

# CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Desarrollo de una fachada verde piloto con corcho como sustrato y/o soporte, aprovechando sus características aislantes y bioabsorbentes

GO SUBER 20180020012480





**Autor Principal:** Maria Verdum Virgos (Fundación Institut Català Suro)

**Otros autores:** Cristina Prades López (Dpto.Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba); Manuel Bejarano Medina (TREVINCA Inversiones Medioambientales); Begoña Abelianas Oar (Dpto.Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba) y Patricia Jové Martín (Fundación Institut Català Suro)

## ÍNDICE MÍNIMO

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Financiación
5. Material y métodos
6. Resultados y discusión
7. Conclusiones
8. Bibliografía

## DESARROLLO DE UNA FACHADA VERDE PILOTO CON CORCHO COMO SUSTRATO Y/O SOPORTE, APROVECHANDO SUS CARACTERÍSTICAS AISLANTES Y BIOABSORBENTES

GO SUBER 20180020012480

### Resumen.

El corcho es la corteza externa del alcornoque, *Quercus suber* L., un árbol de hoja perene y endémico de la cuenca mediterránea. El corcho es un material con una combinación de propiedades que lo hacen único y versátil. Estas propiedades hacen posible el planteamiento del uso de subproductos de corcho, o corcho no taponable como material para sustrato de crecimiento de plantas y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El Grupo Operativo GO Suber (Modernización del descorche para la mejora de la productividad) reúne diferentes agentes relacionados con el sector de la extracción de corcho, propietarios forestales y centros de investigación con objetivo de realizar un proyecto de innovación. El principal objetivo del proyecto es modernizar la tarea de extracción de corcho mediante la mecanización de la saca. Además, se busca valorizar el corcho y sus derivados para mejorar su comercialización, a través de las nuevas aplicaciones tecnológicas y sus nuevos usos (fachadas verdes).

Es, en este sentido, en el que se centra la presente propuesta. En el proyecto GO SUBER, este prototipo es un subproyecto donde se propone un sistema de vegetación vertical de edificio, y se plantea como un estudio comparativo entre: un sistema de gaviones con sustrato o medio filtrante comercial (turba, fibra de coco y perlita) y un sistema de gaviones con sustrato de

granulado de corcho. Durante el proyecto se han monitorizado y estudiado distintos aspectos del sistema vegetal construido: porcentaje de corcho como sustrato, distintas especies vegetales y su crecimiento, parámetros fisicoquímicos y descontaminación (biosorción). Los ensayos de descontaminación se han llevado a cabo estudiando la biosorción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). La utilización de subproducto de corcho para el tratamiento de contaminantes permite solucionar dos problemas: la gestión de la biomasa de corcho no utilizable para tapón y el deterioro de la calidad del agua. Los subproductos del corcho son un buen material como sustrato en cubiertas verdes. No obstante, el porcentaje de corcho que puede ser añadido a las mezclas que permita obtener un desarrollo óptimo de las plantas depende de la especie cultivada. El corcho aporta propiedades aislantes al sistema vegetal vertical, tanto las temperaturas ambientales como las temperaturas superficiales de la columna que contienen corcho presentan valores inferiores si se comparan los valores obtenidos con la columna comercial en la misma época del año. Tras los ensayos de biosorción se puede concluir que tanto los gaviones comerciales estándar como los gaviones con el 50% de mix de corcho presentan un porcentaje medio de 99,98% de eliminación (remoción) de los 16 HAPs analizados.

### Introducción.

El tapón de corcho es el producto de más valor que se extrae del corcho. La producción anual mundial de corcho es de aproximadamente 201 mil toneladas. España es el segundo productor de corcho con 61.504 toneladas anuales, hecho que supone un 30,5% de la producción mundial [1]. A nivel mundial el principal sector objetivo de los productos de corcho es la industria del vino (72% al 2016) seguido por el sector de la construcción (25% en 2016) [2]. La industria corchera elaboradora de tapones genera gran parte de corcho no taponable o subproductos. La importancia de dar una utilidad a parte de este subproducto incentiva la economía del sector corchero y además la diversifica. Estudios como el presente son de gran relevancia para el sector y su futuro. Las iniciativas europeas de activar la economía circular en todos los sectores hacen del corcho un actor muy importante y que juega con gran ventaja respecto a otros materiales, ya que de por sí es un material natural.

Si bien tradicionalmente se ha empleado la vegetación en arquitectura por motivos básicamente estéticos, actualmente se está justificando también su utilización por otros motivos de tipo funcional, económico y ecológico, entre otros. Un claro ejemplo sería su uso para potenciar el ahorro energético, la durabilidad de los materiales de las superficies exteriores, la mejora del clima urbano o bien el soporte de biodiversidad [3]Verdum M, et al. 2020). Fundamentalmente hay dos estrategias de integración de la vegetación en la arquitectura (Asociación Española de Cubiertas Verdes y Ajardinamientos Verticales: ASESCUVE), mediante: cubiertas verdes (techos vegetados o ajardinados horizontales) o fachadas verdes (ajardinados verticales wetland vertical).

Las cubiertas verdes ofrecen diversos beneficios en el ambiente urbano, pero necesitan un aporte de agua diario y esto hace que no sea una solución del todo óptima en climas secos [4]). No obstante, el riego de cubiertas verdes con aguas grises o contaminadas ya se ha estudiado [5]. De este modo las cubiertas verdes se pueden convertir en una solución ambientalmente sostenible, barata y de tratamiento de aguas [6].

Los estudios de otros sistemas de filtración con vegetación, como los biofiltros, han demostrado que los medios desempeñan un papel fundamental, ya que proporcionan el apoyo físico para las plantas y facilitan los procesos primarios de eliminación de contaminantes como sedimentos, fósforo y metales pesados [7]. A diferencia de los biofiltros y humedales

construidos, las cubiertas verdes necesitan una estructura de soporte más ligera que la comúnmente usada en los biofiltros como serían la grava o la arena.

El corcho es un material natural que tiene unas características únicas. Las propiedades de corcho son el resultado de su composición química, su proporción y la distribución de cada uno de sus componentes originando una estructura celular muy particular, descrita por distintos autores como una colmena de abeja. Las células de corcho tienen un 90% de volumen celular ocupado por gas, por lo tanto su densidad presenta valores bajos ( $120-200 \text{ kg m}^{-3}$ ) haciendo del corcho un material elástico y compresible, con una estructura interna marcadamente porosa [8]. Además, la presencia de suberina, lignina y ceras en la pared celular hacen del corcho un material impermeable a los líquidos. Aunque su permeabilidad no es absoluta, ya que permite una difusión lenta de los gases. La elevada cantidad de gas, el bajo poder de adsorción de agua y la medida celular, hacen que el corcho tenga múltiples propiedades. No obstante se podrían destacar tres que podrían ser de gran interés en el campo de los sistemas vegetales verticales: buen aislante térmico y baja transmisión del calor, buen aislante acústico y baja transmisión del sonido y buen biosorbente higroscópico.

Diversos estudios han demostrado el potencial del corcho para adsorber contaminantes emergentes como, hidrocarburos aromáticos policíclicos [9, 10, 11], fenantreno [12], naranja de metilo [13], ofloxacina [14], Biphentrin [15] ibuprofeno, carbamazepino y ácido clofibrico [16], metales pesados [17], pesticidas [18](Jové P. et al 2017).

El presente estudio se centra en la biosorción de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Los HAPs son un importante grupo de contaminantes orgánicos que se encuentran en el aire, el suelo y en los ambientes acuáticos debido a que son componentes muy resistentes a la degradación y se transportan largas distancias a través de la atmósfera [11]. Los HAPs de bajo peso molecular (menos de 4 anillos bencénicos) son compuestos más volátiles, solubles en el agua y menos lipofílicos que los de mayor peso.

La contaminación del agua por HAPs es un problema que va más allá del deterioro de los recursos hídricos debido a sus efectos mutagénicos, carcinogénicos y teratogénicos de algunos de ellos. Por este motivo la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Europea (EU) han declarado 16 HAPs contaminantes prioritarios. La EPA considera que el nivel máximo permitido en el agua potable es de  $0,2 \mu\text{g/L}$ .

El principal objetivo de este estudio es diseñar y construir una cubierta o fachada verde piloto con corcho como sustrato y/o soporte con la finalidad de: (i) comprobar la eficiencia de la gestión del agua, (ii) evaluar su aportación a la mejora del comportamiento energético de los edificios e (iii) incentivar el rendimiento económico y ambiental del sector forestal del corcho mediante el aprovechamiento del subproducto de la misma industria agroalimentaria.

### **Financiación.**

El proyecto GO SUBER (<http://gosuber.es>) forma parte de los proyectos de innovación de interés general por grupos operativos financiados por la Asociación Europea para la innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas (AEI-Agri). Proyecto cofinanciado al 80% por el fondo FEADER con un montante total de ayuda de 531.994,36 €

### **Material y métodos.**

- Sustrato

El sustrato comercial está formado por aproximadamente un 70% de tierra vegetal abonada con fibra de coco y un 30% de arlitas. El sustrato de corcho que se usa es el 50% de una mezcla de subproductos de corcho y 50% del sustrato comercial. La mezcla de subproductos fue de diferentes proporciones: granulado subproducto 3-7 mm, granulado de alta densidad de 0.5-2 mm y polvo de corcho. La combinación de estos subproductos da una densidad teórica aproximada de  $245 \text{ kg/m}^3$  (densidad en condiciones de laboratorio  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 10\%$  humedad).

- Estructura

El prototipo planteado es un sistema modular o de gaviones. El sistema modular comercial que se coge como referencia es un sistema de gaviones bien caracterizado llamado Babylon®. Babylon® es un sistema de gaviones modulares que con un mantenimiento mínimo asegura una larga vida a la pared vegetal. Los gaviones de  $0,5 \times 0,1 \times 0,1 \text{ m}$  están contruidos con malla metálica y una bolsa o malla geotextil que contiene el sustrato. El prototipo consta de dos columnas de 4 gaviones por columna. Una columna contiene los gaviones con sustrato comercial sin ninguna variación y la otra tiene los gaviones con el 50% de mezcla de subproducto de corcho como sustrato. El prototipo consta de una estructura de soporte, una canalización de agua y electricidad para permitir el riego automatizado de los gaviones, un depósito de agua de alimentación de  $1 \text{ m}^3$ , dos bandejas de recogida de muestra de acero inoxidable ( $0,05 \times 1 \times 0,1 \text{ m}$ ), un depósito de recogida de acero inoxidable ( $0,3 \times 1 \times 0,3 \text{ m}$ ) y un sistema independiente de recirculación de agua (figura 1). Las bombas de riego permiten un sistema de gotero estándar de 4L/h.

- Especies vegetales, riego y su evolución

Las especies utilizadas han sido: *Carex sp.*, *Cineraria sp.*, *Lippia nodiflora*, *Rosmarinus prostratus* (romero rastrero), *Salvia officinalis* y *Sedum sediforme* (ver estudio de crecimiento [19]). El seguimiento de la evolución del prototipo se ha realizado de manera visual y ha permitido definir el riego y la supervivencia de las especies vegetales así como replantar o proponer nuevas plantas.

- Sensores

Con el fin de evaluar su aportación a la mejora del comportamiento energético de los edificios y estudiar el valor añadido del corcho se instalaron 3 sensores de la marca Smart Citizen. Los sensores han sido desarrollados por FabLab BCN. Hay un sensor situado en la parte delantera (GO SUBER 1) y dos sensores a la parte posterior (uno detrás de la columna de gaviones estándar "GO SUBER2" y el otro de los gaviones con corcho "GO SUBER3"). Los sensores miden *in situ* los parámetros a tiempo real minuto a minuto: temperatura del aire ( $^\circ\text{C}$ ), humedad relativa (%), ruido ambiental (dB), luz ambiental (lux), presión atmosférica (kPa), equivalente de  $\text{CO}_2$  (ppm), componentes orgánicos volátiles totales (TVOC) y partículas en suspensión (PM10, PM2 y PM1). Además se midió la temperatura superficial con un termómetro de infrarrojos (Smart Sensor Intell Instrument Plus). Los sensores se instalaron en diciembre de 2019. Y el período de muestreo fue desde diciembre a julio de 2020. Se ha registrado datos una o dos veces al día de forma manual. Se muestrearon de 4 a 6 puntos por gavión. Estos puntos escogidos al azar se identificaron con un adhesivo y un número en el prototipo para

mantener y garantizar una medición del mismo punto a lo largo del tiempo. Se han monitorizado estos puntos durante los meses de junio, julio y agosto.



**Figura 1. Soporte y depósitos del prototipo de fachada verde.**

- Estudio de descontaminación: biosorción.

El estudio comparativo de descontaminación se ha llevado a cabo estudiando la biosorción con dieciséis hidrocarburos aromáticos policíclicos (Mix QTM PAH mix de Sigma Aldrich). Para realizar el estudio de descontaminación se han usado cuatro gaviões de (0,5x0,5x0,1m): gavión con sustrato comercial sin plantas, gavión con sustrato comercial y 50% con mezcla de granulados de corcho sin plantas, gavión con sustrato comercial con plantas y gavión con sustrato comercial y 50% con mezcla de granulados de corcho sin plantas. La concentración total de HAP se ha determinado mediante cromatografía de gases con espectrofotometría de masa (GC-MS) y la técnica de micro extracción en fase sólida (SPME), a partir de la adaptación de la metodología descrita por [13, 20]. Se han usado muestras de 20mL de agua. La fibra de SPME (65µm PDMS/DVB) previamente acondicionada se sumerge en las muestras durante 60 minutos a 60°C con agitación. El cromatógrafo de gases usado ha sido un Agilent 6890 N equipado con un automuestreador Gerstel MPS2 y acoplado a un detector de espectrometría de masas Agilent 5973N (figura X). La separación de los compuestos se ha llevado a cabo mediante una columna HP-5MS (30m, 0,25mm, 0,25µm de capa). Se ha seguido el método cromatográfico descrito por Olivella MA, et al 2013. Los HAPs han sido cuantificados por comparación de áreas de los iones monitorizados con relación al patrón interno. La recta de calibración tenía 6 puntos de 0,05 a 5 µg/L (0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1 y 5µg/L) (figura 47) y 0.05µg/L de fenantreno deuterado en todos los viales como patrón interno. La recta de calibración se ha

realizado con el mix comercial QTM PAH mix de Sigma Aldrich que ya contiene los 16 HAPs . El límite de detección es 0,05 µg/L y el límite de cuantificación es 0,1 µg/L para los 16 HAPs.

Se empezaron los ensayos con los gaviones sin plantas para optimizar el sistema de recogida de muestras, minimizar los factores influyentes, ajustar los ciclos de riegos y establecer los rangos de contaminación. El sistema quería ser una réplica lo más exacta posible a la realidad, así que se estableció en caudal a 4L/h (riego de las bombas estándar).

Los primeros ensayos se empezaron contaminando uno de los 3 ciclos de riego con 10µg/L. También se varió el orden haciendo pruebas de: contaminación-riego-riego, riego-contaminación- riego y riego, riego-contaminación. Se estableció el orden contaminación-riego-riego, esperando un mínimo de 1h entre ciclo. Se tomaba muestra del punto C por duplicado cada hora des de que empezaba a caer agua en la bandeja de recogida hasta que dejaba de µg/L caer: 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h hasta 24h). En cada momento de muestro se sacaba la bandeja de pirex se cogían dos muestras de 20mL y se media el volumen total recogido.

- Análisis de los datos

Los datos de medición de los sensores *Smart Citizen* se recogen en la plataforma en línea. Se han tratado con el programa Microsoft Excel y con el fin de estudiar dichos parámetros se comparan los datos recogidos de temperatura, luz y ruido ambiental en un día de invierno, primavera y verano de los tres sensores mediante el programa estadístico R con la *aplicación R comander* para *Windows* para identificar si existen diferencias estadísticas entre sí. Se ha usado el test *Kruskal Wallis* para realizar la comparación múltiple. Los resultados de cromatografía relacionados con los análisis de biosorción se han procesado con el programa *ChemStation* de *Agilent* y se han procesado mediante *Microsoft Excel*.

## Resultados y discusión

- Evolución del prototipo en el tiempo

En julio de 2019 el prototipo se construyó y puso en funcionamiento (figura 2a) en las instalaciones de la Fundación Institut Català del Suro con una orientación al oeste y con sol y sombra. El prototipo consta de dos columnas con 4 gaviones por columna. La columna de la derecha corresponde a gaviones estándar del sistema Babylon® y la columna de la izquierda son los mismos gaviones pero con la mitad del sustrato de un mezcla de corcho. Las especies vegetales plantadas fueron: *Salvia officinalis* y *Lavandula angustifoli*. Tras los primeros días se observó mortalidad de algunos especímenes. Una mortalidad del 10-15% es esperada en estos sistemas debido al estrés por el cambio de condiciones. No obstante, al pasar los días la mortalidad observada fue de alrededor del 50% (figura 2b). Esta tendencia se observaba tanto en los gaviones con sustrato estándar como los gaviones con corcho. Al cabo de unos meses se decidió plantar *Carex* sp. y *Sedum sediforme*, y mantener salvia y lavanda (figura 2c). En marzo de 2020 se añadieron especímenes de *Rosmarinus prostratus* (romero rastrero), *Lippia*

*nodiflora* y *Cineraria* sp. a las plantas de *Carex* sp, *Sedum sediforme* y *Salvia officinales* ya plantadas (figura 2d). El estudio de crecimiento y los motivos técnicos de la selección de las especies vegetales no se muestran en este artículo (García Moreno A. M. et al. 2020).



**Figura 2** Prototipo piloto de pared verde autoportante con gaviones Babylon® con sustrato de corcho. (a) en julio 2019; (b) en septiembre de 2019; (c) en diciembre de 2019 y (d) en abril de 2020, con: *Rosmarinus prostratus*, *Lippia nodiflora*, *Cineraria* sp. *Carex* sp.

El riego se ha ido adecuando a la estacionalidad y a las necesidades hídricas de las plantas, des de un riego máximo de 3 veces al día durante 10min en un caudal de 0,4L/h hasta no regar en períodos más lluviosos.

Las plantas parecen tener una buena adaptación y supervivencia en ambos sustratos y no se aprecian diferencias entre las columnas con la selección de especies a lo largo del tiempo de estudio.

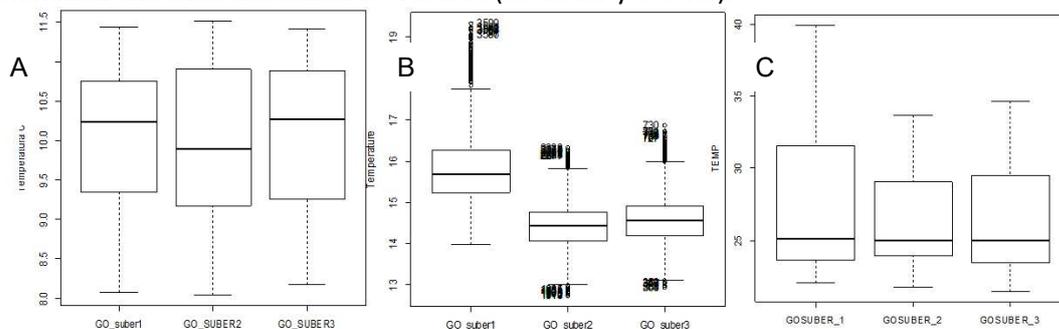
- Comportamiento energético

Las medias de las temperaturas de abril y julio de los sensores traseros registran valores, en general, 1 grado por debajo que el sensor delantero. Las fachadas autoportantes dejan un espacio de centímetros a medio metro entre la pared del edificio y la fachada. En este espacio se crea un ambiente más temperado que en la parte exterior. Este ambiente más templado entre el prototipo de fachada autoportante y el edificio. Esta tendencia se puede observar ligeramente en el estudio. El estudio estadístico muestra diferencias significativas entre todas las interacciones múltiples de los tres sensores en los tres momentos temporales, es decir, el valor de la p es inferior a 0,05: las medianas de los grupos estudiados son estadísticamente diferentes (tabla 1).

**Tabla 1 Comparativas múltiples entre las medianas de la temperatura los tres sensores y comparativas 2 a dos con los tres sensores traseros mediante el test estadístico no paramétrico Kruskal Wallis. N=1140 por sensor y día.**

	Comparativa múltiple de los 3 sensores	Comparativa sensores traseros
	Kruskal-Wallis test	Kruskal-Wallis test
Enero 2020	p-value =0,012	p-value =0,019
Abril 2020	p-value<0.001***	p-value<0.001***
Julio 2020	p-value<0.001**	p-value = 0,101

Si se realizan comparaciones entre los valores registrados por el sensor trasero de la columna estándar y la columna con corcho, se observan diferencias significativas en los períodos de enero y abril (figura 3). No obstante no se observan una clara diferencia de la temperatura ambiental entre los dos sensores traseros (estándar y corcho).

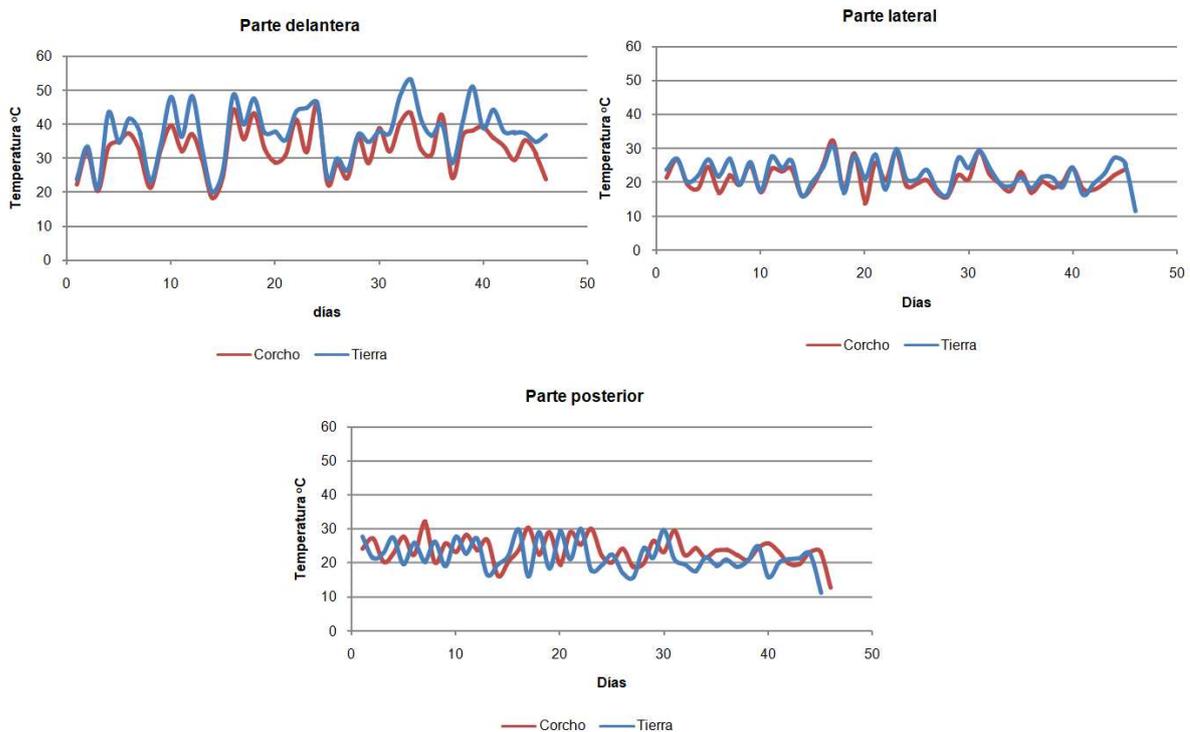


**Figura 3. Diagramas de caja de los tres sensores por la variable temperatura. La línea que se observa en la caja es la mediana. (a) 21 de enero (b) 20 de abril (c) 20 de julio. (GOSUBER1: delante, GOSUBER2: detrás estándar y GOSUBER3: detrás corcho).**

Se ve una tendencia general en que las temperaturas superficiales de los gaviones con corcho son menores que las temperaturas de los gaviones con tierra (figura 4). Es decir, se destaca que se alcanzan temperaturas máximas menores en los gaviones con corcho que en los gaviones con tierra. Las medidas recogidas de los dos grupos muestrales presentan diferencias significativas en cuanto la variable respuesta temperatura superficial. La conductividad térmica del corcho es muy baja referente a otros materiales y este hecho proporciona que su temperatura superficial sea claramente inferior en los meses de verano. En posteriores

estudios se tendría que ver cuál sería el efecto en los meses de invierno porque lo esperable en invierno no es que las temperaturas sean menores sobre el corcho sino mayores.

El punto delantero con valores de temperatura superficial más altos, en el caso del corcho tiene un valor medio de 32,9°C y en cuanto el estándar 37,6°C. Esto supone que el punto más caliente de la columna de los gaviones estándar se encuentra 4,7°C por encima del respectivo punto en la columna con corcho. En cuanto el punto más frío, los gaviones con corcho presentan una media de 1,8°C superior a la media del mismo punto del gavión estándar.



**Figura 4. Evolución mediana de los puntos de registro de la temperatura superficial de los gaviones de corcho y tierra durante los meses de junio, julio y agosto. N= 45.**

No se observa una tendencia tan definida en el caso de los registros de **ruido ambiental**). En general los valores registrados por los sensores traseros registran valores de ruido ambiental menor. También se realizó un ensayo para calcular los porcentajes de eliminación del ruido ambiental. Se pusieron distintos sonidos de distintas frecuencias durante 3 minutos: frecuencia estándar 440Hz, frecuencia aguda 2500Hz y frecuencia graves 250Hz. **El sensor correspondiente a la columna estándar registro valores inferiores dando unos porcentajes de eliminación mayor (18,32%, 20% y 1,26% respectivamente) que las registradas por el sensor de la columna del corcho (20,4%, 21.11% y 4,22% respectivamente).**

- Estudio comparativo de biosorción

Una vez establecida la metodología experimental, los análisis estadísticos revelaban que se tenía descontaminación en ambos sistemas de casi el 100% haciendo imposible de cuantificar los HAPs del agua de salida.

Se decidió duplicar la contaminación a 20 µg/L, hacer tres ciclos de riego y tomar muestra tal y como se ha descrito anteriormente, repetir este procedimiento 3 veces. Y realizar el mismo operativo con los gaviones con plantas. Las áreas de los HAPs del agua de salida eran por debajo de los límites de detección y cuantificación establecidos así que se decidió realizar los cálculos de los porcentajes de eliminación con el área del agua de entrada. Para minimizar el efecto matriz y la afinidad de la fibra de SPME se dividió cada analito por el área del patrón interno de la muestra.

En los gaviones sin plantas pasaron 19,6L de agua en 9 riegos de 3 ciclos con un total de contaminación de 110 µg/L. En los gaviones con plantas fue un total de 8,4L de agua en 9 riegos de 3 ciclos con un total de contaminación de 60 µg/L.

Se pueden ver los resultados de los porcentajes de eliminación en la siguiente tabla (tabla 1):

**Tabla 2. Porcentajes de eliminación y sus desviaciones estándar por cada uno de los HAPs analizados, por los gaviones con y sin plantas y por los dos tipos de gaviones.**

	gaviones sin plantas		gaviones con plantas	
	corcho_out	tierra_out	corcho_out	tierra_out
Naphthalene	100,00	100,00	99,96	99,99
	0,00	0,00	0,06	0,02
Acenaphthylene	100,00	99,52	100,00	99,92
	0,00	0,72	0,00	0,21
Acenaphthene	99,87	99,77	100,00	99,95
	0,06	0,50	0,00	0,13
Fluorene	100,00	99,95	100,00	100,00
	0,00	0,11	0,00	0,00
Phenanthrene/ antracene	99,91	99,92	99,90	99,93
	0,20	0,06	0,10	0,06
Fluoranthene	99,92	99,97	99,94	99,95
	0,14	0,02	0,03	0,03
Pyrene	99,85	99,96	99,90	99,86
	0,25	0,04	0,05	0,19
Benz[a]anthracene / Chrysene	99,96	99,98	99,99	99,47
	0,08	0,02	0,01	1,23
Benzo[k]fluoranthene / Benzo[b]fluoranthene	99,99	100,00	100,00	99,94
	0,03	0,01	0,01	0,12
Benzo[a]pyrene	99,96	99,99	100,00	99,47
	0,11	0,01	0,00	1,29

<b>Dibenz[a,h]anthracene</b>	99,97	99,98	99,93	99,54
	0,07	0,04	0,13	0,57
<b>Benzo[ghi]perylene/ Indeno [1,2,3] pyrene</b>	99,98	99,99	99,97	99,58
	0,04	0,03	0,05	0,51

La Dra Patricia Jové en su tesis concluyó que las muestras de corcho estudiadas en su tesis tenían un proceso de sorción muy rápido: de dos minutos de contacto con más de 80% de adsorción y después de 20 minutos superaban valores de 96%.

Tras este estudio se puede concluir que tanto los gaviones Babylon® estándar como los gaviones con el 50% de mix de corcho presentan, en las condiciones de riego descritas (caudal de 4L/día), un porcentaje medio de 99,98% para los 16 HAPs analizados.

### Conclusión

Los subproductos del corcho son un buen material como sustrato en cubiertas verdes. No obstante, el porcentaje de corcho que puede ser añadido a las mezclas que permita obtener un desarrollo óptimo de las plantas depende de la especie cultivada. El corcho aporta propiedades aislantes al sistema vegetal vertical, tanto las temperaturas ambientales como las temperaturas superficiales de la columna que contienen corcho presentan temperaturas más suaves.

Los buenos resultados de las capacidades aislantes aportadas, hacen del corcho un material que da valor añadido al sistema estándar de gaviones Babylon®. Además el corcho permite una reducción del ruido ambiental importante en las grandes ciudades. El gavión con corcho pesa 10kg menos que el gavión estándar debido a la ligereza y densidad del corcho. Por lo tanto aporta ligereza al sistema, aspecto a tener en cuenta ya que se plantea como un elemento aéreo y suspendido de un edificio. Tras los ensayos de biosorción se puede concluir que tanto los gaviones Babylon® estándar como los gaviones con el 50% de mix de corcho presentan en las condiciones de riego descritas (caudal de 4L/día) un porcentaje medio de eliminación del 99,98% para los 16 HAPs analizados. El crecimiento por columna del sistema vegetal vertical ha sido constante durante el ensayo, siendo más pronunciado en un inicio para la columna con más tierra y al contrario en la columna con menos tierra y más corcho, cuya tendencia se ha visto incrementada con el tiempo. El sistema descrito se ha transferido fácilmente de escala piloto a escala real, se han cogido los datos técnicos del informe de la primera anualidad y se han reproducido a escala. El corcho parece cumplir con éxito las funciones: de sustrato y soporte vegetal, biofiltro con capacidad de biosorción de HAPs (eliminación media de 99,8%), elemento aislante y de ahorro de energético.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] LIFE ECORKWASTE, Deliverable 15; 2015-2018. LIFE 14 ENV/ES/460ECORKWASTE. Deliverable 15 Integrated waste management plan for cork industry. 2015-2018.
- [2] Associação Portuguesa da Cortiça, APCOR anuário, 2018-2019

- [3] Verdum M, Prdaes C., González Adrados J.R., Bejarano M., Kezcano G., Sánchez M. (2020) Miniguía nuevas aplicaciones del corcho. GO SUBER.
- [4] Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., Deletic, A., 2017. Green walls for greywater reuse: understanding the role of media on pollutant removal. *Ecol. Eng.* 102, 625–635.
- [5] Li et al. 2009 Li, Y. y Chen, B., Phenanthrene sorption by fruit cuticles and potato periderm with different compositional characteristics, *J. Agric. Food. Chem.* 2009, 57, 637-644.
- [6] Boyjoo, Y., Pareek, V.K., Ang, M., 2013. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology* 67, 1403–1424
- [7] Bratieres et al., 2008 Bratieres, K., Fletcher, T.D., Deletic, A., Zinger, Y., 2008. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: a large-scale design optimisation study. *Water Research* 42, 3930–3940.
- [8] Jové P. 2015 Jove P. (2015) Caracterització del suro i subproductes de la indústria surera. Valoració d'aquests com a biosorbents d'hidrocarburs aromàtics policíclics en aigües d'escorrentia. 2015. Universitat de Girona. Tesi doctoral.
- [9] Olivella, M.À., Jové, P., Oliveras, A., 2011a. The use of cork waste as a biosorbent for persistent organic pollutants - study of adsorption/desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 46, 824–832.
- [10] Olivella, M.À., Jové, P., Şen, A., Pereira, H., Villaescusa, I., Fiol, N., 2011b. Sorption performance of Quercus cerris cork with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxicity testing. *Bioresources* 6, 3363–3375.
- [11] Olivella, M.À., Fernández, I., Cano, L., Jové, P., Oliveras, A., 2013a. Role of chemical components of cork on sorption of aqueous polycyclic aromatic hydrocarbons. *Int. J. Environ. Res.* 7, 225–234.
- [12] Olivella, M.À., Jové, P., Bianchi, A., Bazzicalupi, C., Cano, L., 2013b. An integrated approach to understanding the sorption mechanism of phenanthrene by cork. *Chemosphere* 90, 1939–1944.
- [13] Krika, F., Benlahbib, O. el F., 2015. Removal of methyl orange from aqueous solution via adsorption on cork as a natural and low-cost adsorbent: equilibrium, kinetic and thermodynamic study of removal process. *Desalin. Water Treat.* 53, 3711–3723.
- [14] Crespo-Alonso, M., Nurchi, V.M., Biesuz, R., Alberti, G., Spano, N., Pilo, M.I., Sanna, G. (2013) Biomass against emerging pollution in wastewater: Ability of cork for the removal of ofloxacin from aqueous solutions at different pH. *Journal of Environmental Chemical Engineering* Volume 1, Issue 4, December 2013, Pages 1199-1204 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.010>
- [15] Domingues, V., Alves, A., Cabral, M., Delerue-Matos, C., 2005. Sorption behaviour of bifenthrin on cork. *J. Chromatogr.* 1069, 127–132.

- [16] Dordio, A.V., Goncalves, P., Texeira, D., Candeias, A.J., Castanheiro, J.E., Pinto, A.P., Carvalho, A.J.P., 2011. Pharmaceuticals sorption behaviour in granulated cork for the selection of a support matrix for a constructed wetlands system. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 91, 615–631.
- [17] Pintor, A.M.A., Ferreira, C.I.A., Pereira, J.C., Correia, P., Silva, S.P., Vilar, V.J.P., Botelho, C.M.S., Boaventura, R.A.R., 2012. Use of cork powder and granules for the adsorption of pollutants: a review. *Water Res.* 46, 3152–3166.
- [18] Jové P., Fiol N., Vilaescusa I., Verdum M., Aguilar L. Bosch C., Morató J. (2017) The use of cork waste as a sorbent for pesticides and heavy metals generated during the wine manufacturing process CSA2017 Materials Research Proceedings 3. 75-83
- [19] Garcia Moreno A. M., Sánchez Cuesta R., Prades López C. Verdum Virgos M., Jové P., Bejarano M. y Abellanas B. (2020) El corcho como sustrato de cubiertas verdes (Proyecto GO SUBER). *Tecnogarden* 219 38-53
- [20] Jove P. (2015) Caracterització del suro i subproductes de la indústria surera. Valoració d'aquests com a biosorbents d'hidrocarburs aromàtics policíclics en aigües d'escorrentia. 2015. Universitat de Girona. Tesi doctoral.