin plantas y así comparar ambas medidas y así ver como las plantas son capaces de mejorar la calidad del aire.

El desarrollo de esta cámara atmosférica no solo sirve para estudios con plantas, se ha elegido hacer el ensayo con ellas porque la salud es un tema de vital importancia y mejorar el aire que respiramos de forma natural (con el uso de plantas) es algo en lo que no se investiga mucho y en lo que pueden centrarse los estudios de innovación. Es decir, esta cámara se podrá usar en el futuro para diferentes estudios donde se quiera ensayar con atmósferas diferentes, abre un abanico de posibilidades, por eso este tema fue elegido entre lo ya citado anteriormente.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. Antecedentes

Hay algunos artículos que hablan de plantas capaces de eliminar los compuestos químicos citados anteriormente, una planta en cuestión o en conjunto con otras plantas y un compuesto solo o dos de ellos.

En el artículo de Ciese (1994) se detalla el estudio de como la planta araña o cinta es capaz de eliminar el formaldehído, en este estudio se usaron dos tipos de plantas: cintas y plantas de tabaco. Y también se usaron cultivos en suspensión celular de soya. Durante 24 horas se expusieron a formaldehído en estado gaseoso y se observó que las plantas habían absorbido el formaldehído del aire siendo la mayor planta en absorberlo y eliminarlo de la estancia la cinta, obteniendo así el resultado de que la planta cinta es idónea para la descontaminación del aire de interior.

Otro artículo relacionado con nuestro estudio es de Sriprapat (2014) y se detalla el estudio de la eficiencia de quince tipos distintas de plantas, entre las que se encuentra la planta de nuestro ensayo de verificación (sansevieria) para la eliminación del xileno en el aire contaminado. Este artículo obtiene como conclusión que para eliminar mayor cantidad de xileno no es importante el tipo de planta, sino que haya mucha variedad de especies de plantas.

Otro artículo de Sriprapat (2014) habla del uso de doce especies distintas de plantas para la absorción del tolueno y etilbenceno, los mejores resultados se obtuvieron en la planta que estamos nosotros trabajando, para la absorción de tolueno la mejor planta fue la sansevieria y para la absorción de etilbenceno la mejor planta fue la cinta.

El último artículo interesante encontrado y relacionado con nuestro trabajo es de Ullah (2021) y habla de dos tipos de plantas para eliminar COV y CO₂, una es la sansevieria, planta de nuestro ensayo de verificación, y la otra es la zamioculca zamiifolia. Los resultados obtenidos afirman que las plantas mixtas como en este estudio son más eficaces para eliminar el CO₂ y contaminantes mixtos, que las plantas individuales. En 48 horas eliminaron más del 95% de los contaminantes.

Con estos artículos como referentes y sabiendo que la planta seleccionada es capaz incluso de eliminar más compuestos contaminantes, podemos afirmar de antemano que este estudio dará resultados muy positivos y podremos afirmar que la sansevieria mejorará la calidad del aire de nuestra cámara atmosférica.

2.2. Marco teórico

En este punto se explica más profundamente los componentes que son capaces de detectar los sensores usados para este estudio y porque son nocivos para el ser humano, se exceptúan la temperatura y la humedad, variables que mide, pero no son nocivas. También se hablará de tipos de compuestos que son nocivos, los cuales se citaron anteriormente, y explicaremos donde se pueden encontrar en nuestro día a día y porque son tan dañinos para la salud.

Como se verá a continuación estos compuestos están muy presente en nuestras vidas y pueden ser muy peligrosos en grandes cantidades o en contactos prolongados.

2.2.1. Variables y compuestos medidos

- Partículas en suspensión:

Partículas de materia o polvo en suspensión (PM_{2.5}/PM_{1.0}/PM₁₀), son partículas pequeñas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera. Estas partículas se emiten directamente a la atmósfera debido a la actividad humana, en ambientes urbanos se asocia al tráfico y la circulación de los vehículos, y también se generan en procesos de combustión o en construcciones y emisiones industriales. Estas partículas se dividen según su tamaño, PM₁₀ para partículas iguales o inferiores a 10 micrómetros, PM_{2.5} para partículas iguales o inferiores a 2,5 micrómetros y PM_{1.0} para partículas iguales o inferiores a 1 micrómetro. Las PM_{2.5} se les considera un contaminante atmosférico por sus efectos nocivos sobre la salud. Los efectos sobre la salud de estar expuesto a estas partículas son la aparición de asma, enfermedades cardíacas y pulmonares, e incluso puede provocar cáncer de corazón, de pulmón o de vejiga (Xie et al., 2021).

- Compuestos orgánicos volátiles:

Compuestos orgánicos volátiles (TVOC), son gases o vapores que están presentes en todos los compuestos orgánicos, estos COV son liberados en la quema de combustible como gasolina, madera, carbón y gas natural, también son liberados en por disolventes, pinturas y otros productos de limpieza del hogar, por ejemplo, formaldehído, clorobenceno, tolueno, xileno y acetona. Muchos COV son peligrosos contaminantes del aire. Estos compuestos tienen

las características de ser volátiles (provocan contaminación atmosférica, entrada peligrosa al organismo por inhalación), liposolubles (se acumulan en los tejidos grasos del cuerpo humano), inflamables, tóxicos (a corto plazo pueden provocar alergias y mareos, en exposición prolongada provoca lesiones neurológicas, falta de memoria, dificultad de concentración entre otros efectos) y también tienen reactividad química (genera smog, contaminación atmosférica, e algunos COV provoca la destrucción de la capa de ozono) (Motero, 2007).

- Dióxido de carbono:

Dióxido de carbono (CO_2), es un gas de efecto invernadero, este compuesto es generado por la respiración de los seres vivos, por la combustión de cualquier material, es decir, es el gas más habitual. Las plantas usan el CO_2 para respirar generando oxígeno (contrario del resto de los seres vivos). El dióxido de carbono no es un gas tóxico, pero respirar de forma prolongada este tipo de gas provoca la muerte.

- Formaldehído:

El formaldehído ($\text{H}_2\text{C}=\text{O}$) es tóxico y muy usado en la vida cotidiana, este se encuentra en mayor cantidad en el interior de las viviendas que al aire libre, ya que los productos que emiten más formaldehído son las pinturas de látex, el esmalte de uñas, la madera contrachapada, los líquidos para lavar los platos, los suavizantes de telas, pegamentos, humo del tabaco y más productos diarios, pero principalmente es producido por la combustión de materiales. La intoxicación por formaldehído se puede dar por diversas vías: piel, ojos, ingestión o la más habitual, por inhalación. Para que el formaldehído sea peligroso ha de superar los límites de exposición: Valor Límite Ambiental de Exposición de Corta duración (VLA-EC) 0,6 ppm; 0,74 mg/m^3 . Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED) 0,3 ppm; 0,37 mg/m^3 . Si se supera estos valores el formaldehído puede causar por inhalación: sensación de quemazón, tos, dolor de cabeza, náuseas y puede irritar el tracto respiratorio produciendo un edema pulmonar. Por contacto con la piel: irritación. Por contacto con los ojos: es lacrimógeno, puede producir visión borrosa, dolor y enrojecimiento. Y por ingestión, si se bebe en altas cantidades puede provocar dolor agudo, vómitos, coma y la muerte. Un efecto de la exposición prolongada es el riesgo de padecer cáncer (Loomis, 1979).

- Temperatura:

La temperatura es una magnitud física que se mide mediante un termómetro y que indica la energía interna de un medio ambiente en general. La temperatura no se ha tenido en cuenta en este estudio porque la hemos controlado a un valor constante (25°C) y porque interesa más saber cómo mejora la calidad del aire eliminando los compuestos nocivos.

- Humedad:

La humedad es el agua o vapor presente en la atmósfera. La humedad es importante para el desarrollo de las plantas. La humedad en este estudio no se ha tenido en cuenta debido a que, en la cámara al estar el sistema de riego para las plantas, hay más humedad. Interesa saber cómo se mejora la calidad del aire eliminando compuestos nocivos y no que humedad hay.

2.2.2. Otros compuestos importantes

Estos siguientes compuestos están presentes en nuestras vidas cotidianas, pero para nuestro ensayo no disponemos de sensores capaces de medirlos, aun así, es importante hablar de ellos ya que en el ensayo se ha usado un tipo de planta que es capaz de eliminarlos. Para estudios posteriores solo hará falta usar sensores capaces de medirlos.

El benceno (C_6H_6) es tóxico y muy habitual en nuestro día a día, este se encuentra en el humo de los cigarrillos, en la producción de gasolina, en las erupciones volcánicas, incendios forestales, en la fabricación de plásticos, ciertos tipos de gomas, detergentes, lubricantes, tintes, pesticidas y más productos. En la vida cotidiana hay que tener cuidado con el benceno en el uso de los productos de limpieza, pesticidas, gasolina y el humo del cigarrillo que es lo más habitual a una exposición prolongada. El benceno al ser respirado en niveles muy altos puede causar la muerte, mientras que en niveles bajos puede causar mareos, somnolencia, taquicardia o aceleración del latido del corazón. La exposición prolongada se manifiesta en la sangre, produce efectos nocivos en la médula ósea y puede provocar la anemia. El consumo de alcohol aumenta los efectos nocivos. El Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos (DHHS) ha determinado que el benceno es un reconocido carcinógeno en seres humanos, la exposición del benceno en el aire puede producir leucemia, así como cáncer de colon (Khan, 2007).

El tricloroetileno es tóxico y muy presente en nuestras vidas de forma muy pequeña lo que no lo hace tan peligroso, pero si se encuentra en grandes cantidades puede ser muy peligroso para la salud. Normalmente este químico se localiza en productos de limpieza en aerosol, limpiadores de herramientas, removedores de pintura, toallitas de limpieza y adhesivos en aerosol. La exposición más peligrosa es cerca de las industrias. Una exposición aguda al tricloroetileno causa dolor de ojos e irritación en la piel, puede incluso provocar efectos adversos sobre el sistema nervioso central provocando somnolencia, fatiga, dolor de cabeza, confusión y sentimientos de euforia. Se han observado también efectos sobre el hígado, los riñones y el sistema gastrointestinal. Cualquier tipo de exposición ocasiona dermatitis y afecta al sistema nervioso central. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que hay evidencias convincentes para afirmar que la exposición al tricloroetileno puede producir cáncer de riñón en seres humanos (Sanz et al., 1988).

El xileno ($C_6H_4(CH_3)_2$) es tóxico y es procedente de la destilación de petróleo y madera seca. En nuestro día a día está presente en la combustión de motores de gasolina, plaguicidas, humo de cigarrillo, productos para prevenir la corrosión y líquidos para diluir pinturas. La exposición a este químico es perjudicial, sus vapores pueden provocar dolor de cabeza, náuseas y malestar general, las exposiciones prologadas pueden ocasionar alteraciones en el sistema nervioso central (Langman, 1994).

El tolueno ($C_6H_5CH_3$) es tóxico y de forma natural se encuentra en el petróleo crudo y en el árbol tolú. Pero en la vida cotidiana se encuentra en el humo del cigarrillo, en la gasolina, en disolvente para las pinturas, diluyentes de lacas y adhesivos. El tolueno en el cuerpo actúa como depresor del sistema nervioso central y periférico. En la exposición crónica puede ser causante de pérdidas auditivas, hepatopatías, tubulopatía proximal y distal, ataxia, temblores y alteraciones del comportamiento y polineuropatías. Los vapores del tolueno tienen un efecto narcótico e irritan los ojos. Inhalar altos niveles de tolueno provoca mareos y somnolencia, además en el peor de los casos pérdida de conocimiento y, en casos extremos, la muerte (Guzmán et al., 2020).

El monóxido de carbono (CO) es tóxico y es el más común de todos los citados, este se encuentra en la combustión de gas, gasolina, carbón, tabaco, madera. Se encuentra en los gases salientes de las chimeneas, calderas, calentadores de agua y estufas. Los coches también lo expulsan. Si se respira en altas cantidades puede provocar la muerte por envenenamiento en pocos minutos (Téllez & Rodríguez, 2006)

Los óxidos de nitrógeno, gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), son gases tóxicos. El más contaminante es el dióxido de nitrógeno y es un subproducto de todas las combustiones llevadas a altas

temperaturas, por ejemplo, incendios forestales, su emisión también es producida en los tubos de escape de los vehículos motorizados. Este gas es muy tóxico, es corrosivo para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves. En inhalación elevada, aunque en corto periodo de tiempo, puede causar un edema pulmonar, y una exposición prolongada puede afectar al sistema inmune y al pulmón (Fernández Rivas, 2015).

Los óxidos de azufre son un grupo de gases compuestos por el trióxido de azufre (SO_3) y el dióxido de azufre (SO_2), estos gases son tóxicos. Estos gases se generan en la combustión del carbón, petróleo y por la industria metalúrgica, también en emisiones volcánicas. El dióxido de azufre es un gas tóxico e irritante que afecta a todas las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si se tiene una exposición en altas cantidades, se puede causar bronquitis, reacciones asmáticas y parada respiratoria (PRTR-España, 2007).

Estos dos últimos citados no son tan fáciles de tenerlos en nuestras casas, pero si es cierto que con la contaminación actual de la atmósfera hay cantidades de estos gases en el ambiente.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS PROPUESTOS

La hipótesis de este trabajo es ver si la cámara atmosférica de ensayo de plantas que se ha diseñado y desarrollado es la correcta para hacer este estudio de la mejoría de la calidad del aire y ensayos posteriores en el futuro. En esta cámara se modifica una atmósfera inicial mediante el uso de la planta ensayada dando lugar a una atmósfera nueva, que se comparara con la atmósfera patrón.

Con estos datos recogidos y comparados se podrá saber cómo esta planta mejora o no la calidad del aire. Con esta hipótesis cumplida luego se podrá diseñar actuaciones de corrección de problemas atmosféricos existentes en diferentes entornos ya sea con diferentes plantas en base a sus propiedades ya bien medidas y ensayadas en nuestra cámara o con otro tipo de materiales que modifiquen la atmósfera existente.

Los objetivos son comparar los datos experimentales obtenidos en esta atmósfera modificada por las plantas mediante los valores obtenidos de las diversas variables medidas, con los datos obtenidos de la capsula piloto patrón.

Esta capsula patrón en su interior lo que alberga es un aire sin modificaciones, es decir, no ha habido ninguna modificación de atmósfera dentro de ella. Este aire es el mismo que había en el inicio de la cámara atmosférica antes de introducir las plantas.

Como se recogerán las mismas medidas de ambos lugares, se compararán los datos y así se observará si la atmósfera desarrollada es mejor o no a la del patrón. Si obtenemos una mejoría en los datos se podrá decir con total certeza que estas plantas mejoran la calidad del aire. Principalmente el objetivo es recabar datos para estudios o experimentos posteriores, ya que esto es un ensayo de verificación.

4. MATERIALES, MÉTODOS Y TÉCNICAS

4.1. Materiales

4.1.1. Sensores

En este estudio se han usado dos dispositivos con numerosos sensores capaces de medir las siguientes variables:

- El nivel de dióxido de carbono (CO_2) en partículas por millón (ppm).
- Las partículas en suspensión (PM2.5, PM10, PM1.0) en microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- El nivel de formaldehído (HCHO) en miligramo por metro cúbico (mg/m^3).
- Compuestos orgánicos volátiles (TVOC) en miligramo por metro cúbico (mg/m^3).
- La temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).
- La humedad en tanto por ciento (%).

Estos dispositivos tienen una pantalla por la que muestran las medidas actuales a tiempo real y también se pueden conectar por wifi gracias a su propia aplicación, al hacerlo se puede seguir la monitorización a tiempo real de las medidas y a cada hora se actualizan las gráficas de las variables que mide, obteniendo así una gráfica continua de las medidas, por cada variable medida hay una gráfica diferente. Como se ha dicho hay dos dispositivos, uno en la cámara con plantas y otro en el aire patrón.



Figura 4.1: Sensor de medida usado en el estudio ubicado en el laboratorio del Grupo Tar.

Para ver más información técnica de estos dispositivos y de cómo conectarlos a su aplicación para ver las medidas a distancias, ver Anexo I.

4.1.2. Cámara atmosférica de ensayo de plantas

Esta cámara atmosférica consta de dos vitrinas, ambas de metacrilato de 7 milímetros de grosor.

La vitrina más grande es la cámara atmosférica donde se introduce el objeto a ensayar, en este ensayo la planta sansevieria, y el dispositivo de medida. Las dimensiones de esta son: 120 centímetros de largo, 70 centímetros de alto y 42 centímetros de ancho. El suelo esta reforzado de madera, cuenta con una doble puerta por donde actuar en el interior.

La vitrina pequeña es donde se guarda el aire patrón, aire sin modificaciones que se ha usado para contrarrestar datos con la cámara. Esta vitrina solo tiene dentro un dispositivo de medida. Sus medidas son: 36 centímetros de largo, 47 centímetros de alto y 29 centímetros de ancho. Cuenta solo con una puerta.

También se dispone de una bomba de extracción de aire en la habitación donde se ubica la cámara para comenzar los ensayos con una atmósfera limpia.

4.1.3. Sistema de riego por goteo

Se dispone de un sistema de riego por goteo usando una toma de agua y un programador, este programador riega las plantas cada tres días y durante un minuto, para la planta usada en este estudio este tipo de riego es el idóneo. Para hacer llegar el agua al interior de la vitrina y así regar las plantas se usa una goma de silicona con dos salidas ajustadas para que no tenga mucha presión y así regar por goteo.



Figura 4.2: Programador de riego usado en el estudio ubicado en el laboratorio del Grupo Tar.

4.1.4. Planta del ensayo

La planta usada para este estudio piloto ha sido:

Sansevieria, es una de las mejores plantas purificadoras de aire, producen oxígeno de noche, eliminan toxinas como el benceno, formaldehído, xileno, tolueno y tricloroetileno. Su cuidado es mínimo, estar iluminada y un riego pequeño una vez a la semana.



Figura 4.3: Sansevieria usada en el estudio ubicada en el laboratorio del Grupo Tar.

Para ver más plantas de interior para estudios posteriores ver el Anexo II.

4.2. Métodos y técnicas

Se trata en todo momento de comparar los datos experimentales obtenidos en la cámara atmosférica, con los datos obtenidos en la capsula piloto patrón, esta última alberga en su interior un aire sin modificaciones, es decir, no se ha desarrollado ninguna atmósfera especial dentro de ella. Este aire es el mismo del inicio de la experiencia o ensayo desarrollado, donde se introdujeron las plantas. Posteriormente se comparan los datos y así se observan las variaciones debidas a la planta ensayada.

El ensayo se corre durante al menos veinticuatro horas y luego para la comparativa de día y noche se ha dividido en dos tramos:

- Tramo de día desde las 7:00 hasta las 21:00 (ambos inclusive), donde se ha descartado primera hora de acondicionamiento (primera medida) para la comparativa de día y noche.
- Tramo de noche desde las 22:00 a 6:00 (ambos inclusive).

Posteriormente se realizan dos ensayos más en las mismas condiciones y se hace la comparación de los resultados, si estos son repetitivos se toma como valido el ensayo. Hay que remarcar que para cada ensayo las condiciones iniciales son distintas, a la hora de comparar los resultados, se tomara como repetitivo si las gráficas tienen comportamientos semejantes y no si tienen el mismo valor, ya que este depende del aire inicial del ensayo que cada día es diferente.

Al final de este trabajo se tendrán mejores datos para establecer el método experimental a desarrollar en futuros ensayos.

- Condiciones del ensayo:

Primero se ponen las cámaras, la pequeña y la grande, debajo de una campana extractora para que absorbiera todo el aire y partículas de estos y así poder empezar el experimento sin contaminantes previos.

Luego se ha dejado un determinado tiempo las vitrinas abiertas para que recojan el aire exterior, el mismo que vamos a monitorizar. Este tiempo de apertura depende del tipo de estudio a realizar, si es un estudio científico habría que dejarlo abierto mínimo una hora; si es un estudio técnico donde nos importa más la tendencia que la precisión, con dejarlas abiertas diez minutos es suficiente.

También se puede preparar una atmósfera tipo a ensayar con un ventilador enfocado a las cámaras con un tipo de contaminación preparado artificialmente para simular cualquier problema específico a estudiar.

Una vez bien desarrollada la atmósfera específica, se introducirán los dos sensores de cada cámara, se procederá a cerrar bien la cámara patrón y se introducirá la planta en cuestión para el ensayo y se seguirá el ensayo por los sensores durante 24 horas.

Ya con todo preparado, solo queda monitorizar la aplicación del aparato y comparar los datos.

En nuestro ensayo de verificación se ha usado la sansevieria y se ha medido qué tipo de atmósfera desarrolla y si es capaz de mejorar la calidad del aire original, para ello hemos dejado esta planta durante tres días distintos y se ha

medido durante 24 horas cada día, esto se ha realizado para ver la repetitividad del ensayo.

Para comparar los datos se han obtenidos gráficas comparativas de cada variable por separada de la cámara frente al patrón de los días medidos durante las 24 horas y se ha podido ver mejor la interacción de las plantas y como estas modifican la atmósfera. También se ha calculado la media de las mediciones del día y de la noche para comparar mejor, y con esta media se ha medido cuantos miligramos de formaldehído y compuestos orgánicos volátiles se elimina durante el día y durante la noche para saber cuándo actúa más la planta en la mejoría de la calidad del aire.

Las medidas que más interesan son las de la noche, pues se puede comprobar más aún como influyen las plantas en la mejoría de la calidad del aire. Se han ido tomando estos datos en forma de gráficas que se han comparado para ver las diferencias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este ensayo hemos tenido diferentes resultados que hemos ido solucionando.

1. Primer ensayo en vitrina existente en el laboratorio. Se uso una vitrina existente en el laboratorio, pero nos dimos cuenta de que esta no era lo suficientemente estanca y se mezclaba el aire a ensayar con el aire exterior, lo cual no podíamos experimentar con el desarrollo de una atmósfera propia. Además, en esta vitrina no llegaba bien la luz del sol y las plantas no mostraban signos de mucha vitalidad. También se comprobó que usar el aire patrón del exterior no era muy conveniente, ya que este aire estaba en continuo cambio debido a los experimentos en el laboratorio, la estancia era mucho mayor y los valores que daban estaban más contaminados por el cambio.
Así que una posible solución fue diseñar dos vitrinas de metacrilato construidas a medida por Fernando Tejero en el taller de diseño de la EPS, una más grande donde albergar las plantas y el riego automático (desarrollo de una atmósfera propia para nuestro ensayo) y otra más pequeña que sirva de aire patrón. Estas vitrinas son estancas y el aire no se contamina del exterior, con lo cual podríamos hacer el estudio.
2. Una vez diseñadas y construidas las vitrinas de metacrilato, se tomaron medidas durante dos días para ver si la elección del material (metacrilato) fue la adecuada. Tras monitorizar observamos que estos valores eran los correctos, contrarrestamos estos valores con los que había en el ambiente exterior para verificar que dentro de las vitrinas no había valores elevados de formaldehído ni de polvo (PM2.5) ni de compuestos orgánicos volátiles. Comprobamos que nuestra elección fue la correcta, luego podemos ensayar adecuadamente sin problemas de medidas contaminadas.
3. Al inicio se disponía de macetas compartidas de plástico. Se verificó experimentalmente que este tipo de macetas emitían mucho formaldehído. Por ello se reemplazó dichas macetas por macetas de barro cocido, de esta forma no se libera tanta cantidad de formaldehído y el estudio no se vería comprometido, efectivamente los datos corroboraron que el cambio fue un éxito.
4. También se usaron dispositivos medidores sin wifi. Esto suponía tener que estar pendientes de los aparatos de medidas todo el día, cosa imposible. Además, con estos aparatos no se podía seguir la evolución

por la noche. Se investigo más y se encontraron otros medidores que median los mismos parámetros (los que interesan para este estudio) pero con wifi. Gracias a estos nuevos medidores que funcionan con su propia aplicación podemos seguir la evolución del aire a cualquier hora y en cualquier lugar y lo mejor es que las medidas se guardan en gráficas y no se pierden como en los otros medidores.

5.1. Ensayo de verificación

Este ensayo ha sido única y exclusivamente con la planta sansevieria como ya se había dicho anteriormente. Se ha medido como mejora la calidad del aire durante tres días distintos mediante la atmósfera que ha desarrollado dentro de la cámara. Los datos importantes son los de dióxido de carbono, partículas en suspensión, formaldehído y compuestos orgánicos volátiles; la temperatura y la humedad no se ha tenido en cuenta ya que sus valores estaban controlados.



Figura 5.1: Cámara atmosférica de nuestro estudio ubicada en el laboratorio del Grupo Tar.

5.1.1. Datos obtenidos

Primero se muestran las tablas de las medidas de los tres ensayos, a continuación, con las gráficas se han comparado las mediciones.

- Los datos obtenidos durante las primeras 24 horas (primer día) han sido los siguientes (inicio de medición las 11:00):

Aire patrón:

Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
11:00	430	7	0.040	0.340	23:00	423	7	0.050	0.560
12:00	450	6	0.040	0.420	00:00	425	7	0.050	0.540
13:00	444	6	0.050	0.490	1:00	422	6	0.050	0.500
14:00	457	7	0.050	0.570	2:00	419	7	0.040	0.470
15:00	490	6	0.060	0.610	3:00	426	6	0.040	0.460
16:00	471	7	0.060	0.620	4:00	423	7	0.040	0.450
17:00	453	6	0.060	0.600	5:00	432	7	0.040	0.450
18:00	464	7	0.050	0.590	6:00	431	7	0.040	0.450
19:00	482	7	0.050	0.600	7:00	619	6	0.040	0.440
20:00	498	7	0.050	0.600	8:00	431	6	0.040	0.440
21:00	496	7	0.060	0.620	9:00	449	6	0.040	0.450
22:00	473	7	0.050	0.600	10:00	461	6	0.040	0.480

Tabla 5.1: Medidas de las variables del aire patrón del primer día.

Cámara atmosférica:

Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
11:00	712	15	0.002	0.030	23:00	522	15	0.002	0.260
12:00	630	15	0.003	0.180	00:00	525	15	0.001	0.210
13:00	595	14	0.002	0.330	1:00	530	15	0.001	0.170
14:00	738	14	0.003	0.360	2:00	536	14	0.003	0.160
15:00	670	15	0.003	0.440	3:00	560	13	0.003	0.150
16:00	623	16	0.001	0.370	4:00	562	14	0.002	0.160
17:00	633	15	0.002	0.310	5:00	542	15	0.001	0.180
18:00	713	15	0.002	0.350	6:00	559	15	0.001	0.170
19:00	775	14	0.002	0.350	7:00	561	14	0.001	0.170
20:00	664	15	0.001	0.430	8:00	573	14	0.003	0.160
21:00	608	16	0.003	0.450	9:00	571	15	0.002	0.260
22:00	536	15	0.003	0.290	10:00	575	16	0.002	0.200

Tabla 5.2: Medidas de las variables de la cámara del primer día.

- Los datos obtenidos durante las segundas 24 horas (segundo día, dos días después de las primeras medidas) han sido los siguientes (inicio de medición las 12:00):

Aire patrón:

Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
12:00	685	8	0.020	0.390	00:00	459	8	0.030	0.700
13:00	664	8	0.020	0.440	1:00	452	8	0.030	0.690
14:00	640	7	0.030	0.490	2:00	449	7	0.030	0.680
15:00	663	7	0.030	0.540	3:00	446	7	0.030	0.670
16:00	606	7	0.030	0.590	4:00	443	7	0.030	0.670
17:00	644	7	0.040	0.620	5:00	454	7	0.030	0.660
18:00	634	7	0.040	0.650	6:00	463	8	0.030	0.660
19:00	603	7	0.040	0.670	7:00	461	8	0.030	0.660
20:00	631	7	0.040	0.690	8:00	465	8	0.030	0.660
21:00	542	7	0.040	0.700	9:00	470	8	0.030	0.670
22:00	502	7	0.040	0.710	10:00	472	9	0.030	0.680
23:00	465	8	0.030	0.700	11:00	490	8	0.030	0.690

Tabla 5.3: Medidas de las variables del aire patrón del segundo día.

Cámara atmosférica:

Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
12:00	1373	13	0.003	0.130	00:00	553	13	0.007	0.380
13:00	1089	13	0.001	0.150	1:00	537	13	0.010	0.340
14:00	923	14	0.002	0.210	2:00	527	13	0.006	0.350
15:00	808	14	0.002	0.310	3:00	521	14	0.004	0.350
16:00	726	13	0.004	0.390	4:00	516	13	0.003	0.330
17:00	673	15	0.002	0.420	5:00	514	14	0.001	0.300
18:00	653	15	0.003	0.470	6:00	515	14	0.001	0.330
19:00	634	14	0.002	0.490	7:00	514	15	0.002	0.350
20:00	624	13	0.005	0.510	8:00	519	13	0.002	0.390
21:00	615	14	0.008	0.510	9:00	522	14	0.001	0.450
22:00	595	14	0.010	0.420	10:00	524	15	0.003	0.410
23:00	574	13	0.010	0.400	11:00	529	13	0.002	0.400

Tabla 5.4: Medidas de las variables de la cámara del segundo día.

- Los datos obtenidos durante las terceras 24 horas (tercer día, dos días después de las segundas medidas) han sido los siguientes (inicio de medición las 12:00):

Aire patrón:

Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
12:00	681	7	0.050	0.430	00:00	1053	6	0.060	0.540
13:00	743	7	0.060	0.500	1:00	1102	6	0.070	0.540
14:00	817	6	0.060	0.530	2:00	1036	6	0.070	0.540
15:00	875	6	0.060	0.540	3:00	995	6	0.070	0.540
16:00	917	7	0.060	0.540	4:00	986	7	0.070	0.540
17:00	957	7	0.060	0.540	5:00	1002	7	0.070	0.540
18:00	999	6	0.060	0.530	6:00	975	6	0.070	0.540
19:00	1043	6	0.060	0.530	7:00	997	7	0.070	0.540
20:00	1096	6	0.060	0.520	8:00	1012	7	0.070	0.540
21:00	1145	7	0.060	0.530	9:00	1096	6	0.070	0.550
22:00	1180	6	0.060	0.540	10:00	1167	7	0.070	0.560
23:00	1100	6	0.060	0.540	11:00	1005	7	0.070	0.560

Tabla 5.5: Medidas de las variables del aire patrón del tercer día.

Cámara atmosférica:

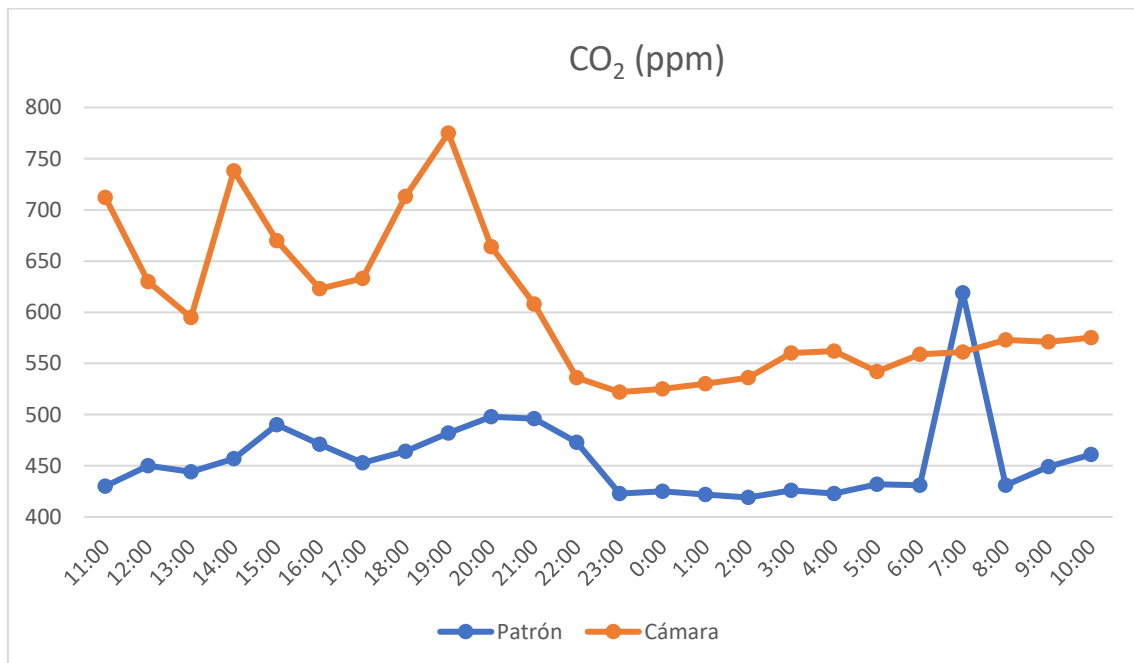
Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	Horas	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
12:00	810	15	0.014	0.380	00:00	1126	14	0.001	0.160
13:00	838	15	0.005	0.390	1:00	1149	13	0.001	0.150
14:00	864	14	0.004	0.370	2:00	1096	14	0.002	0.140
15:00	926	14	0.001	0.340	3:00	1012	14	0.001	0.120
16:00	1003	14	0.002	0.270	4:00	1006	14	0.002	0.120
17:00	1144	15	0.001	0.210	5:00	1096	14	0.001	0.120
18:00	1097	14	0.001	0.170	6:00	1023	13	0.001	0.120
19:00	1140	14	0.001	0.140	7:00	1098	13	0.003	0.100
20:00	1217	15	0.002	0.150	8:00	1123	14	0.001	0.090
21:00	1223	14	0.003	0.160	9:00	1143	14	0.001	0.100
22:00	1236	13	0.001	0.160	10:00	1215	14	0.001	0.110
23:00	1196	14	0.001	0.170	11:00	1165	14	0.002	0.170

Tabla 5.6: Medidas de las variables de la cámara del tercer día.

5.1.2. Comparación de datos

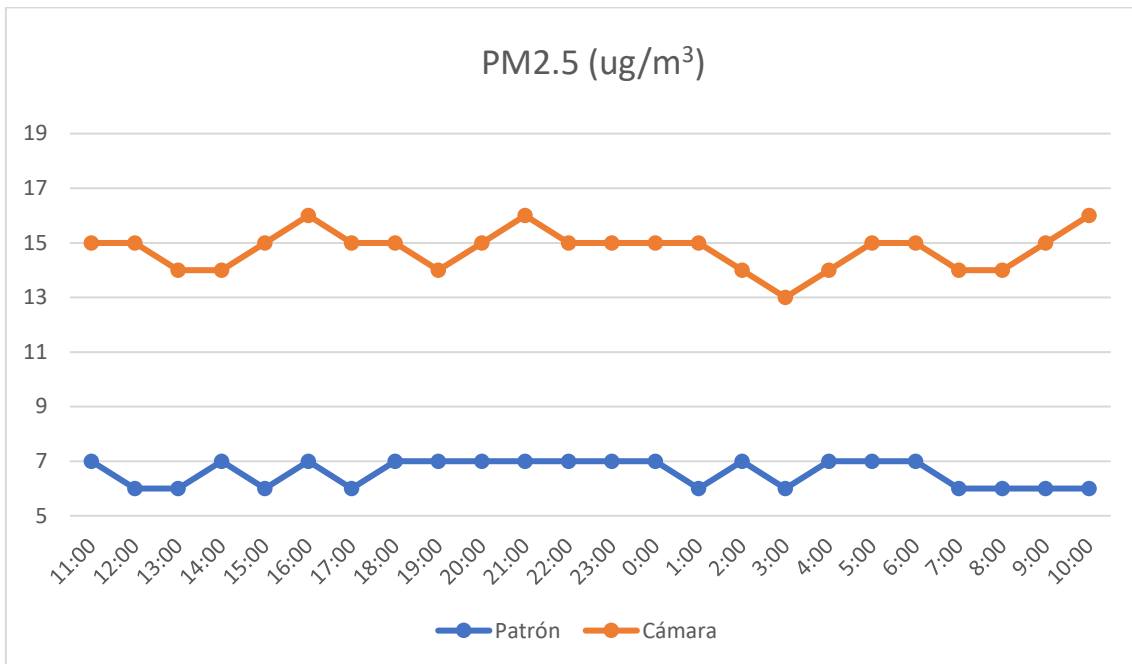
Para comparar los datos mejor, se han usado distintas gráficas para cada variable medida y se han obtenido dos curvas de medida, una de las medidas patrón tras el cálculo y otra de las medidas con plantas.

- Primeras 24 horas:



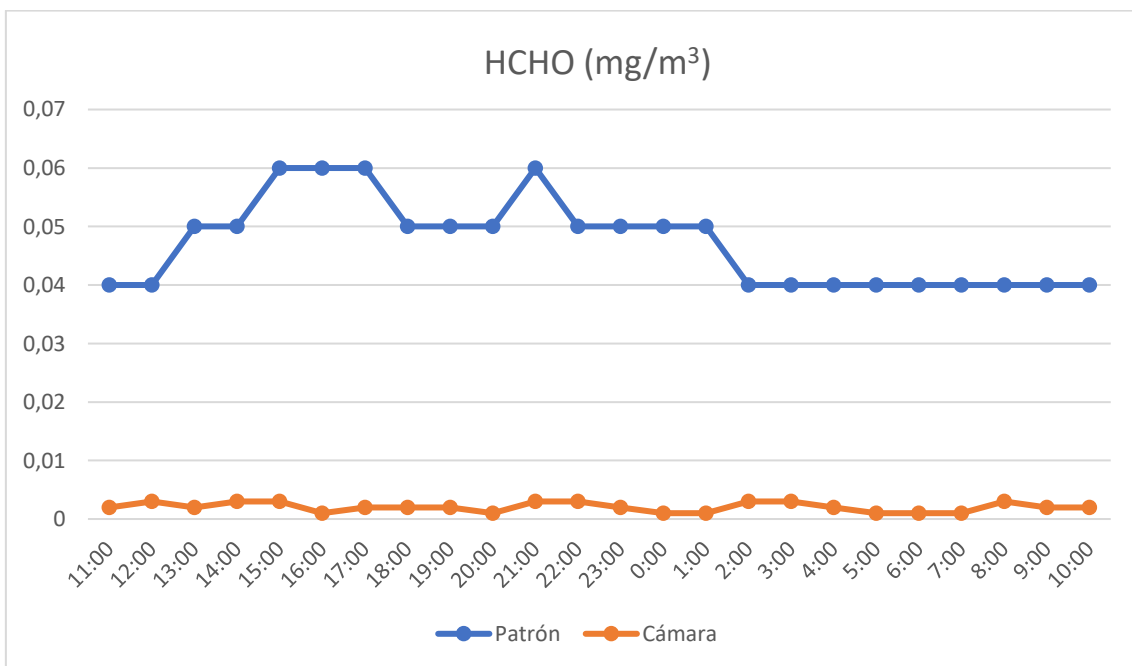
Gráfica 5.1: Comparación de medidas de dióxido de carbono del primer día.

Como se observa en la cámara tenemos más cantidad de dióxido de carbono, pero este empieza a disminuir en las horas de la noche, esto se verá mejor más adelante en la comparación día y noche. Esto se debe a que la sansevieria produce más oxígeno de noche lo que conlleva a una disminución del dióxido de carbono. Aun disminuyendo en la noche, la cámara sigue teniendo mayor cantidad de dióxido de carbono, esto indica que la sansevieria no es capaz de producir grandes cantidades de oxígeno hasta el punto de igualar o mejorar las medidas del aire patrón, al ser el primer ensayo, hay que observar los otros dos para ver si hay repetitividad.



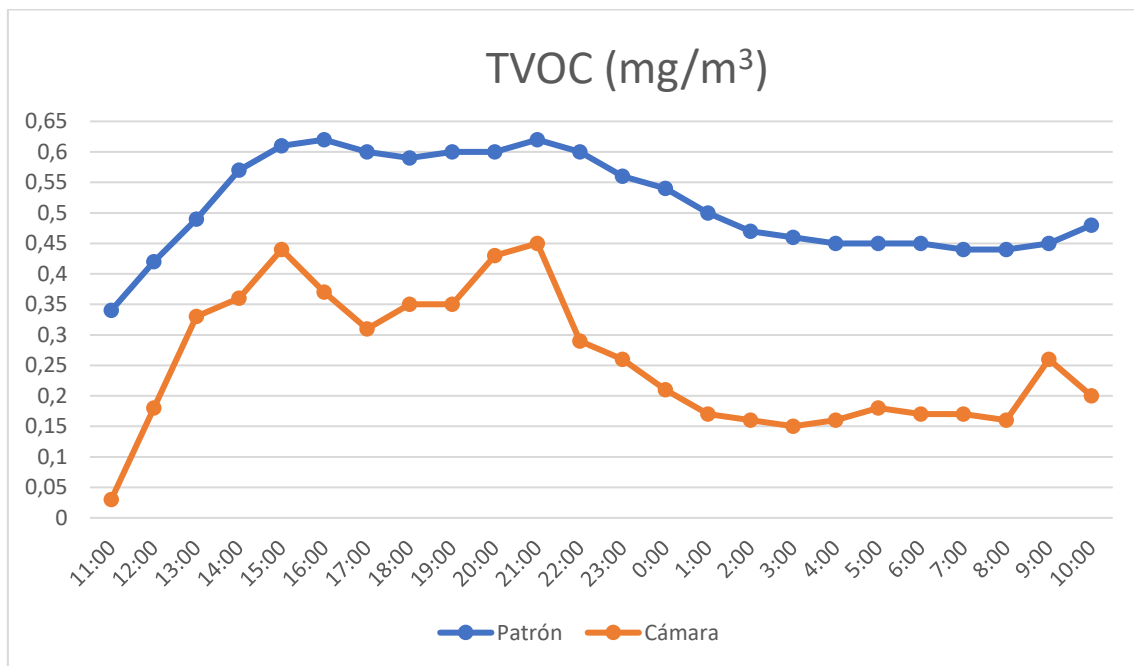
Gráfica 5.2: Comparación de medidas de partículas de materia del primer día.

Se observa que hay mucha más cantidad de partículas en la cámara, esto se debe a que en la cámara están las plantas y estas están plantadas en tierra, esto provoca que se genere polvo y por lo tanto hay más partículas en suspensión. Se observará los dos ensayos siguientes para ver si hay repetitividad.



Gráfica 5.3: Comparación de medidas de formaldehído del primer día.

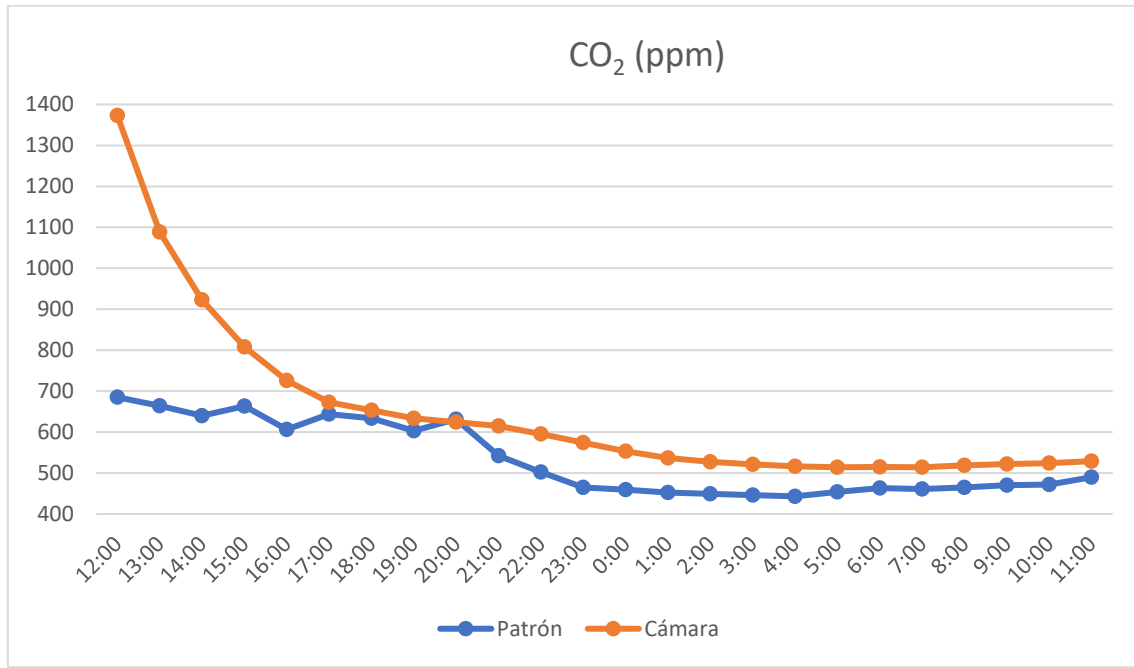
En esta gráfica se observa muy detalladamente como en la cámara la cantidad de formaldehído es prácticamente cero, mientras que en el patrón tenemos cantidades altas de formaldehído, esto indica que la sansevieria es capaz de eliminar con éxito este compuesto, pero hay que observar los otros dos ensayos para verificarlo.



Gráfica 5.4: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del primer día.

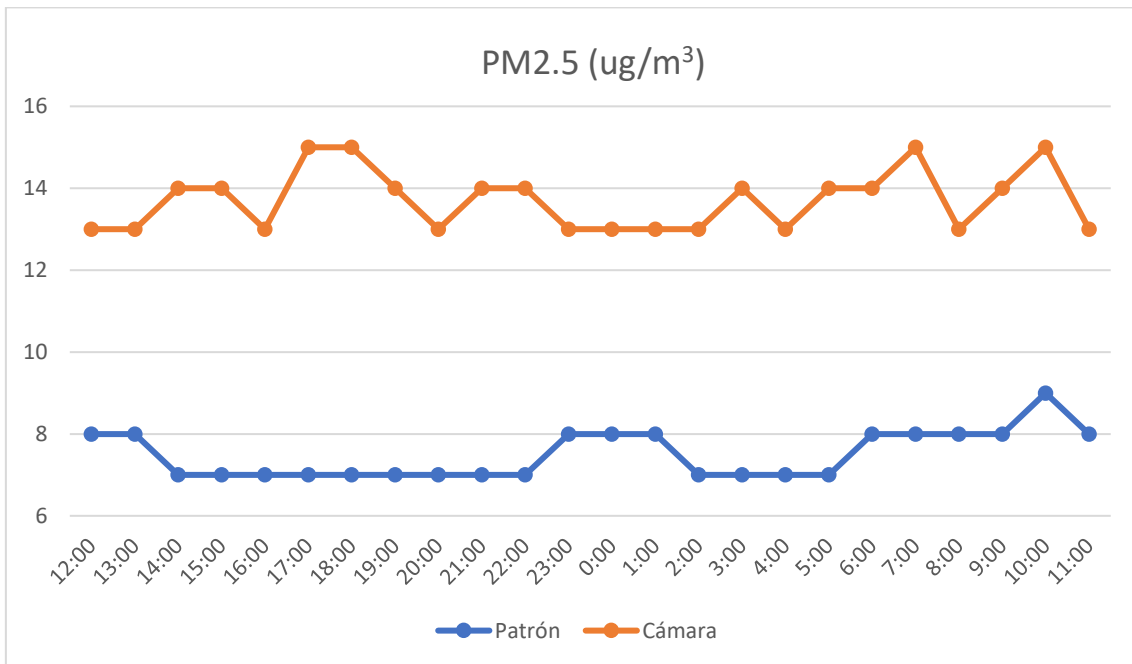
En esta gráfica se observa como la cámara tiene menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles con respecto al patrón y que durante las horas de la noche es cuando menor cantidad hay, esto se comprobará mejor más adelante en las diferencias entre día y noche. Esto indica que la sansevieria es capaz de eliminar muy bien estos tipos de compuestos y que cuando más efectiva es eliminando es durante la noche. Hay que comprobar los demás ensayos.

- Segundas 24 horas:



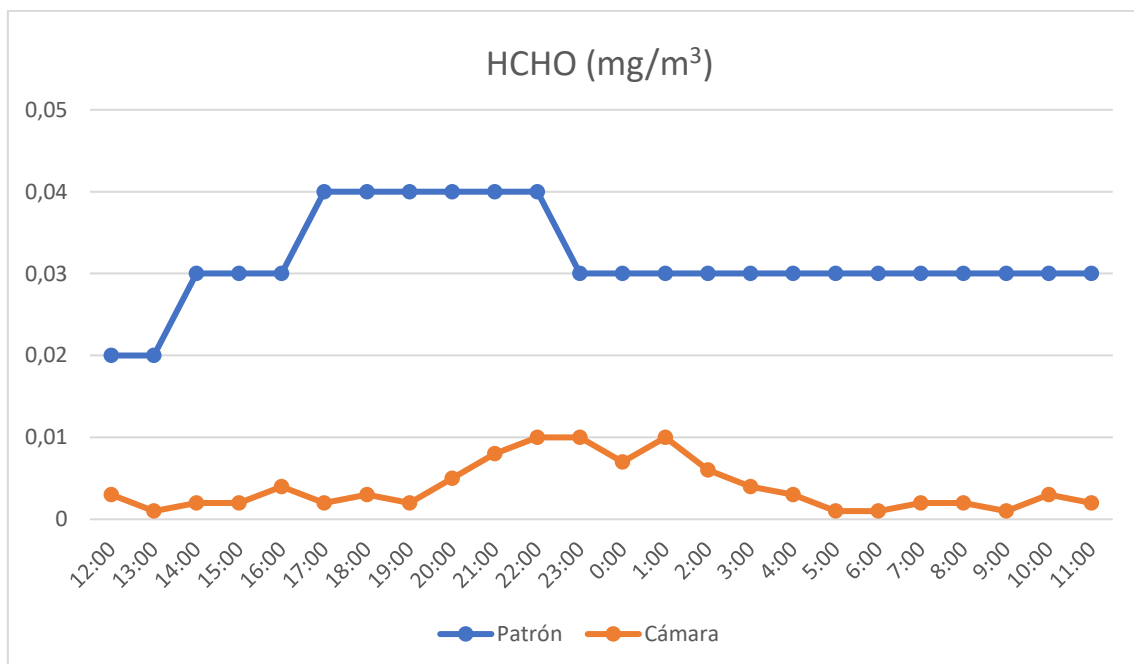
Gráfica 5.5: Comparación de medidas del dióxido de carbono del segundo día.

Como se observa en este segundo ensayo, en la cámara tenemos también más cantidad de dióxido de carbono, pero este empieza a disminuir en las horas de la noche y en este caso, hasta casi iguala a las medidas del patrón. Aun así, la cámara sigue teniendo más dióxido de carbono, esto indica que la sansevieria no es capaz de producir grandes cantidades de oxígeno. En este segundo ensayo ya se empieza a ver repetitividad.



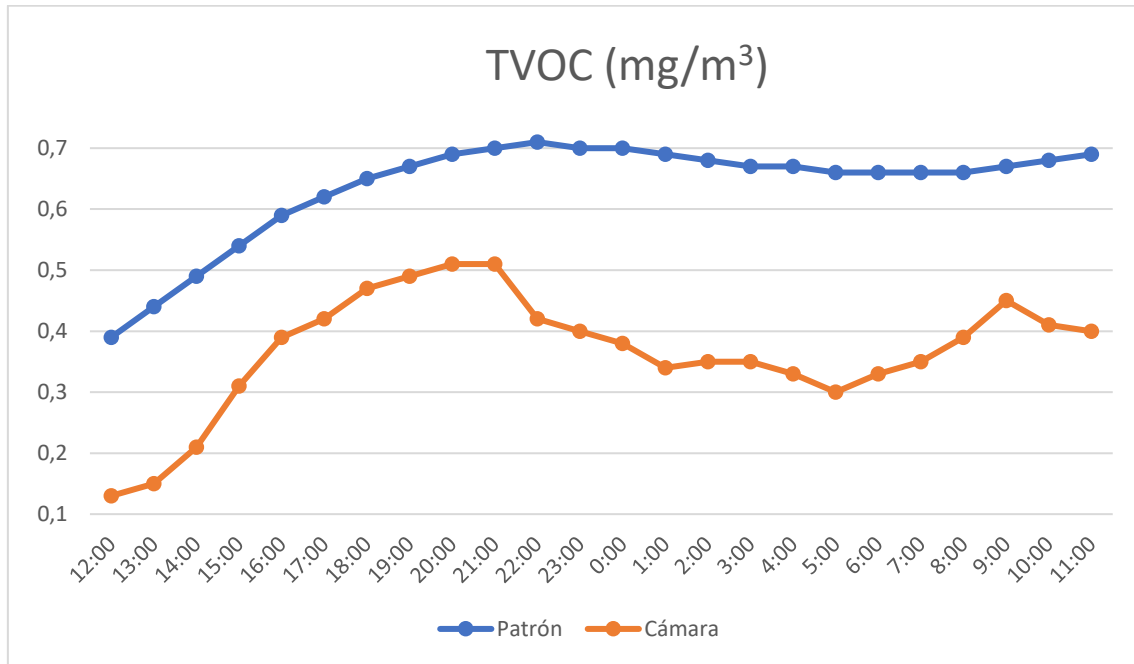
Gráfica 5.6: Comparación de medidas de partículas de materia del segundo día.

Se vuelve a observar que hay mucha más cantidad de partículas en la cámara, ya se explicó a lo que se debe esto en el primer ensayo y como se vuelve a tener medidas semejantes, esto indica repetitividad.



Gráfica 5.7: Comparación de medidas de formaldehído del segundo día.

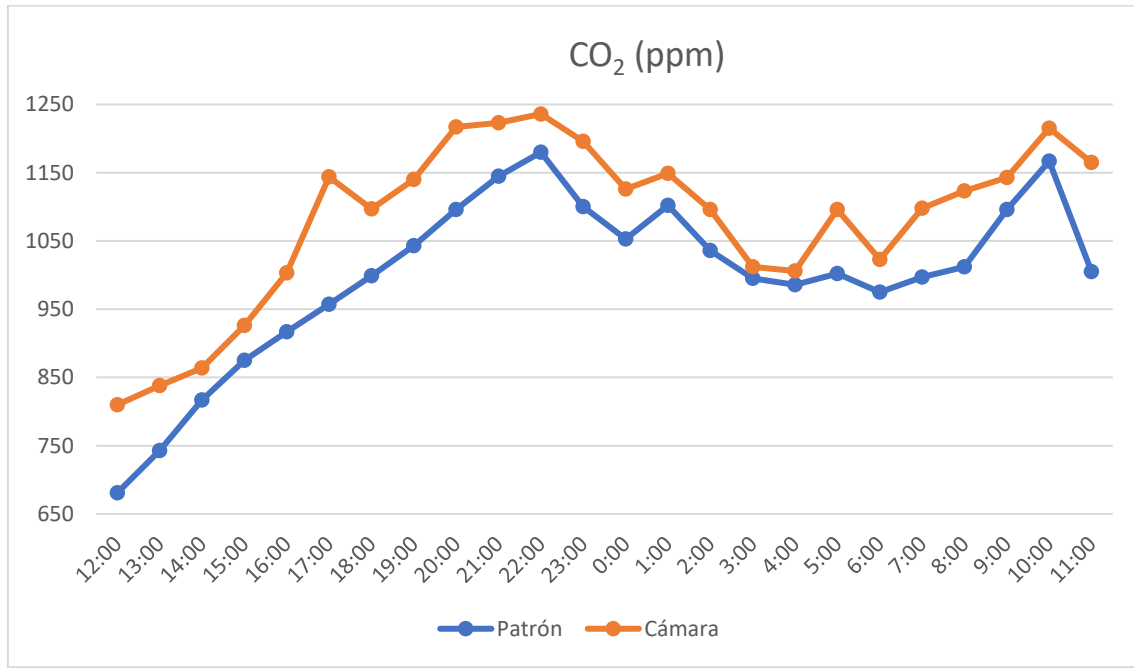
En esta gráfica se vuelve a observar como en la cámara es capaz de eliminar formaldehído y mayormente dejarlo a niveles cercanos a cero. Se observa repetitividad con el primer ensayo y sobre los beneficios de esta planta al eliminar este tipo de compuesto.



Gráfica 5.8: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del segundo día.

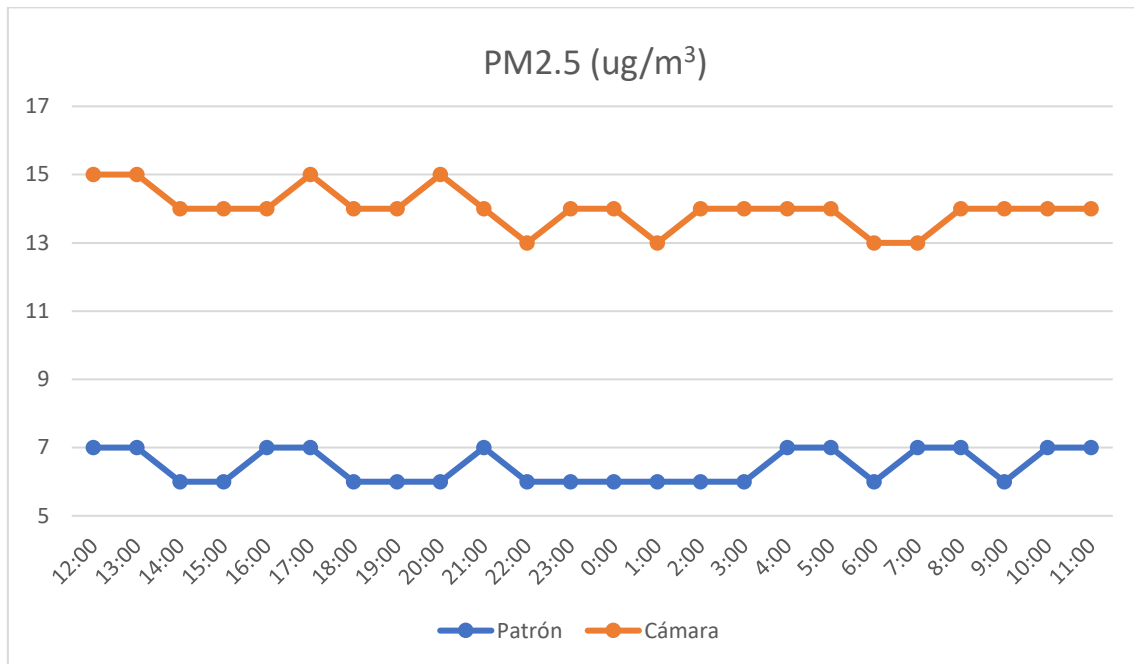
En esta gráfica se observa como la cámara tiene menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles frente al patrón, al igual que en el primer ensayo, y que durante las horas de la noche es cuando menor cantidad hay. Esto empieza a ser repetitivo.

- Terceras 24 horas:



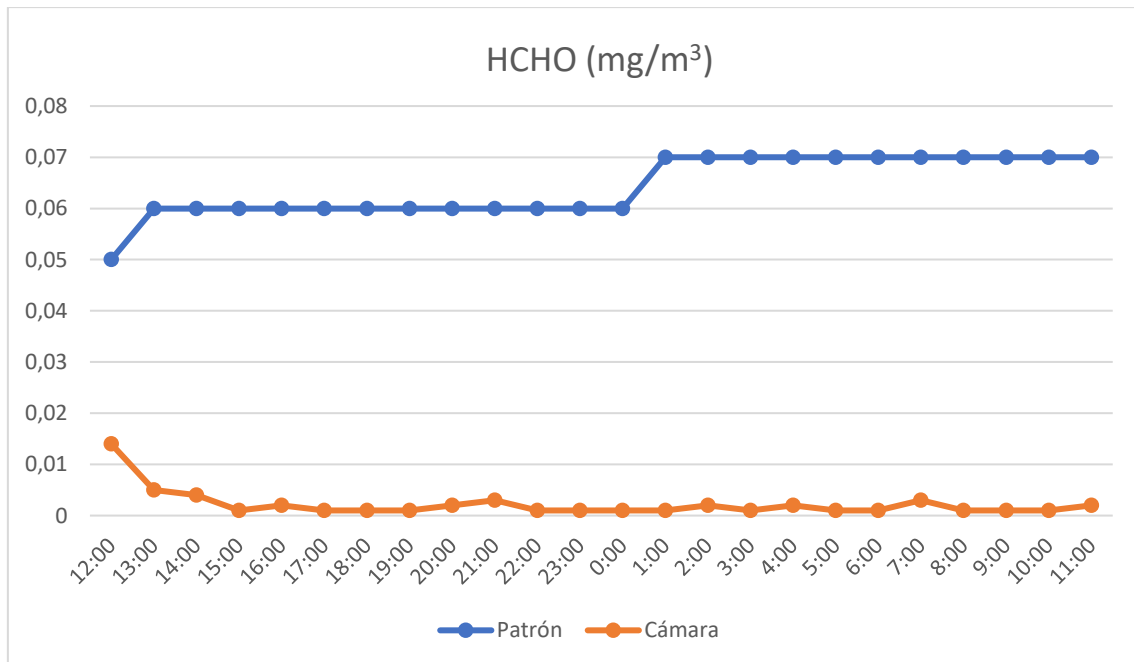
Gráfica 5.9: Comparación de medidas del dióxido de carbono del tercer día.

En esta gráfica del tercer ensayo se vuelve a observar lo que ya se observó en los otros dos ensayos, la cámara tiene mayor cantidad de dióxido de carbono y este a pesar de disminuir durante la noche, no llega a igualar o mejorar al del patrón. Hay repetitividad en los tres ensayos.



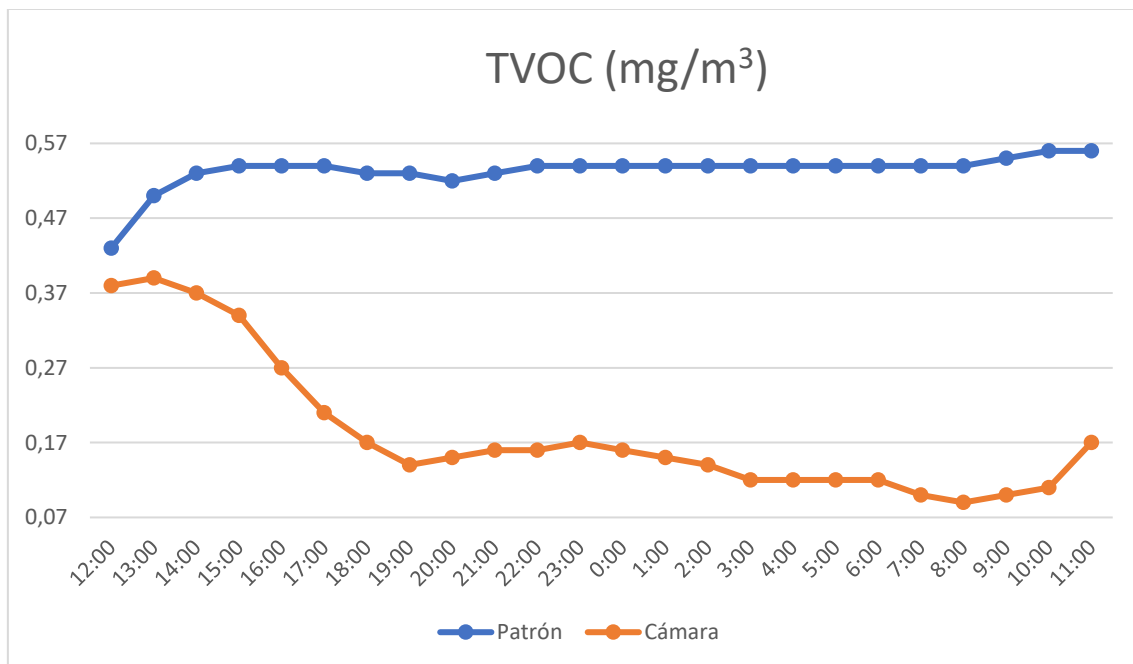
Gráfica 5.10: Comparación de medidas de partículas de materia del tercer día.

Al igual que en los otros dos ensayos, en este se puede ver en la gráfica como hay mayor cantidad de partículas en la cámara. Hay repetitividad.



Gráfica 5.11: Comparación de medidas de formaldehído del tercer día.

Como se observa en la gráfica y como se observó en los otros dos ensayos, en la cámara prácticamente mide cero de formaldehído mientras que en el patrón hay niveles altos. Hay repetitividad en los ensayos.



Gráfica 5.12: Comparación de medidas de compuestos orgánicos volátiles del tercer día.

En esta gráfica como en las otras de los ensayos anteriores, se observa como en la cámara hay menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles frente al patrón, sobre todo en la noche. Hay repetitividad en los ensayos.

5.1.3. Diferencias de día y noche

Se han modificado las tablas anteriores para dividir las en día y noche. Se considera de día desde las medidas desde las 7:00 hasta las 21:00 (incluidas) y desde las 22:00 hasta las 6:00 (incluidas) se considera de noche. Se han descartado las medidas de ajuste del sistema, es decir, las medidas iniciales (las de las 11:00 del primer día y las de las 12:00 del segundo y tercer día). Se han realizado las medias de las medidas para comparar mejor los datos.

Interesa también saber la cantidad de miligramos de formaldehído y de compuestos orgánicos volátiles que elimina la sansevieria de día y de noche para saber cuándo actúa más. Para este cálculo se ha realizado la media de estas

medidas, se han restado y multiplicarlo por el volumen efectivo de la cámara, es decir, volumen de la cámara menos el volumen del patrón.

Como se indicó antes las dimensiones de la vitrina grande o cámara atmosférica son: 43.5 x 71 x 120 centímetros cúbicos, lo pasamos a metros y calculamos su volumen:

$$\text{Volumen cámara (Vc)} = 0.435 \cdot 0.71 \cdot 1.20 = 0.37 \text{ m}^3.$$

De igual forma se hace con la vitrina pequeña o aire patrón. Sus dimensiones son: 36 x 47 x 29 centímetros cúbicos, lo pasamos a metros y calculamos su volumen:

$$\text{Volumen vitrina patrón (Vp)} = 0.36 \cdot 0.47 \cdot 0.29 = 0.049 \text{ m}^3.$$

Se ha reorganizado las tablas anteriores para separar día y noche:

- 1º Ensayo:

1º Día								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
7:00	619	6	0.040	0.440	559	15	0.001	0.170
8:00	431	6	0.040	0.440	561	14	0.003	0.160
9:00	449	6	0.040	0.450	573	14	0.002	0.260
10:00	461	6	0.040	0.480	571	15	0.002	0.200
12:00	450	6	0.040	0.420	630	15	0.003	0.180
13:00	444	6	0.050	0.490	595	14	0.002	0.330
14:00	457	7	0.050	0.570	738	14	0.003	0.360
15:00	490	6	0.060	0.610	670	15	0.003	0.440
16:00	471	7	0.060	0.620	623	16	0.001	0.370
17:00	453	6	0.060	0.600	633	15	0.002	0.310
18:00	464	7	0.050	0.590	713	15	0.002	0.350
19:00	482	7	0.050	0.600	775	14	0.002	0.350
20:00	498	7	0.050	0.600	664	15	0.001	0.430
21:00	496	7	0.060	0.620	608	16	0.003	0.450
Media	476	6	0.049	0.538	637	15	0.002	0.311

Tabla 5.7: Datos y medias del día del primer ensayo

1º Noche								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
22:00	473	7	0.050	0.600	536	15	0.003	0.290
23:00	423	7	0.050	0.560	522	15	0.002	0.260
00:00	425	7	0.050	0.540	525	15	0.001	0.210
1:00	422	6	0.050	0.500	530	15	0.001	0.170
2:00	419	7	0.040	0.470	536	14	0.003	0.160
3:00	426	6	0.040	0.460	560	13	0.003	0.150
4:00	423	7	0.040	0.450	562	14	0.002	0.160
5:00	432	7	0.040	0.450	542	15	0.001	0.180
6:00	431	7	0.040	0.450	559	15	0.001	0.170
Media	430	7	0.044	0.498	541	15	0.002	0.194

Tabla 5.8: Datos y medias de la noche del primer ensayo.

Al observar las medias de las medidas, se observa que, en la cámara, como ya se dijo antes, hay mayor cantidad de dióxido de carbono y que durante la noche este disminuye. La media de partículas en suspensión es igual de noche que de día y que en la cámara como ya se dijo hay mayor cantidad, el doble. La media de formaldehído es prácticamente igual en el día que en la noche en el patrón y es la misma en la cámara, parece que no hubiera diferencias en los tramos, y se observa lo que ya se observó antes, en la cámara hay mucha menos cantidad de formaldehído. Los compuestos orgánicos volátiles si muestra una mejoría en la noche tanto en la cámara como en el patrón y como ya se observó en la cámara hay mucha menos cantidad.

- Cálculo de los miligramos eliminados de HCHO y TVOC:

HCHO eliminado durante el día = $(0.049 - 0.002) * (0.37 - 0.049) = 0.015$ mg

HCHO eliminado durante la noche = $(0.044 - 0.002) * (0.37 - 0.049) = 0.013$ mg

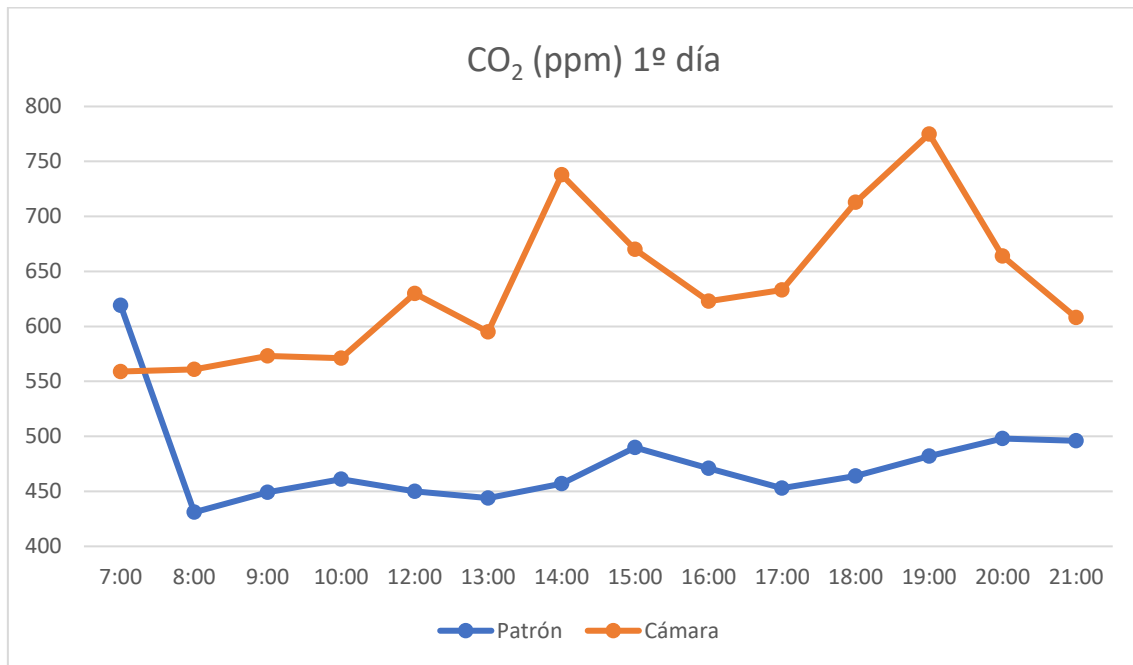
Prácticamente se elimina la misma cantidad tanto de día como de noche, pero hay una leve mayor eliminación durante el día.

TVOC eliminado durante el día = $(0.538 - 0.311) * (0.37 - 0.049) = 0.073$ mg

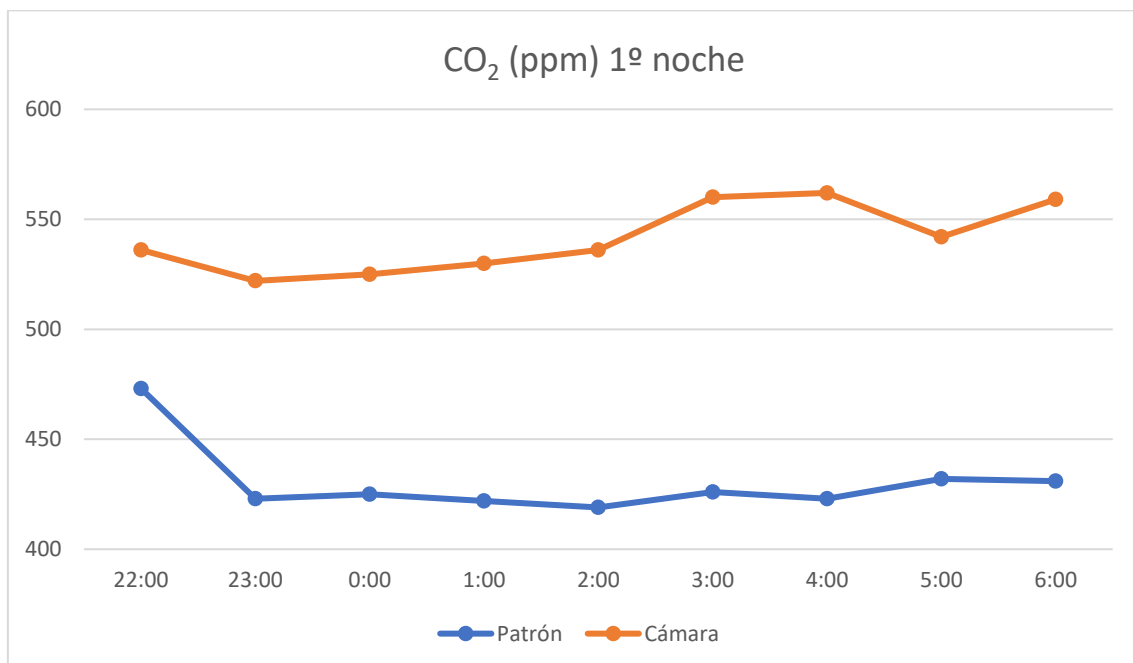
TVOC eliminado durante la noche = $(0.498 - 0.194) * (0.37 - 0.049) = 0.098$ mg

Se elimina mayor cantidad durante la noche.

- Gráficas comparativas día y noche del primer ensayo:

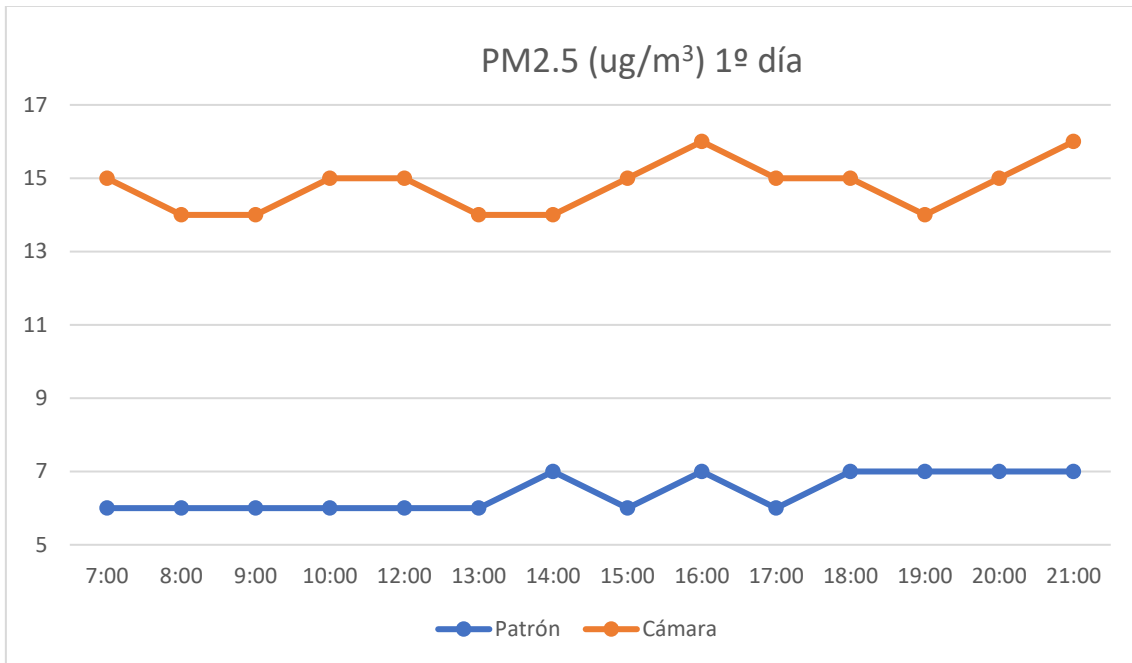


Gráfica 5.13: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del primer ensayo.

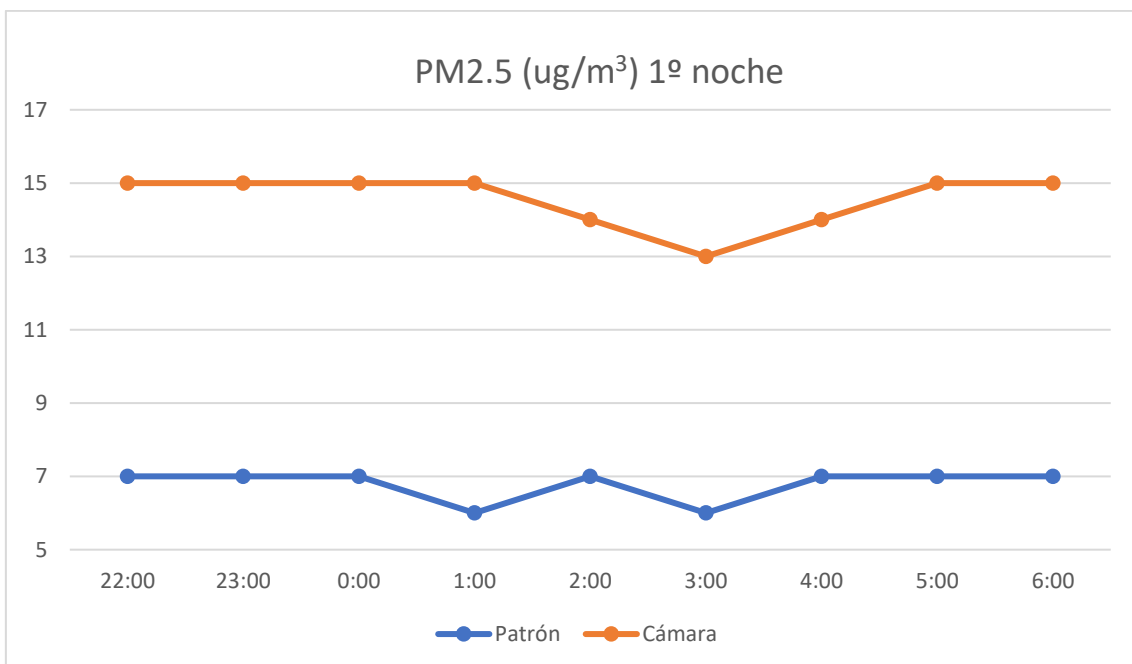


Gráfica 5.14: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del primer ensayo.

Como se observa en estas gráficas, es evidente la mejoría en la noche, son valores más pequeños que durante el día y como ya se sabe, en la cámara los valores de dióxido de carbono son más altos.

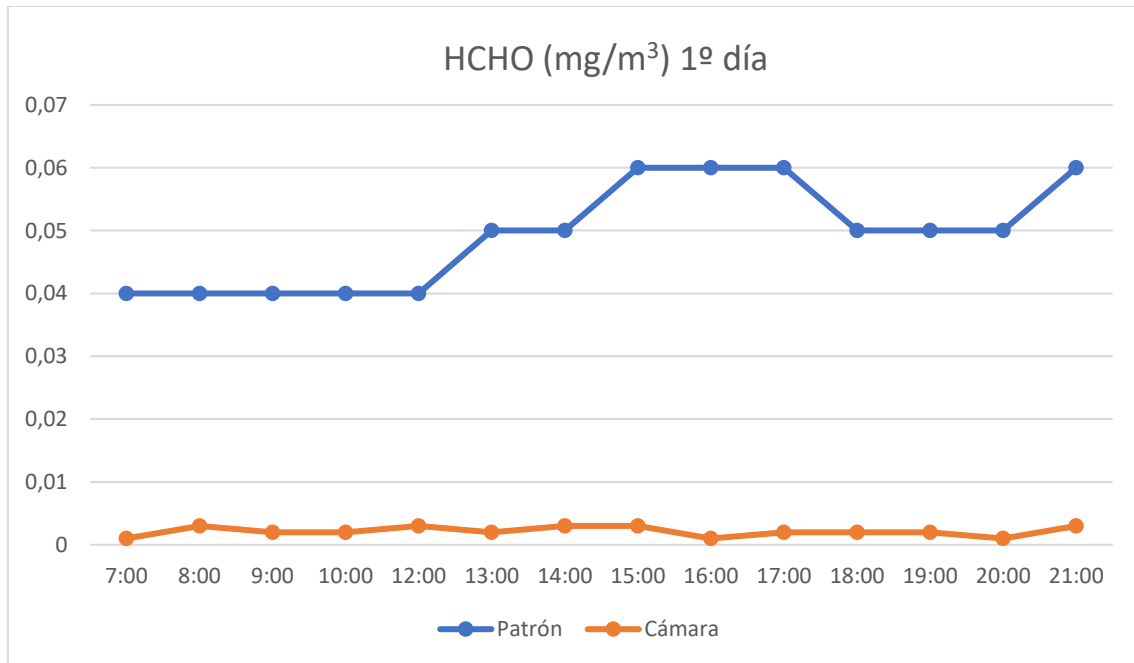


Gráfica 5.15: Diferencias de partículas de materia durante el día del primer ensayo.

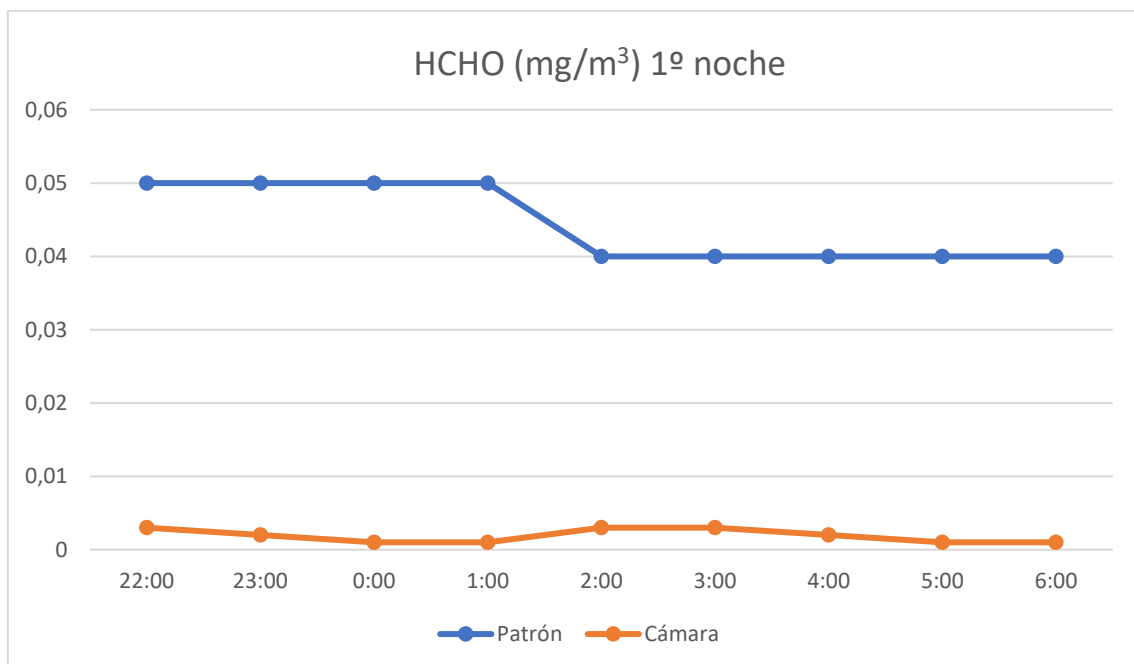


Gráfica 5.16: Diferencias de partículas de materia durante la noche del primer ensayo.

En estas gráficas comparativas se observa lo que ya se vio antes, no hay diferencias apreciables entre noche y día, y en la cámara hay el doble de partículas en suspensión.

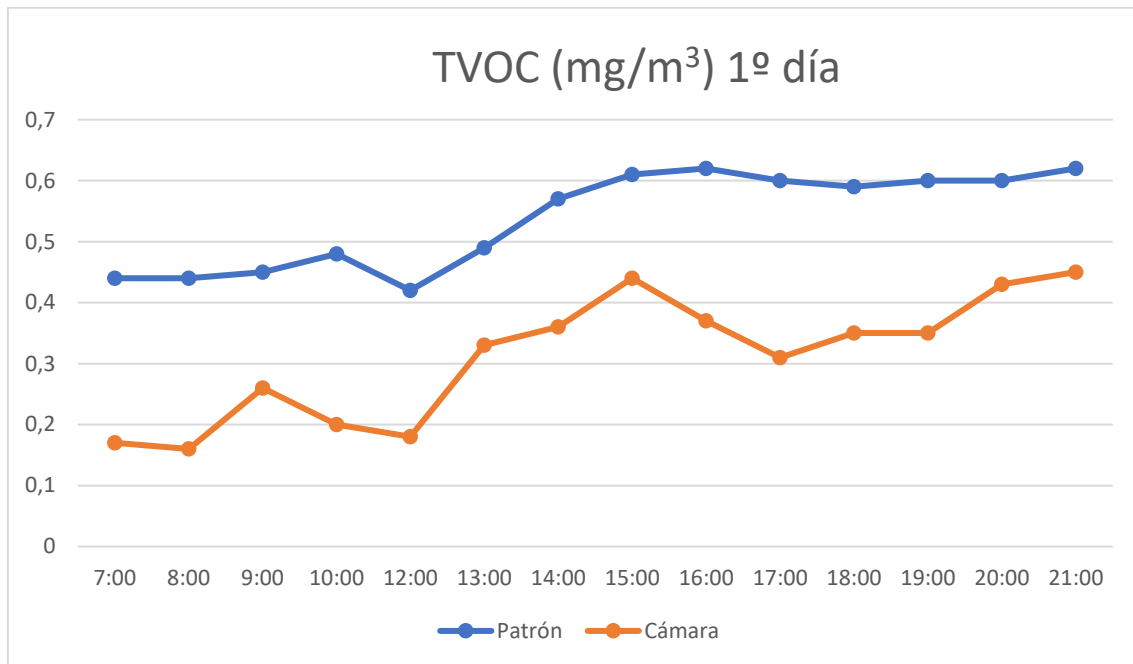


Gráfica 5.17: Diferencias formaldehído durante el día del primer ensayo.

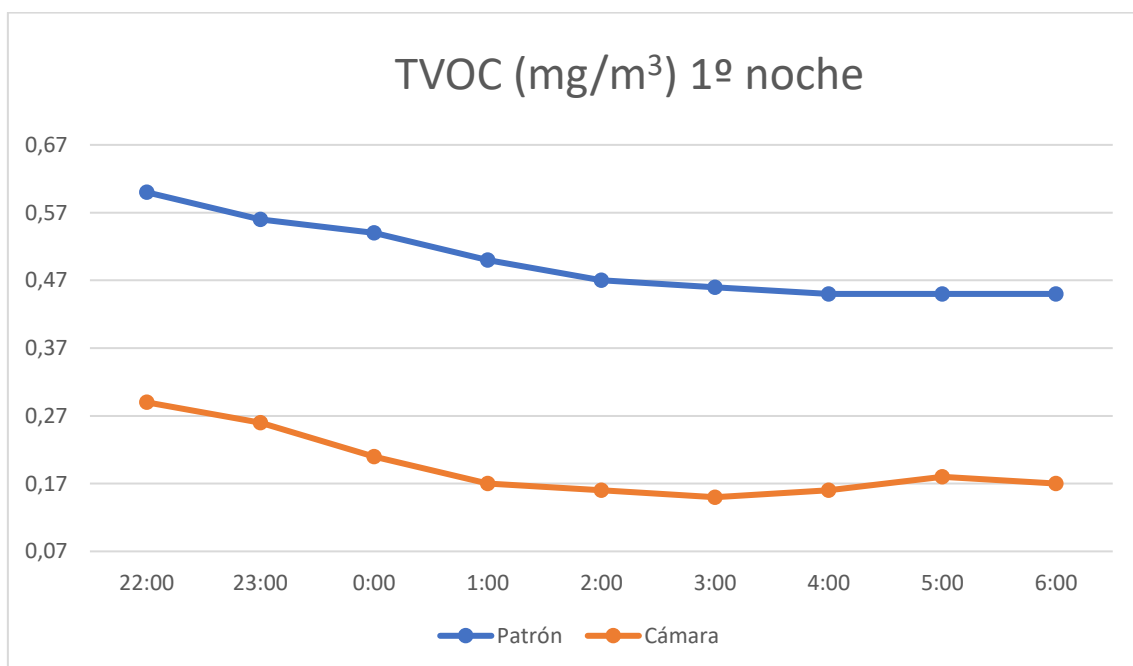


Gráfica 5.18: Diferencias formaldehído durante la noche del primer ensayo.

En estas gráficas comparativas se observa lo que ya se vio antes, no hay diferencias apreciables entre noche y día, y en la cámara hay prácticamente cero de formaldehído mientras que en el patrón se observa grandes cantidades de formaldehído.



Gráfica 5.19: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del primer ensayo.



Gráfica 5.20: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del primer ensayo.

En estas gráficas comparativas se observa lo citado anteriormente, en el patrón hay mayor cantidad de compuestos orgánicos volátiles que en la cámara y que durante la noche hay menor cantidad en la cámara (valores más pequeños que durante el día) debido a que las plantas los eliminan.

- 2º Ensayo:

2º Día								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
7:00	461	8	0.030	0.660	514	15	0.002	0.350
8:00	465	8	0.030	0.660	519	13	0.002	0.390
9:00	470	8	0.030	0.670	522	14	0.001	0.450
10:00	472	9	0.030	0.680	524	15	0.003	0.410
11:00	490	8	0.030	0.690	529	13	0.002	0.400
13:00	664	8	0.020	0.440	1089	13	0.001	0.150
14:00	640	7	0.030	0.490	923	14	0.002	0.210
15:00	663	7	0.030	0.540	808	14	0.002	0.310
16:00	606	7	0.030	0.590	726	13	0.004	0.390
17:00	644	7	0.040	0.620	673	15	0.002	0.420
18:00	634	7	0.040	0.650	653	15	0.003	0.470
19:00	603	7	0.040	0.670	634	14	0.002	0.490
20:00	631	7	0.040	0.690	624	13	0.005	0.510
21:00	542	7	0.040	0.700	615	14	0.008	0.510
Media	570	8	0.033	0.625	668	14	0.003	0.390

Tabla 5.9: Datos y medias del día del segundo ensayo.

2º Noche								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
22:00	502	7	0.040	0.710	595	14	0.010	0.420
23:00	465	8	0.030	0.700	574	13	0.010	0.400
00:00	459	8	0.030	0.700	553	13	0.007	0.380
1:00	452	8	0.030	0.690	537	13	0.010	0.340
2:00	449	7	0.030	0.680	527	13	0.006	0.350
3:00	446	7	0.030	0.670	521	14	0.004	0.350
4:00	443	7	0.030	0.670	516	13	0.003	0.330
5:00	454	7	0.030	0.660	514	14	0.001	0.300
6:00	463	8	0.030	0.660	515	14	0.001	0.330
Media	459	7	0.031	0.682	539	13	0.006	0.356

Tabla 5.10: Datos y medias de la noche del segundo ensayo.

Al observar las medias de las medidas, se observa también en este ensayo que, en la cámara, como ya se dijo antes, hay mayor cantidad de dióxido de carbono y que durante la noche este disminuye. La media de partículas en suspensión es

un poco mejor de noche que de día y que en la cámara como ya se dijo hay mayor cantidad, el doble. La media de formaldehído es prácticamente igual en el día que en la noche en el patrón y en la cámara de este ensayo se observa que durante la noche hay mayor cantidad que respecto al día, y se observa lo que ya se observó antes, en la cámara hay mucha menos cantidad de formaldehído. Los compuestos orgánicos volátiles en este ensayo no parecen mostrar mejoría en la noche respecto al día, prácticamente miden lo mismo de día que de noche, y como ya se observó en la cámara hay mucha menos cantidad.

- Cálculo de los miligramos eliminados de HCHO y TVOC:

HCHO eliminado durante el día = $(0.033 - 0.003) * (0.37 - 0.049) = 0.009$ mg

HCHO eliminado durante la noche = $(0.031 - 0.006) * (0.37 - 0.049) = 0.008$ mg

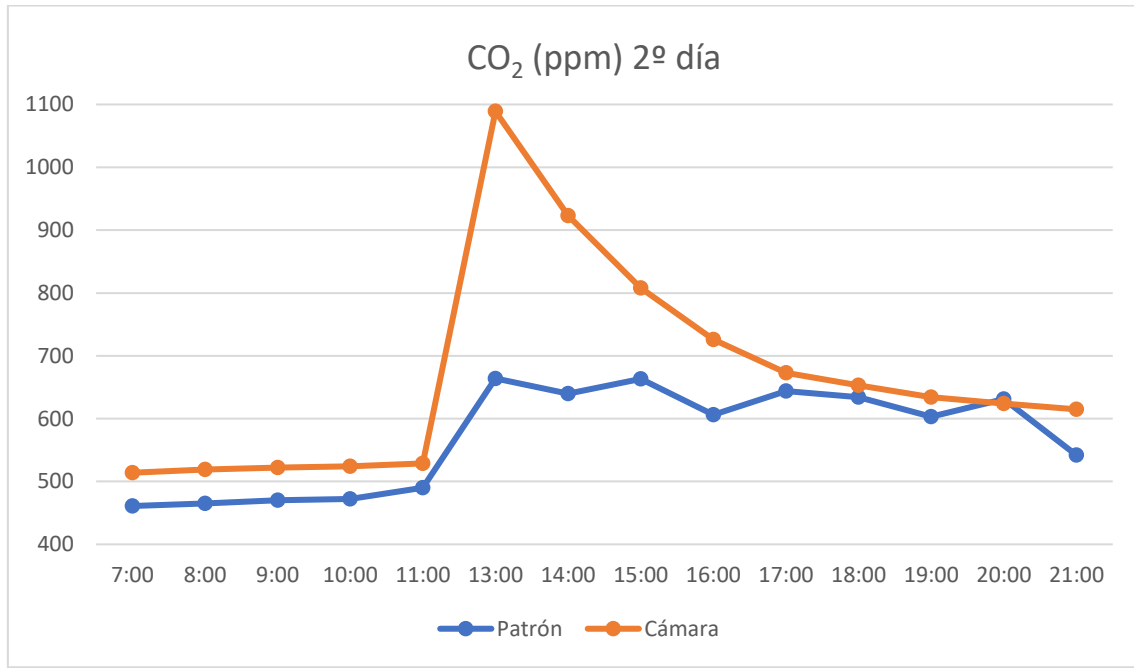
Se observa que ocurre como en el primer ensayo, prácticamente se elimina la misma cantidad tanto de día como de noche, pero hay una leve mayor eliminación durante el día.

TVOC eliminado durante el día = $(0.625 - 0.390) * (0.37 - 0.049) = 0.075$ mg

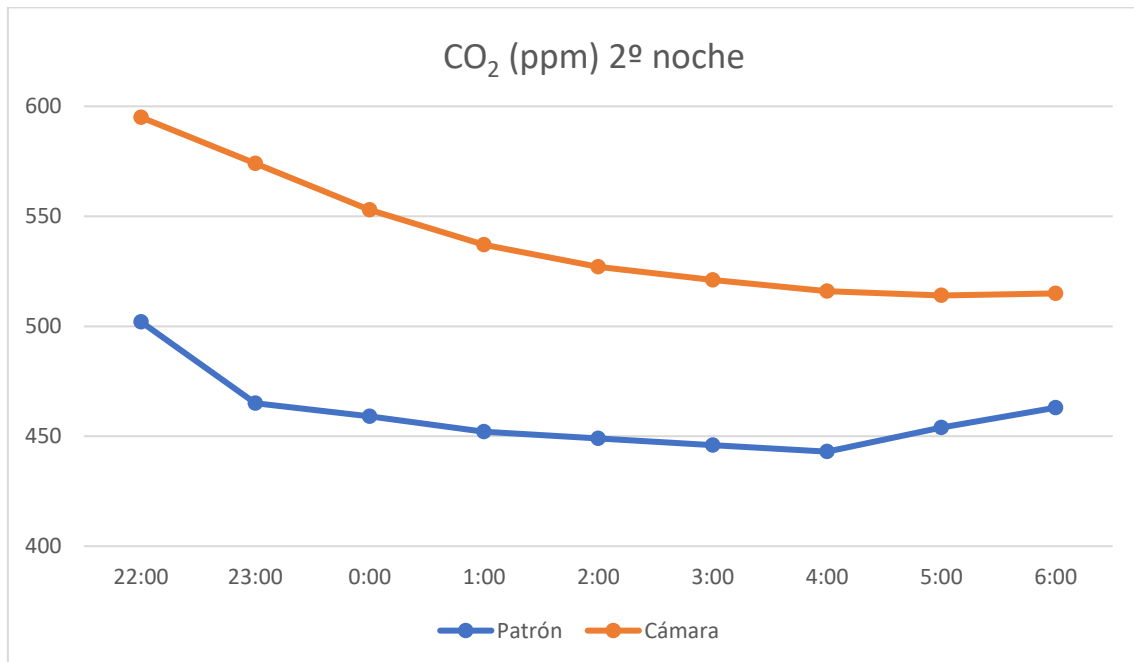
TVOC eliminado durante la noche = $(0.682 - 0.356) * (0.37 - 0.049) = 0.105$ mg

Como ya se observó en el primer ensayo, durante la noche se eliminan mucho más compuestos orgánicos volátiles que durante el día.

- Gráficas comparativas día y noche del segundo ensayo:



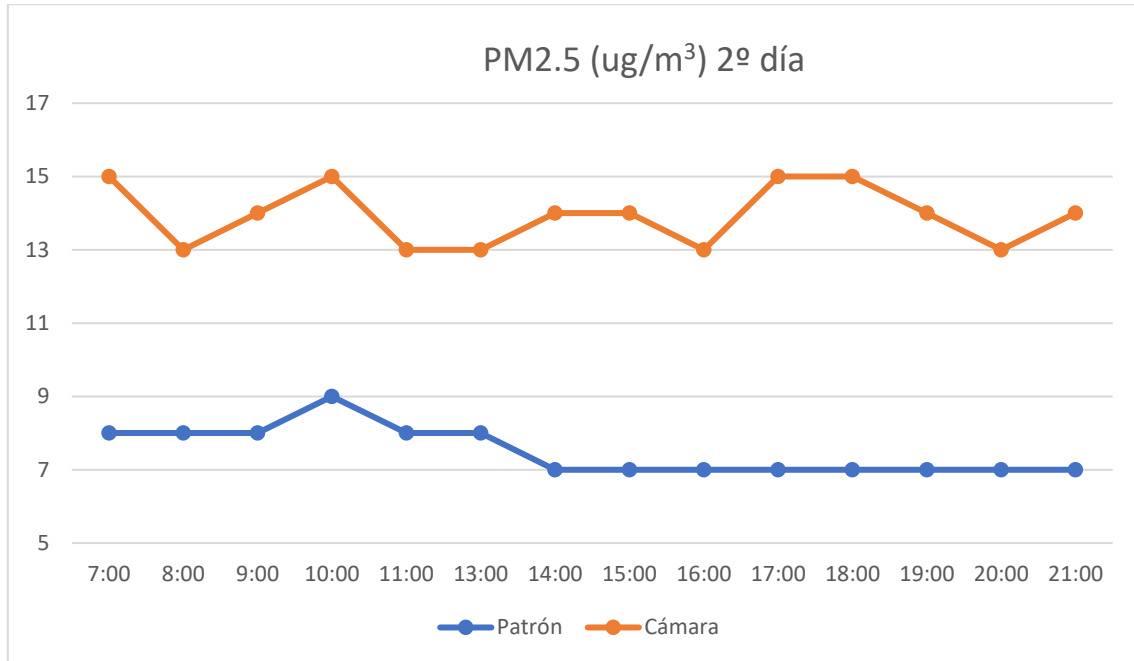
Gráfica 5.21: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del segundo ensayo.



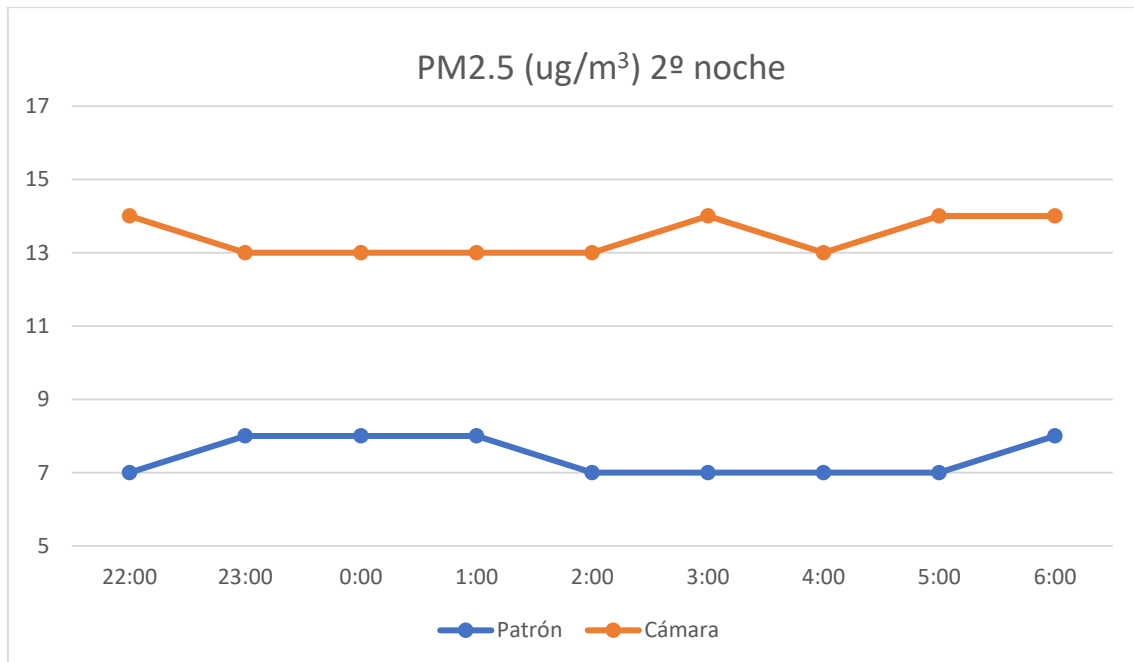
Gráfica 5.22: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del segundo ensayo.

Como se venía diciendo y como se confirma en estas gráficas, en la cámara hay más dióxido de carbono y durante la noche se reduce el dióxido de carbono.

En la noche los valores en la cámara son cuando son más próximos a los valores del patrón, aun así, no llega a igualarlos.

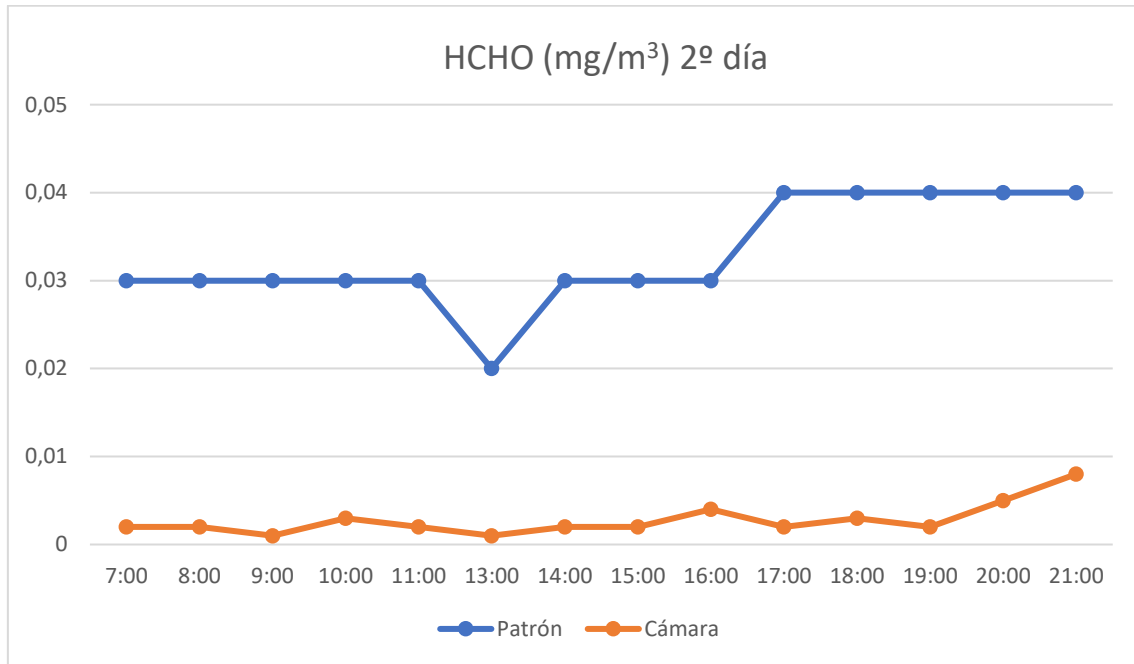


Gráfica 5.23: Diferencias de partículas de materia durante el día del segundo ensayo.

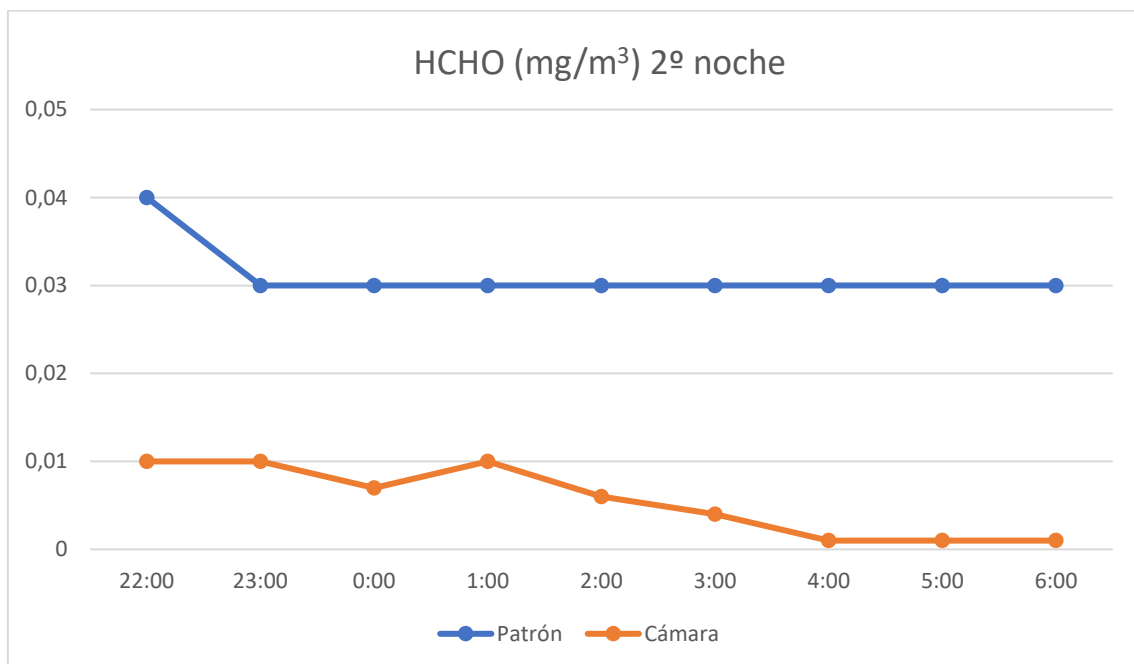


Gráfica 5.24: Diferencias de partículas de materia durante la noche del segundo ensayo.

Al igual que se observó en el primer ensayo, en este se ve como al comparar ambas gráficas se observa que en la cámara hay mayor cantidad de partículas y que en la noche los valores son iguales, no importa si es día o noche, se obtienen las mismas medidas y se obtiene que hay más en la cámara.

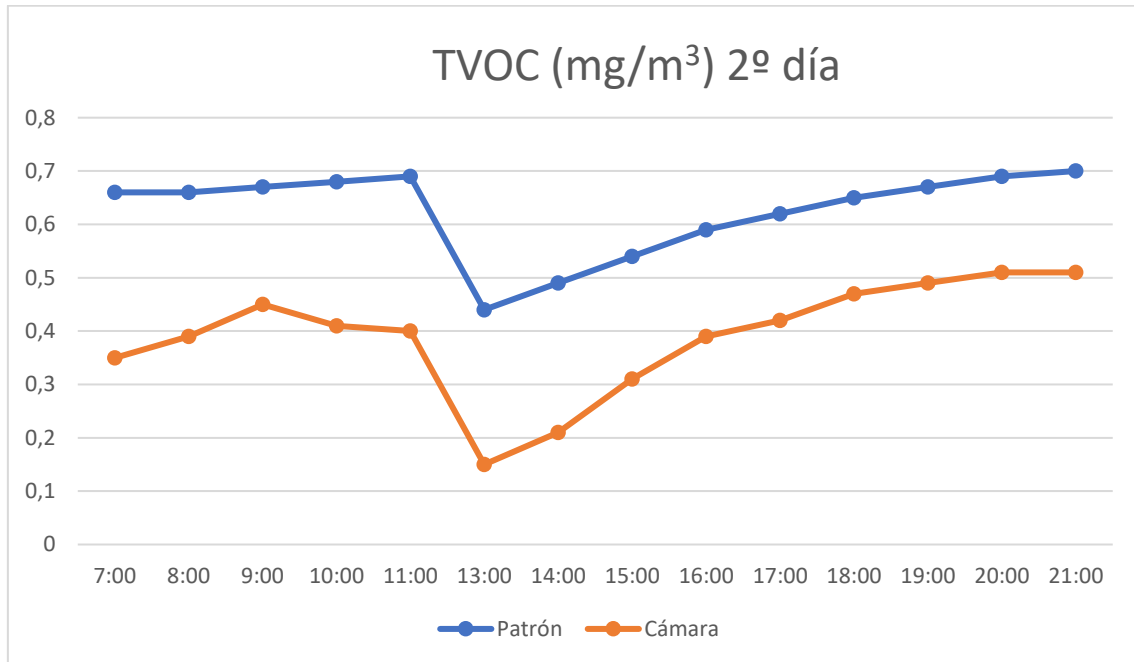


Gráfica 5.25: Diferencias formaldehído durante el día del segundo ensayo.

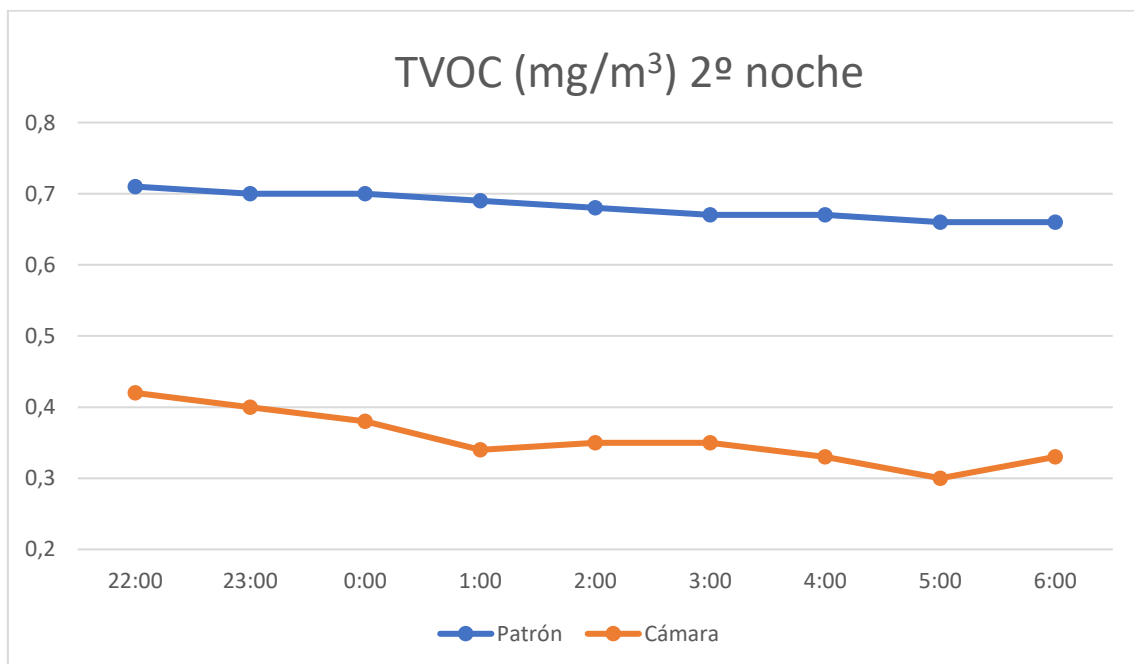


Gráfica 5.26: Diferencias formaldehído durante la noche del segundo ensayo.

Al comparar estas dos gráficas se observa lo ya comprobado, en la cámara hay menor cantidad de formaldehído con respecto al patrón, pero en este ensayo además se observa que durante la noche en la cámara hay mayor cantidad de formaldehído con respecto al día.



Gráfica 5.27: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del segundo ensayo.



Gráfica 5.28: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del segundo ensayo.

En estas gráficas se observa algo que ya comprobamos, hay menos cantidad de compuestos orgánicos volátiles en la cámara y que durante la noche mientras en el patrón hay valores constantes, en la cámara se reduce, esto indica que durante la noche hay una mejoría con respecto al día, se observa que los valores del día son mayores que en la noche.

- 3º Ensayo:

3º Día								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
7:00	997	7	0.070	0.540	1098	13	0.003	0.100
8:00	1012	7	0.070	0.540	1123	14	0.001	0.090
9:00	1096	6	0.070	0.550	1143	14	0.001	0.100
10:00	1167	7	0.070	0.560	1215	14	0.001	0.110
11:00	1005	7	0.070	0.560	1165	14	0.002	0.170
13:00	743	7	0.060	0.500	838	15	0.005	0.390
14:00	817	6	0.060	0.530	864	14	0.004	0.370
15:00	875	6	0.060	0.540	926	14	0.001	0.340
16:00	917	7	0.060	0.540	1003	14	0.002	0.270
17:00	957	7	0.060	0.540	1144	15	0.001	0.210
18:00	999	6	0.060	0.530	1097	14	0.001	0.170
19:00	1043	6	0.060	0.530	1140	14	0.001	0.140
20:00	1096	6	0.060	0.520	1217	15	0.002	0.150
21:00	1145	7	0.060	0.530	1223	14	0.003	0.160
Media	991	7	0.064	0.536	1085	14	0.002	0.198

Tabla 5.11: Datos y medias del día del tercer ensayo.

3º Noche								
Horas	Patrón				Cámara			
	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	PM2.5 (ug/m ³)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
22:00	1180	6	0.060	0.540	1236	13	0.001	0.160
23:00	1100	6	0.060	0.540	1196	14	0.001	0.170
00:00	1053	6	0.060	0.540	1126	14	0.001	0.160
1:00	1102	6	0.070	0.540	1149	13	0.001	0.150
2:00	1036	6	0.070	0.540	1096	14	0.002	0.140
3:00	995	6	0.070	0.540	1012	14	0.001	0.120
4:00	986	7	0.070	0.540	1006	14	0.002	0.120
5:00	1002	7	0.070	0.540	1096	14	0.001	0.120
6:00	975	6	0.070	0.540	1023	13	0.001	0.120
Media	1048	6	0.067	0.540	1104	14	0.001	0.140

Tabla 5.12: Datos y medias de la noche del tercer ensayo.

Al observar las medias de las medidas, se observa también en este ensayo al igual que en los anteriores, en la cámara hay mayor cantidad de dióxido de

carbono, pero ahora su media es muy parecida a la del patrón y que durante la noche en este caso aumenta un poco. La media de partículas en suspensión es igual de noche que de día y que en la cámara al igual que en los otros ensayos hay mayor cantidad, el doble. La media de formaldehído es prácticamente igual en el día que en la noche en el patrón y en la cámara de formaldehído, es decir, no se observan diferencias entre día y noche; lo que si se observa es que en la cámara como ya se sabe hay mucha menos cantidad, prácticamente se mide cero. Los compuestos orgánicos volátiles en este ensayo vuelven a mostrar mejoría en la noche respecto al día, prácticamente miden lo mismo de día que de noche, y como ya se sabe en la cámara hay mucha menos cantidad.

- Cálculo de los miligramos eliminados de HCHO y TVOC:

HCHO eliminado durante el día = $(0.064 - 0.002) * (0.37 - 0.049) = 0.020$ mg

HCHO eliminado durante la noche = $(0.067 - 0.001) * (0.37 - 0.049) = 0.021$ mg

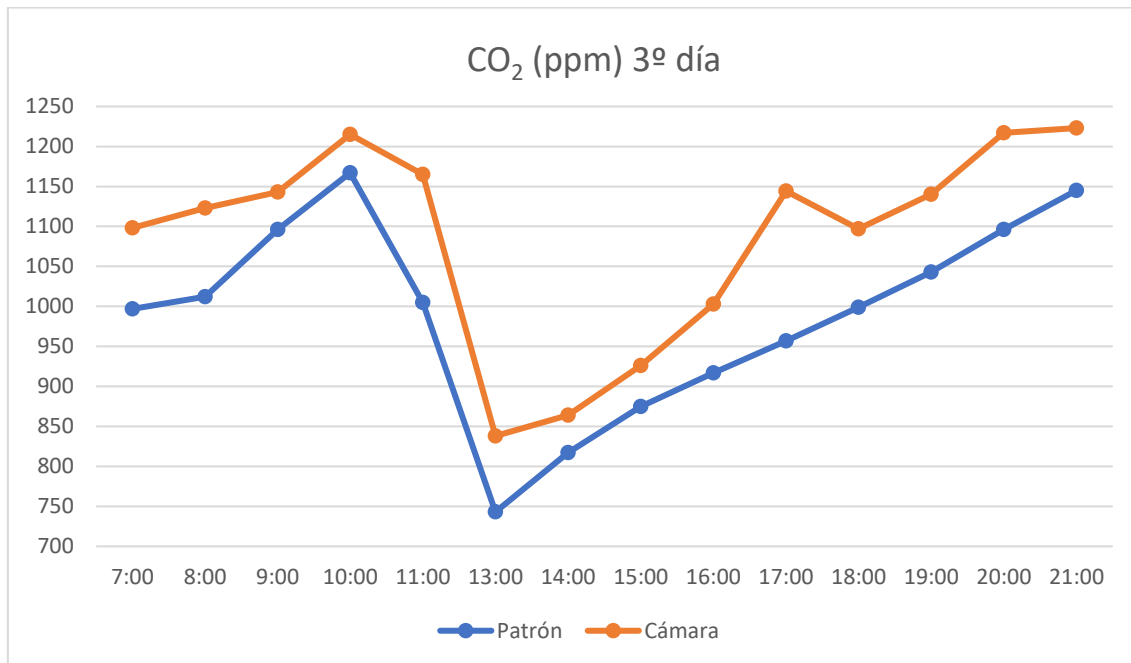
Se observa que ocurre como lo mismo que en los anteriores ensayos, prácticamente se elimina la misma cantidad tanto de día como de noche, pero hay una leve mayor eliminación durante la noche.

TVOC eliminado durante el día = $(0.536 - 0.198) * (0.37 - 0.049) = 0.108$ mg

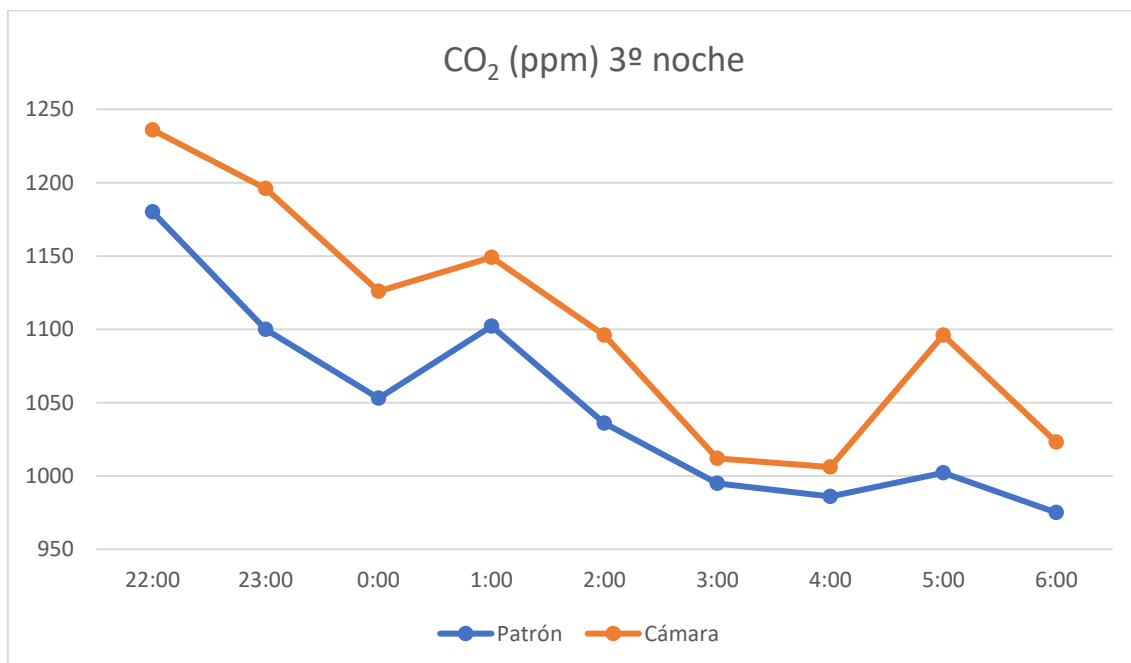
TVOC eliminado durante la noche = $(0.540 - 0.140) * (0.37 - 0.049) = 0.128$ mg

Como ya se observó en los otros ensayos, durante la noche se eliminan mucho más compuestos orgánicos volátiles que durante el día.

- Gráficas comparativas día y noche del tercer ensayo:

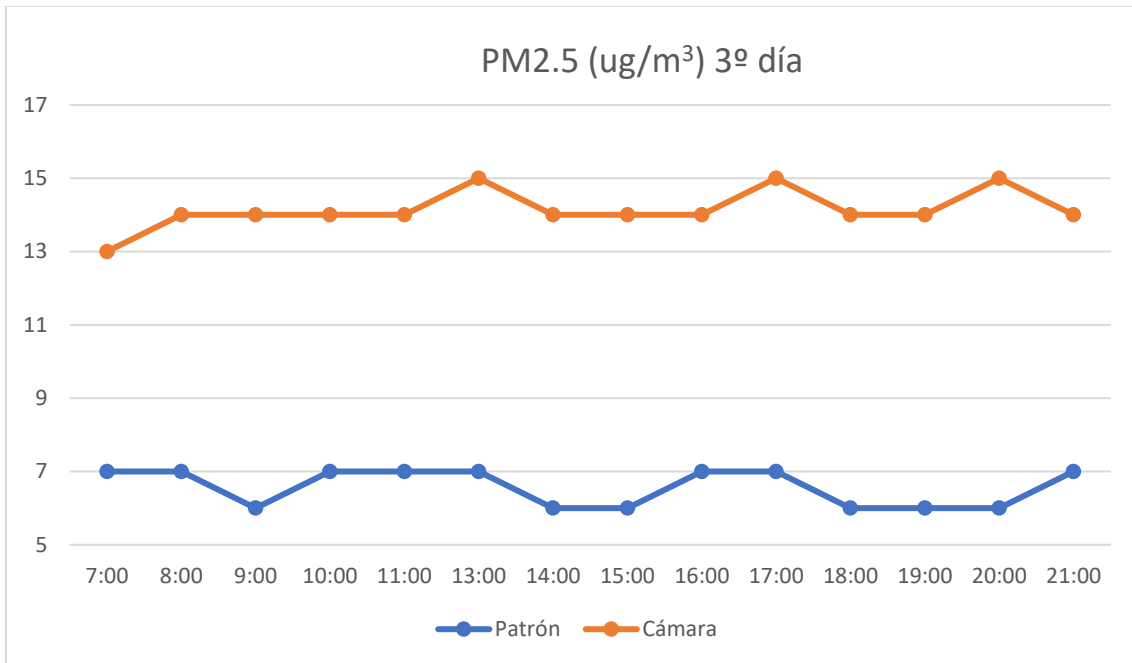


Gráfica 5.29: Diferencias de dióxido de carbono durante el día del tercer ensayo.

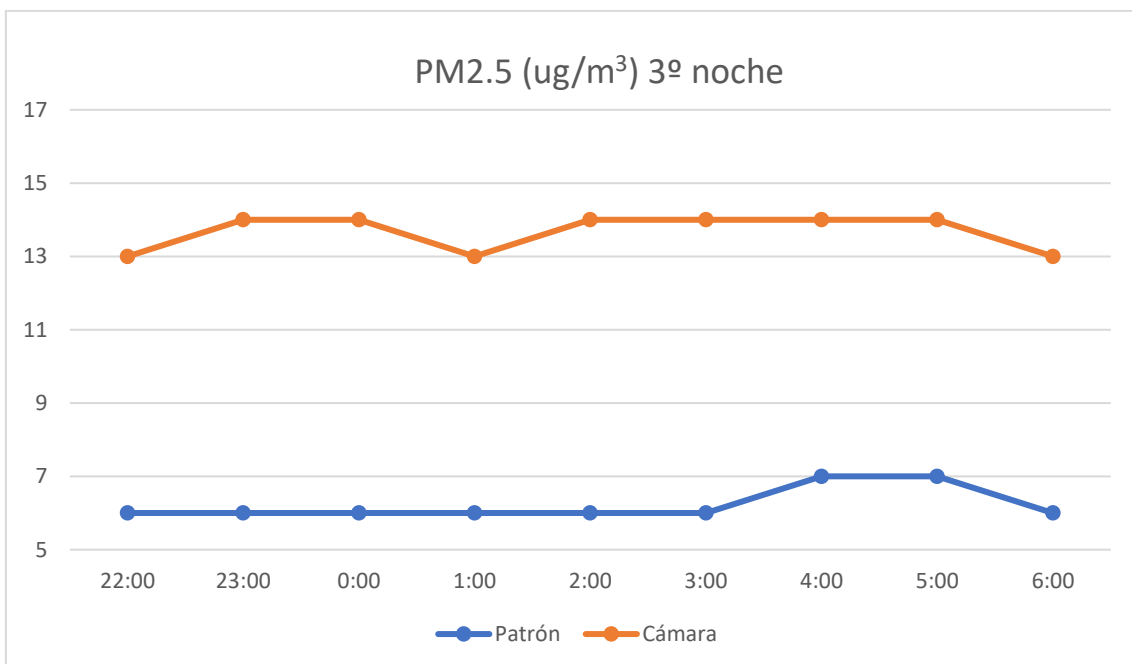


Gráfica 5.30: Diferencias de dióxido de carbono durante la noche del tercer ensayo.

Como se observa en estas gráficas, se vuelve a observar la mejoría en la noche, los valores disminuyen durante la noche y como ya se sabe, en la cámara los valores de dióxido de carbono son más altos.

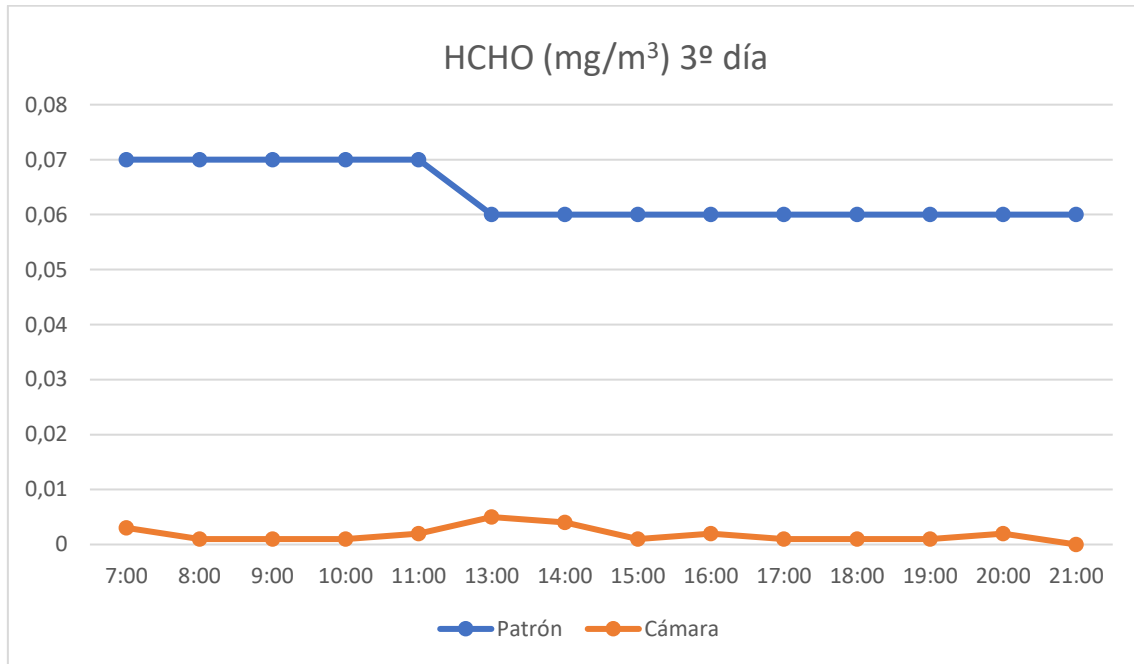


Gráfica 5.31: Diferencias de partículas de materia durante el día del tercer ensayo.

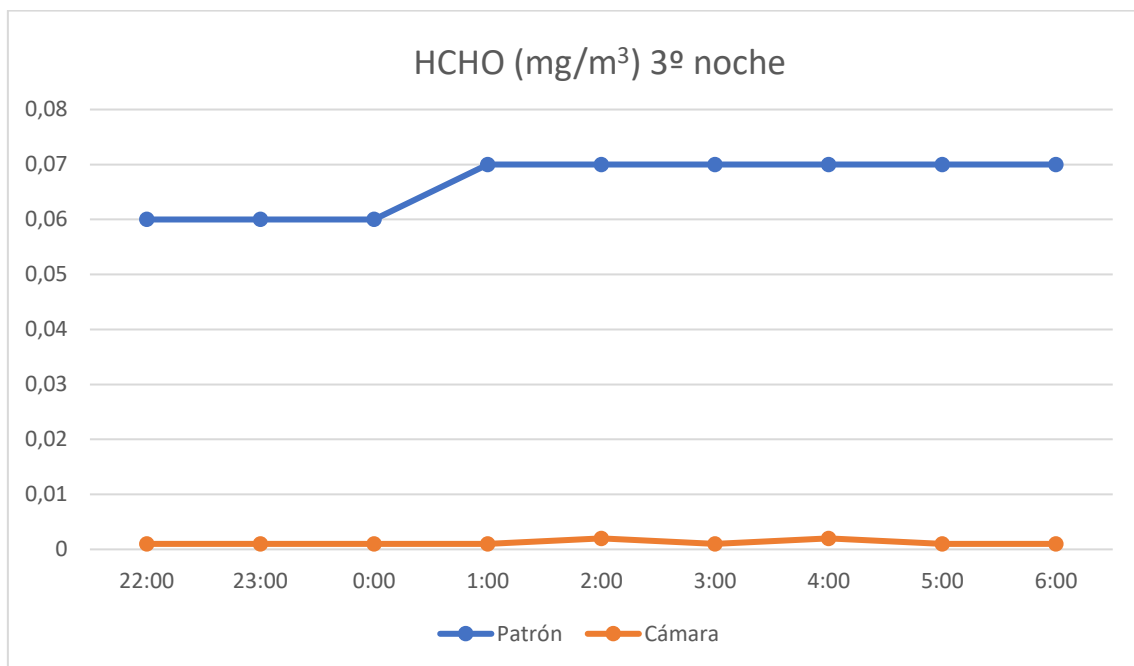


Gráfica 5.32: Diferencias de partículas de materia durante la noche del tercer ensayo.

Al igual que se observó en los otros ensayos, en este se ve como al comparar ambas gráficas se observa que en la cámara hay mayor cantidad de partículas, no importa si es día o noche, se obtienen las mismas medidas y se vuelve a observar que la cámara hay más partículas.

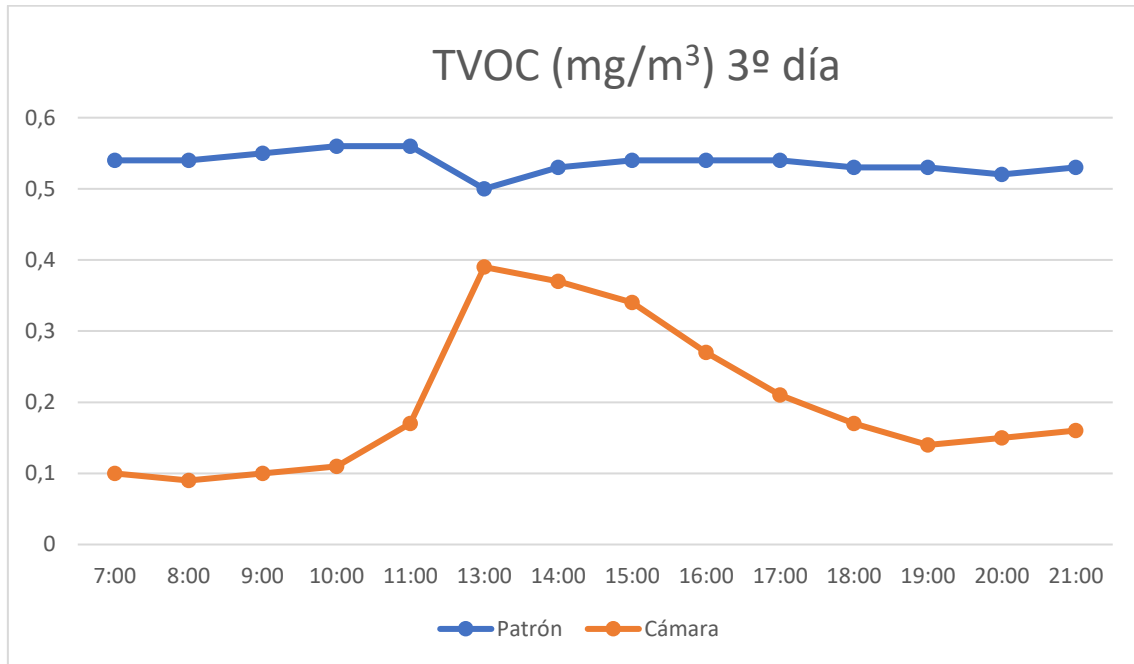


Gráfica 5.33: Diferencias formaldehído durante el día del tercer ensayo.

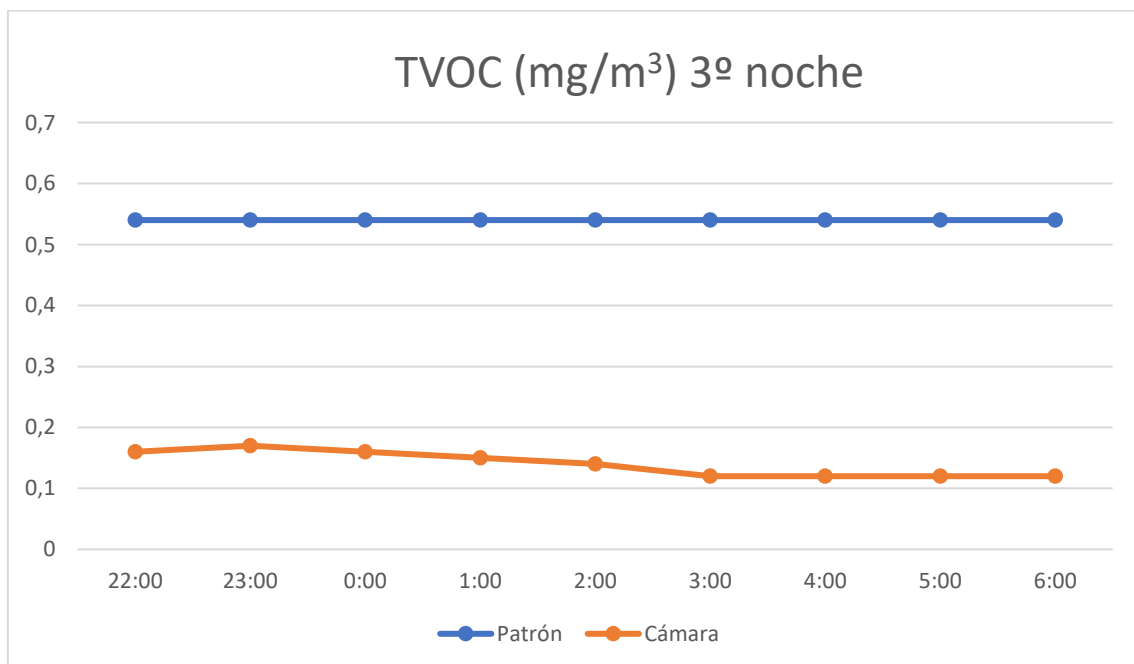


Gráfica 5.34: Diferencias formaldehído durante la noche del tercer ensayo.

Al comparar estas dos gráficas se observa lo ya comprobado, en la cámara hay menor cantidad de formaldehído con respecto al patrón. Y comparando día y noche se observa que no hay diferencias notorias. El formaldehído es constante durante día y noche.



Gráfica 5.35: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante el día del tercer ensayo.



Gráfica 5.36: Diferencias compuestos orgánicos volátiles durante la noche del tercer ensayo.



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



47

En estas gráficas se observa algo que ya comprobamos, hay menos cantidad de compuestos orgánicos volátiles en la cámara y que durante la noche en la cámara es cuando más se reduce los valores de compuestos. En el patrón hay una medida constante y en la cámara esta se reduce llegando disminuir más durante la noche que en el día.

6. CONCLUSIONES

La conclusión más importante es la que se obtiene en el ensayo de verificación, tal y como se ven en los resultados y en las discusiones, hay repetitividad en las medidas, no en los valores exactos ya que estos dependen del aire inicial introducido, sino en las tendencias de las gráficas. La sansevieria, planta de este ensayo, mejora notablemente la calidad del aire eliminando los compuestos dañinos (HCHO y TVOC) y dando oxígeno a la noche. Es cierto que no da tanto oxígeno (reduce el dióxido de carbono) como para mejorar las medidas del patrón, pero en la noche se reducen las medidas de la cámara lo cual indica que mejora la calidad del aire. En las partículas se obtiene que hay más en la cámara, pero como ya se citó antes, se debe a la tierra donde están plantadas las plantas. Pero no hay dudas que, viendo los resultados, se llega a la conclusión de que la sansevieria (planta ensayada) mejora la calidad del aire.

Otra conclusión importante es cuando se ha observado las diferencias de día y noche, se han observado que en el formaldehído apenas hay diferencias entre estos dos tramos horarios, pero que en los compuestos orgánicos volátiles si las hay, en la noche se elimina mucha mayor cantidad. Se ha medido la cantidad de miligramos de media que elimina y se observa que la sansevieria elimina grandes cantidades de formaldehído y de compuestos orgánicos, esto indica una notable mejoría en la calidad del aire. También hay que remarcar como ya se dijo, que se han omitido las primeras medidas para que así pudiéramos medir en un ambiente ya controlado y estable, las primeras medidas al ser las del inicio del ensayo, podrían generar errores en la media.

Estas conclusiones verifican que los estudios sobre esta planta y el saber popular de nuestras personas mayores es cierto. Debería de usarse esta planta en los dormitorios de las personas para así poder beneficiarse de las mejoras de la noche que hemos comprobado y tener una calidad mejor de vida y una mejor salud ambiental.

Otro aspecto interesante que destacar es que el uso de sensores dotados de wifi es mejor para un seguimiento continuado y ver la actuación durante la noche.

Por otro lado, hay que destacar también que en este estudio es que aún no disponemos de sensores capaces de medir todos los compuestos como por ejemplo los óxidos de nitrógeno ni de medir los óxidos de azufre. Pero esto se solucionaría para futuros estudios, de forma que en posteriores ensayos se puedan medir estas variables y como las plantas actúan sobre ellas, y que el desarrollo de esta cámara atmosférica se puede usar en el futuro para el estudio de la actuación de otras plantas, así como para el estudio de cualquier tipo de organismo o material que precise del desarrollo de una atmósfera propia o como actúa modifica la calidad del aire. Pues su desarrollo ha sido para estudios y



Universidad de Sevilla.
Escuela Politécnica Superior.



49

ensayos en un ambiente aislado y de forma que se pueda comparar datos con el patrón.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M.B. (2021). *Plantas que producen oxígeno por la noche*. Recuperado el 27 de mayo 2022, de <https://www.ecologiaverde.com/plantas-que-producen-oxigeno-por-la-noche-3323.html>
- Ciese, M., Bauer-Doranth, U., Langebartels, C., & Sandermann, H. (1994). Detoxification of Formaldehyde by the Spider Plant (*Chlorophytum comosum* 1.) and by Soybean (*Glycine max* 1.) Cell-Suspension Cultures'. In *Plant Physiol* (Vol. 1). www.plantphysiol.org
- Fernández Rivas, L. (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]. Idus. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/48627/>
- Funes, A. (2021). *9 Plantas para purificar el aire de tu casa (según la NASA)*. Recuperado el 27 de mayo 2022, de https://www.elespanol.com/como/plantas-purificar-aire-casa-nasa/498700773_0.amp.html?reader_id=amp-yW37YUvFJd7uHFr7zKoS_w#comments_highlights_count
- Guzmán, R. M. P., Morales, R. C. M., Otañez, C. E. D., & Dolores, F. G. (2020). Intoxicación y muerte por inhalación de tolueno. *Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud*, 5 (1).
- Khan, H. A. (2007). Benzene's toxicity: A consolidated short review of human and animal studies. In *Human and Experimental Toxicology* (Vol. 26, Issue 9, pp. 677–685). <https://doi.org/10.1177/0960327107083974>
- Langman, J. M. (1994). Xylene: Its toxicity, measurement of exposure levels, absorption, metabolism and clearance. *Pathology*, 26(3), 301–309. <https://doi.org/10.1080/00313029400169711>
- Llorente, L. (2022). *10 Plantas de interior que purifican el aire del hogar*. Recuperado el 27 de mayo 2022, de <https://www.micasarevista.com/plantas-flores/g32659178/plantas-interior-purificadoras-aire/>
- Loomis T. A. (1979). Formaldehyde toxicity. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 103(7), 321–324.
- Montero, J. M. S. (2007). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.
- Noguer, M. (2022). *16 Plantas que purifican tu casa*. Recuperado el 27 de mayo 2022, de https://www.elmueble.com/ideas/deco/terapia/plantas-que-purifican_5908

- PRTR-España (2007). SOX (ÓXIDOS DE AZUFRE). Recuperado el 11 de mayo 2022, de <https://prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html>
- Sanz, P., Prat, A., Reig, R., Borrás, L., & Corbella, J. (1988). Intoxicación por tricloroetileno. Presentación de tres casos y revisión de la literatura. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 204-207.
- Sriprapat, W., Boraphech, P., & Thiravetyan, P. (2014). Factors affecting xylene-contaminated air removal by the ornamental plant *Zamioculcas zamiifolia*. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2603–2610. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2175-y>
- 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>
- Téllez, J. I., & Rodríguez Álvaro Fajardo III I Médico M Sc Toxicología Especialista Salud Ocupacional Especialista Farmacodependencia, A. I. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental Ensayo/Essay. In *Rev. salud pública* (Vol. 8, Issue 1).
- Ullah, H., Treesubuntorn, C., & Thiravetyan, P. (2021). Enhancing mixed toluene and formaldehyde pollutant removal by *Zamioculcas zamiifolia* combined with *Sansevieria trifasciata* and its CO₂ emission. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 538–546. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10342-w>
- Xie, W., You, J., Zhi, C., & Li, L. (2021). The toxicity of ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) to vascular endothelial cells. *Journal of applied toxicology: JAT*, 41(5), 713–723. <https://doi.org/10.1002/jat.4138>

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL APARATO DE MEDIDA

Se va a indagar más en el aparatado de medida dotado de numerosos sensores. Algunas de sus características ya fueron citadas anteriormente, pero es conveniente repetirlas, ya que es lo que hace único a este dispositivo. Toda esta información está disponible en el manual de instrucciones.

Marca del dispositivo: Purline Airtester Plus WiFi.

Características:

1. Detección de HCHO (formaldehído).
2. Detección de TVOC.
3. Detección de polvo PM2.5/PM1.0/PM10.
4. Detección de CO₂.
5. Detección de temperatura.
6. Detección de humedad.
7. Batería de litio de gran capacidad integrada, carga USB.
8. Visualización de la hora.
9. Compatible con conexión WiFi al teléfono móvil o portátil (por la aplicación TUYA).

Especificaciones del producto:

- Método de visualización: Pantalla LCD TFT, 480x270 pixeles.
- Presión atmosférica: 86 kPa – 106 kPa.
- Método de detección para PM: dispersión láser.
- Tiempo de muestreo: 1,5 segundos.
- Tamaño del producto: 145x78x97,2 mm.
- Temperatura de detección: 0°C a 50°C.
- Humedad relativa: 20% - 85%.
- Temperatura de almacenamiento: -10°C a 60°C.
- Unidad de concentración para PM: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Unidad de concentración para HCHO y TVOC: mg/m^3 .
- Fuente de alimentación: batería de litio con capacidad de 3000 mAh.
- Carga de energía de 5V CC a través del puerto micro USB.
- Peso del producto: 225 g.
- Rango de datos de detección: PM2.5 (0-999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO₂ (400-5000 ppm), HCHO (0.001-1.999 mg/m^3) y TVOC (0.001-9.999 mg/m^3).
- Admite conexión WiFi.

Como conectarse a la aplicación para ver las medidas a distancia y de diferentes horas y fechas:

1. Hay que descargarse la aplicación Tuya Smart o Smart Life.
2. Registrarse en la aplicación.
3. Tener el mismo WiFi en el móvil como en el dispositivo y este ha de ser de 2.4 GHz.
4. Con el dispositivo recién encendido, ir a la aplicación y darle a agregar nuevo dispositivo (Bluetooth activado). En caso de no detectarlo automáticamente, hacerlo manual: Buscar electrodoméstico de medio ambiente y seleccionar "Caja de Aire (Wi-Fi)".
5. Una vez seleccionado, reconocido y agregado el dispositivo ya podemos ver las variables medidas a distancia.

ANEXO II: OTRAS PLANTAS DE INTERÉS

Aquí se va a explicar otro tipo de plantas que no se escogieron para este estudio, pero que en estudios posteriores se podrían usar para ver qué tipo de atmósfera desarrollan.

Aloe vera, esta planta introduce oxígeno de noche, además de que es capaz de eliminar toxinas como el formaldehído y el benceno. Esta es perfecta para el interior pues su cuidado es sencillo, solo necesita estar cerca del sol (tener buena iluminación), mantenerse a 20 grados y su riego es una vez a la semana, no necesita mucha agua.

Cinta, esta planta es la más común en las casas, es una planta vistosa y además es capaz de eliminar toxinas como el monóxido de carbono, xileno, benceno y el formaldehído. Es la planta purificadora tradicional, también introduce oxígeno por la noche, su cuidado es el más sencillo, no hace falta que le del sol directamente, aguanta bien la temperatura y el agua, aunque se aconseja regarlas poca y una vez a la semana.

Geranio, es una planta muy decorativa por sus flores, también es perfecta para purificar el aire, combate las bacterias y el mal olor gracias al aroma de sus hojas. También emite oxígeno por la noche, su cuidado es más delicado, necesita un riego constante, una vez al día y también necesita aireación.

Lavanda, es una planta muy aromática, sus aromas son muy beneficiosos para combatir el insomnio y la ansiedad, es una planta colorida y sus aromas también hacen de insecticida, es una planta perfecta para una habitación. La lavanda no necesita mucho cuidado, solo necesita estar iluminada, con aireación y muy poca cantidad de agua, un riego una vez al mes o pequeñas cantidades una vez a la semana.

Poto, esta planta es capaz de eliminar el formaldehído, el xileno y el benceno. Esta planta necesita ser regada una vez a la semana, por lo cual es una planta muy cómoda para tener en casa pues no necesita excesivos cuidados. Necesita iluminación y su mejor colocación es en ambientes húmedos, como por ejemplo cerca del baño.

Tillandsia, esta planta es capaz de eliminar seis de ocho compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta planta no necesita casi agua para sobrevivir, solo un ambiente húmedo. No necesita excesiva luz por lo cual se puede colocar en cualquier parte de la casa donde llegue luz.

Gerbera, esta planta si genera grandes cantidades de oxígeno por la noche y es capaz de eliminar el benceno y el tricloroetileno. Esta planta se dice que es muy buena para las personas que sufren de apnea del sueño y trastornos respiratorios. Necesita un riego abundante (suelo húmedo), su mejor colocación es el dormitorio cerca de la cama y donde llegue la luz natural.

Crisantemo, esta planta es capaz de filtrar el amoniaco y el benceno, elementos que se encuentran en plásticos, detergentes y pegamentos. Esta planta necesita mucha luz natural y un riego abundante (suelo húmedo). Sus flores son muy decorativas.

Monstera deliciosa, es una planta que se usa para decorar los interiores de las casas, además también genera oxígeno durante la noche y elimina partículas nocivas. Esta planta necesita un riego semanal y estar ubicada en un lugar luminoso, pero sin recibir los rayos de sol, es perfecta para cualquier casa.

Lirio de la paz, esta planta además de generar oxígeno durante la noche también mejora la humedad de cualquier interior de forma natural. Esta planta también se usa mucho para decorar los interiores de las viviendas. Esta planta necesita un riego cada dos o tres días.