



RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO EN EL ESTE DE LA CIUDAD DE SEVILLA



Autor: Manuel Prado Vera

Memoria de Trabajo Fin de Grado

Autor: Manuel Prado Vera

Tutor: Jesús Manuel Castillo Segura

Co-orientador: Francisco Jesús Díaz-Rodríguez

Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Área de Ecología

Grado en Biología, Curso académico 2022/23

*A mi familia y amigos por su apoyo en las dificultades.
A mi tutor, Jesús Castillo, y a Jesús Díaz, por su atención y gran ayuda.*

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	8
4. MATERIAL Y MÉTODOS	
4.1. Área de estudio.....	9
4.2. Cuantificación de los Servicios de los Ecosistemas.....	15
4.3. Escenarios de estudio.....	21
5. RESULTADOS	
5.1 Escenarios de estudio.....	24
5.2 Cuantificación de los Servicios de los Ecosistemas.....	26
6. DISCUSIÓN.....	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	36

1.- RESUMEN

Los ecosistemas urbanos y sus Servicios Ecosistémicos asociados traen consigo multitud de beneficios tanto para la salud y el bienestar de las personas como para la biodiversidad urbana, especialmente importante en la situación de crisis climática que vivimos. En el Distrito Este de la ciudad de Sevilla podemos encontrar un sistema de lagunas temporales en una extensa área sin edificar. Este mosaico de ecosistemas está formado por dos lagunas principales que traen consigo abundante fauna y flora asociada. Además, aportan a la zona importantes Servicios de los Ecosistemas (SE) tales como la retención de escorrentía, la infiltración de agua al freático y la refrigeración o termorregulación. Toda el área de estudio, en conjunto, contiene un gran potencial ecológico que permitiría mejorar la infraestructura verde de la ciudad Hispalense. Sin embargo, en el año 2009, se esbozó un proyecto que eliminaría el sistema de lagunas temporales mediante la construcción de una infraestructura gris llamada ‘Santa Bárbara’ que ocupa el terreno de interés. En el presente trabajo fin de grado nos basamos en la bibliografía más reciente para cuantificar seis SE que inciden sobre la calidad de vida de las personas en tres escenarios de gestión urbanística diferentes: Actualidad, ‘Santa Bárbara’ y una hipotética Restauración Ecológica. Tras el análisis de los resultados, comprobamos como la restauración ecológica de la zona de estudio otorgaría mayores SE de purificación del aire, almacenamiento de carbono, reducción de ruido, capacidad de enfriamiento y recreación, siendo las agrupaciones arbóreas (bosques) el suelo que más servicios aportaría. A su vez, proporcionaría la oportunidad de expandir la infraestructura verde en Sevilla. El escenario de ‘Santa Bárbara’ obtendría mayores SE de regulación (purificación del aire, almacenamiento de carbono, reducción de ruido e iguales valores de recreación) que el escenario actual. Sin embargo, para todos los SE que valoramos en este trabajo se muestran niveles muy inferiores al escenario de restauración. Los servicios de enfriamiento y retención de escorrentía, en este caso, se verían muy disminuidos debidos, fundamentalmente, al aumento de las edificaciones y a la pérdida de las lagunas temporales. A su vez, la pérdida del sistema de lagunas temporales en este escenario eliminaría buena parte de la riqueza ecológica del lugar y dificultaría la escorrentía. La retención de escorrentía, cuyo papel es clave en la planificación urbana actual, obtendría su menor valor en el escenario de edificación de “Santa Bárbara”, causado por la pérdida de permeabilidad de los suelos y del control producido por los sistemas de lagunas (infiltración y recarga del freático).

En la actualidad existe una falta de marcos teórico-metodológicos que vinculen la corriente principal de investigación en SE con la planificación de espacios verdes urbanos y suburbanos. Los resultados de este trabajo hacen hincapié en cómo la coherencia territorial en la gestión de un terreno periurbano, priorizando infraestructuras verdes, puede elevar los SE mejorando enormemente la calidad de vida en las ciudades, especialmente para las nuevas urbanizaciones. A su vez, se pone de manifiesto la falta de investigación que existe sobre los SE urbanos y periurbanos, y sobre su integración en la gestión y ordenación del territorio.

2.- INTRODUCCIÓN

El estudio de los Servicios Ecosistémicos (SE) urbanos está adquiriendo un papel más importante en la gestión del territorio (Córdoba Hernández, 2022), debido, en parte, a la ayuda que suponen en la lucha contra el cambio climático en las ciudades (De la Barrera, 2011). Las infraestructuras verdes urbanas pueden tener un desempeño ambiental que brinde bienestar a la comunidad local, en forma de SE de regulación del flujo hídrico y de las condiciones microclimáticas, así como también servicios de tipo cultural y servir de hábitat para especies sensibles o emblemáticas (De la Barrera, 2009). De esta manera, los SE son una herramienta potente para evaluar el desempeño ambiental de las ciudades permitiendo realizar comparaciones entre sistemas naturales, semi-naturales y urbanizados (De la Barrera, 2011). Asimismo, el diseño urbano orientado a maximizar la prestación de SE puede tener repercusiones positivas en el ahorro de energía (por ejemplo para climatización) y las necesidades de infraestructuras (por ejemplo sistemas de evacuación de aguas de lluvias), aumentando la sustentabilidad de las ciudades.

En el extremo oriental de la barriada de Sevilla Este se encuentra una extensa área sin edificar que cuenta con un elevado potencial ecológico gracias, principalmente, a la existencia de un complejo sistema de diferentes lagunas temporales. Estas lagunas cuentan con distintos periodos de inundación y desecación (hidroperiodos), adoptando de esta manera cualidades que permiten la reproducción de especies singulares y endémicas que nunca se podrían reproducir en aguas permanentes. (Rodríguez y González, 2021; Robla *et al.* 2022). A pesar de la notoria degradación

del entorno, debido a la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) que se acumulan en la zona, dichas lagunas son un enclave único que otorgan excelentes condiciones a multitud de aves, anfibios, invertebrados y plantas acuáticas, pudiendo cumplir un importante papel en la ciudad con más especies de aves de toda Europa (Arroyo-Solís *et. al*, 2007). A su vez, generan multitud de beneficios en la población tales como la retención de aguas de escorrentía, la regulación bioclimática del entorno y la capacidad recreativa del lugar. A pesar de que las autoridades competentes de la ciudad de Sevilla se muestran decididas a generar cambios que permitan una mejor adaptación a las consecuencias del cambio climático, según plantea el Plan Estratégico Sevilla 2030, la ciudad presenta graves problemas de contaminación acústica y atmosférica, y un bajo índice de zonas verdes por habitante (IECA, 2016). Ante esto, una ampliación y mejor gestión de espacios verdes urbanos se plantea como una oportunidad necesaria.

El Distrito Este-Alcosa-Torreblanca de la ciudad de Sevilla, al cual pertenece el área de estudio, cuenta con tres parques urbanos: El Parque Infanta Elena, el Parque del Tamarguillo y el Parque de Torreblanca o Parque Central de Sevilla Este. Se trata del Distrito sevillano con más zonas verdes por habitante. Al mismo tiempo, es el Distrito de mayor crecimiento de población y mayor población joven de la ciudad debido al fuerte crecimiento experimentado en los últimos años, tanto en número de viviendas como en población, que lo sitúa entre los más jóvenes de Sevilla con un aumento del 10 % (4.500 personas), con aproximadamente el 13% de la población sevillana, entre ellos familias y jóvenes recién independizados. (datos para Sevilla según el informe de 2017 del Instituto Nacional de Estadística). Sin embargo, la conectividad entre estos parques es escasa, a pesar del magnífico potencial que adoptaría la creación de un anillo verde en la zona, siguiendo el ejemplo de otras ciudades del estado (Tello y del Moral, 2021). Una restauración del terreno presentado en este trabajo permitiría dar un paso hacia delante en la creación de esta infraestructura verde, pudiéndose apoyar en el uso de los cauces de dos arroyos históricos como corredores naturales: el arroyo Tamarguillo, el encauzamiento del arroyo Ranillas y sus cauces tributarios que discurren por el área en cuestión (Del Moral, 1991). Este proyecto conllevaría formar un enclave especial y único en la ciudad de Sevilla con gran calidad paisajística y ecológica que contribuiría a magnificar la fauna y flora autóctonas, a atraer turismo e interés por la ciudad como potencia verde y a servir de ejemplo medioambiental para otras ciudades. No obstante, el PGOU de Sevilla planeó en 2009 la realización de un proyecto urbanístico que ocuparía gran parte de nuestra zona de estudio, así como áreas cercanas. Este proyecto suponía la creación de una

nueva barriada llamada ‘Santa Bárbara’, caracterizada por portar amplias zonas recreativas y parques urbanos. Este desarrollo urbanístico traería como consecuencia, entre otras, la destrucción y eliminación del sistema de lagunas temporales, así como de toda su riqueza ecológica.

En este trabajo fin de grado utilizaremos un método que consiste en el cálculo de los SE totales a partir de valores relativos por unidad de superficie de cada servicio para cada tipo de uso de suelo. Con ello, cuantificaremos seis tipos de SE en tres escenarios del área de estudio: situación actual, situación de desarrollo urbanístico ‘Santa Bárbara’ y situación tras una restauración ecológica. Para ello, haremos una distinción entre varios tipos de suelo verde basándonos en datos de la bibliografía más reciente sobre trabajos similares. Nuestro objetivo principal ha sido aportar datos científicos útiles para la futura gestión de la zona de estudio y demostrar como un adecuado uso de las herramientas de planificación urbana, en áreas con alto potencial ecológico, puede maximizar los beneficios que esta nos aporta, utilizando para ello datos tangibles de la magnitud de los SE.

3.- OBJETIVOS

Objetivo general:

- Plantear diferentes escenarios en la gestión urbanística de una zona con lagunas temporales al Este de la ciudad de Sevilla.

Objetivos específicos:

1. Cuantificación de los Servicios de los Ecosistemas en cada uno de los escenarios planteados en la zona de estudio.
2. Diseño de una hipotética restauración ecológica de la zona de estudio y cuantificación de los SE asociados a dicha restauración.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.- Área de estudio

El área de estudio se sitúa en Sevilla Este, una zona localizada en el sector oriental de la ciudad de Sevilla y perteneciente al distrito Este-Alcosa-Torreblanca. El área ocupa una extensión de aproximadamente 310 ha, delimitada por suelos urbanos al suroeste y al oeste. El cauce del Arroyo Ranillas acota el área por el norte y el noreste, y el Canal del Bajo Guadalquivir limita el terreno objeto de estudio por el sur y sureste (Figura 1). El terreno de la zona está clasificado por el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Sevilla como suelo urbanizable, siendo el área SUO-DE-01 suelo urbanizable ordenado, y las áreas SUS-DE-02, SUS-DE-03, SUS-DE-04 y SUS-DE-05 suelo urbanizable sectorizado (PGOU de Sevilla, 2016) (Figura 2).



Figura 1. Imágenes satelitales del área de estudio. Izquierda: Localización en la ciudad de Sevilla. Derecha: Vista cercana. Fuente: *Google Earth Pro*.

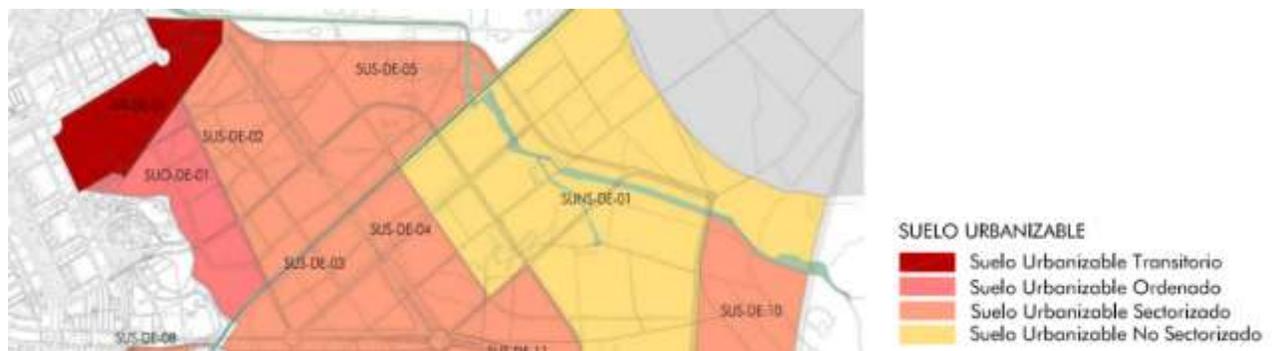


Figura 2. Plano de clasificación del suelo del área de estudio en el P.G.O.U. de Sevilla. Fuente: Gerencia de Urbanismo y Medio Ambiente.

El suelo de la zona es un Vertisol desarrollado sobre una llanura aluvial. Contiene más del 30% de arcilla hasta al menos 0.5 m de profundidad, lo que le genera un carácter vértico: agrietamiento estival e hinchamiento en periodos húmedos (según Mapa Geológico de España 1:50.000, Hoja nº 984 de Sevilla). El alto contenido en arcillas del suelo otorga una alta impermeabilidad que permite la formación de sistemas de lagunas temporales. Estas lagunas son endorreicas, someras, de origen pluvial y suelen inundarse durante épocas de precipitaciones en otoño e invierno, perdurando el agua acumulada hasta la primavera cuando lentamente se van desecando a causa de los efectos de la evaporación e infiltración. La laguna temporal predominante, en el área con el topónimo popular de “El Sapo”, que a su vez cuenta con varias charcas satélites, se encuentra en el sector SUS-DE-02 y alcanza un tamaño de 570 x 140 m en su mayor inundación (Figura 3). También se forma una segunda laguna de recarga en Buena Esperanza, llamada popularmente “Los Moritos” de unos 50 x 50 m en el sector SUS-DE-05, que se encuentra rodeada por el Arroyo Ranillas al norte y este, y por el Canal del Bajo Guadalquivir al sur pero independiente de ambos cauces.

A día de hoy, el área de estudio mantiene un carácter rural y periurbano en toda su superficie. Las zonas ubicadas por el suroeste de la Laguna “El Sapo” conforman un erial con pastizal que ocupa buena parte de la extensión del terreno, ampliamente degradadas debido a la acumulación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y residuos de construcción (escombreras) desde finales del Siglo XX (Jesús Díaz-Rodríguez, comunicación personal, 17 de febrero de 2022).

Al noreste se encuentran las ruinas de la antigua base norteamericana y el complejo hospitalario de San Pablo, abandonado completamente en la década de los 80. Actualmente, los muros de las antiguas construcciones, los fosos y tanques de decantación y los restos de la vieja depuradora actúan como trampas mortales para la fauna silvestre y generan un cierto impacto paisajístico en la zona. Además, se practican actividades motorizadas ilegales en los espacios libres del área de estudio. La zona ocupada por la laguna “Los Moritos” recibe un mal uso como pista de motocross y quads desde los años 2015 y 2016. A dichos impactos se suma la caza ilegal de aves (con redes y pegamento) y la captura de reptiles y anfibios que se produce de forma generalizada en toda el área de estudio (Díaz-Rodríguez, com. pers.).

Gran parte del terreno se encuentra ocupado por cultivos herbáceos de distinto tipo, por lo que es arada anualmente (Díaz-Rodríguez, com. pers.). En cuanto a la vegetación, las únicas zonas

arboladas se encuentran cercanas a las carreteras y edificaciones de Sevilla Este, a excepción de un pequeño eucaliptal colindante con las antiguas bases y el Parque del Tamarguillo que aparece recogido como arboleda notable en el recién publicado Inventario de Árboles Singulares de Sevilla. La principal área forestal está formada por pinares, cipreses y acebuches, contiguos a una masa de eucaliptos de gran porte (*Eucalyptus camaldulensis* Denhn.) que comparten terreno con la laguna temporal de “El Sapo”. El terreno de la zona caracterizado de erial con pastizal está formado en su mayoría por cardos y otras plantas herbáceas de bajo porte.

La zona de estudio se encuentra marcada por la degradación ambiental del entorno. Es utilizado como vertedero ilegal de RSU, residuos de construcción y vertidos de aceites y agroquímicos (Figura 3). A esta degradación contribuyó el abandono del complejo hospitalario en los terrenos de la antigua base militar y las pruebas del Monorraíl de la Expo92, realizadas en el Parque Tamarguillo (Díaz-Rodríguez, 2012). Hasta septiembre de 2022, no existía ninguna valla que delimitase la zona ocupada por el mercadillo de Alcosa, por lo que los residuos generados solían acabar en el terreno de mayor interés ecológico: la Laguna “El Sapo” y sus alrededores. Con la instalación de una valla que delimita el espacio del frecuentado mercadillo se soluciona parcialmente el problema de los vertidos en el pinar y eucaliptal, aunque se sigue haciendo uso indebido de los caminos que rodean el humedal, como vertedero incontrolado de RSU, zona de caza ilegal y de esparcimiento juvenil (botellonas) (Díaz-Rodríguez, com. pers.).



Figura 3. Imágenes del área de estudio. Arriba izquierda: Zona de cultivos herbáceos vista desde el Canal del Bajo Guadalquivir. Abajo izquierda: Residuos plásticos desechados en el erial, como prueba del descuido de la zona. Arriba derecha: Laguna “El Sapo” junto al eucaliptal. Centro derecha: Laguna “El Sapo” con el pinar de fondo. Abajo derecha: Laguna “Los Moritos”.

Fuente: Imagen propia

Existen imágenes aéreas de la zona de estudio desde 1946, en las que se aprecia la buena conservación de la laguna de “El Sapo”, así como el cauce natural del Arroyo Ranillas y la antigua laguna permanente situada al este del actual parque acuático Aquopolis/Guadalupe en la Dehesa de los bueyes, conocida como "el lago de los hippies" (Figura 4).

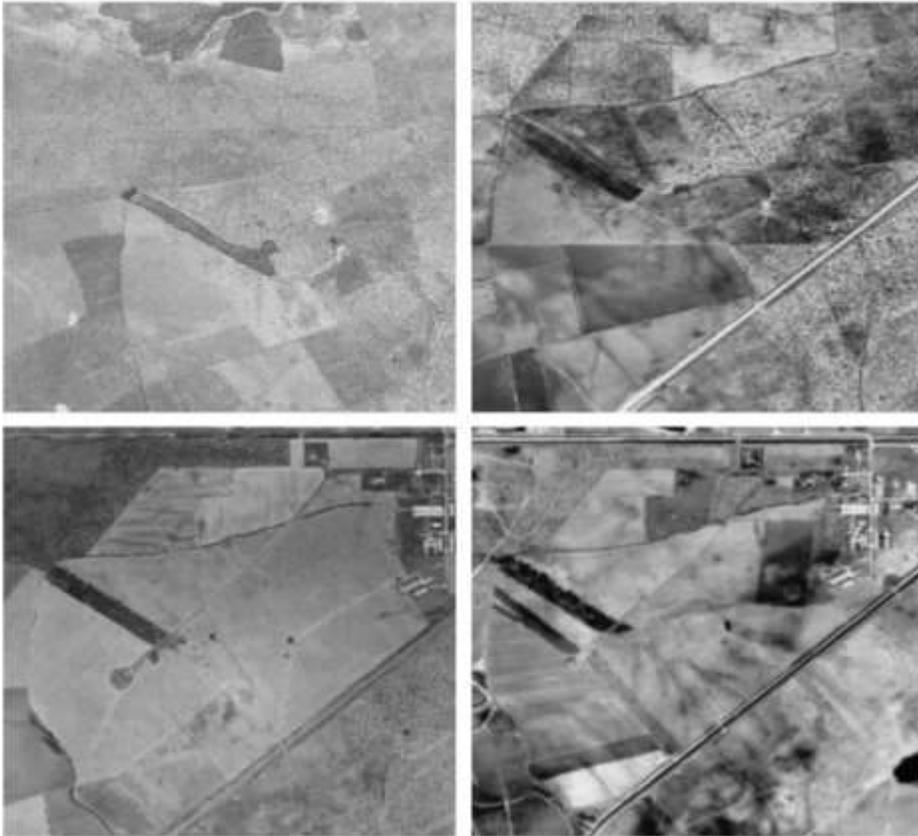


Figura 4. Imágenes aéreas históricas de la zona de estudio. En todas ellas se aprecia la Laguna “El Sapo”. Arriba izquierda: 1946. Arriba derecha: 1956. Abajo izquierda: 1973. Abajo derecha: 1981. Fuente: Fototeca del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

En cuanto a la hidrología, existen canalizaciones tanto en el arroyo, como en el Canal del Bajo Guadalquivir. También se encuentran cauces naturales y acequias, separadas de los anteriores, que permiten cierto flujo de agua y, en teoría, deben facilitar el intercambio genético entre las poblaciones que ocupan las lagunas temporales (Díaz-Rodríguez, com. pers.). Sin duda, el ecosistema de mayor interés ecológico, por su singularidad, y que caracteriza el área de estudio

es el sistema de lagunas temporales. La llanura aluvial sobre las que se ubican y la influencia de los antiguos tributarios del arroyo Ranillas, proporcionan excelentes condiciones hidrogeológicas para la acumulación superficial de aguas de escorrentía (Robla et al. 2022; Díaz-Rodríguez, 2022). Las lagunas temporales aportan una enorme biodiversidad debida al carácter de ecotono entre el medio acuático y terrestre cambiante estacionalmente (Céréguino, 2008). En ese contexto, a pesar de la notable degradación del entorno, las lagunas temporales existentes cuentan con una amplia biodiversidad. Según el Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España de la Asociación Herpetológica Española (AHE), en el área se han encontrado 12 especies de reptiles y 6 de anfibios. Algunas de ellas, citadas por un reciente artículo (Rodríguez-Rodríguez, 2022) del *Boletín de la Asociación Española de Herpetología* y confirmadas en nuestras prospecciones (Robla et al. 2022), aparecen recogidas en los Anexos II y IV de la Directiva Hábitats y protegidas según *el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial* y el *Catálogo de flora y fauna silvestre amenazada, con presencia regular, de paso u ocasional en Andalucía* (según un Informe de la Fundación Biodiversidad, MITECO). Estos ecosistemas son lugares óptimos para la reproducción de los anfibios, los cuales ajustan su ciclo reproductivo a la fase de inundación de las lagunas (Pleguezuelos y Martínez-Rica et al., 1997; Pleguezuelos et al., 2002). Debido a la cercanía del área de estudio al Paraje de San Ildefonso, situado en la cabecera del Arroyo Tamarguillo, el número de aves avistadas en la zona asciende a, al menos, 87 especies diferentes, 66 de ellas con algún tipo de amenaza según el listado y el catálogo andaluz referidos y el Anexo I de la Directiva Aves según los datos extraídos de SEO-BirdLife y Universidad de Sevilla. (UICN, 2009; Figueroa et al. 2007). A su vez, en los muestreos realizados por EcoUrbe (LIFE InvasAqua) se han registrado alrededor de una decena de especies diferentes de murciélagos en la zona y especies de invertebrados acuáticos pertenecientes a más de cincuenta taxones, alguno de ellos endemismos andaluces, incluyendo la presencia de especies singulares de grandes de branquiópodos, anostráceos y notostráceos, como *Triops baeticus*, (Korn et al. 2010) y otras especies centinelas, como *Branchypus arfinis*, y artrópodos aún no descritos (Robla et al. 2022; Díaz-Rodríguez, datos no publicados).



Figura 5. Sistema de lagunas “El Sapo”, como prueba de la calidad paisajística del lugar.

Fuente: Jesús Díaz Rodríguez.

4.2.- Cuantificación de los servicios de los ecosistemas

Se cuantificaron seis servicios de los ecosistemas (SE) generados en la zona de estudio en tres escenarios diferentes: 1) Situación actual; 2) Zona convertida en el Barrio de Santa Bárbara, tras su urbanización según lo previsto en el P.G.O.U. de Sevilla; 3) e hipotética Restauración Ecológica de la zona.

Los usos de suelo los clasificamos en 10 tipos según sus características (Tabla 1). A partir de cada uso del suelo, obtuvimos valores para cada uno de los seis SE a partir de diversas fuentes previas (Tabla 2). Los suelos que entran dentro de la categoría “Otros” no contribuyen a aumentar los SE. Cuantificamos los siguientes SE: 1) Purificación del aire (servicio de regulación); 2) Almacenamiento de carbono (servicio de regulación); 3) Reducción de ruido (servicio de regulación); 4) Retención de escorrentía (servicio de regulación); 5) Enfriamiento (servicio de regulación); y 6) Valor recreativo (servicio cultural).

Tabla 1. Descripción de cada tipo de uso de suelo.

Tipo de uso de suelo	Descripción
Árbol	Árbol individual, localizado en acera urbana.
Bosque	Árboles agrupados.
Eucaliptal	Agrupación de eucaliptos de gran porte.
Arbustos	Agrupación de arbustos.
Jardín	Jardín urbano conformado por vegetación herbácea variada, con riego permanente. También se incluyen zonas de paso peatonales.
Pastizal	Vegetación herbácea de bajo porte.
Cultivos	Terreno labrado anualmente y regado permanentemente para su siembra.
Huerto urbano	Cultivos agroecológicos con gran diversidad de plantas.
Agua	Canales, lagunas, arroyos, ríos y cauces.
Otros	Vías de comunicación y edificaciones.

A lo largo del trabajo, nos referiremos a las distintas formaciones arbóreas del área de estudio como bosques, a pesar de no cumplir la definición de este último.

Según la cantidad y proporción de cada tipo de uso de suelo en el área de estudio (Tabla1), los SE que se proporcionan varían enormemente. Hay suelos, tales como los bosques y los árboles libres, que proporcionan muchos servicios de purificación y almacenamiento de carbono, a su vez, el agua genera la mayor retención de escorrentía de todos y los arbustos disminuyen el ruido más que ningún otro (Tabla 2). Con los datos de las zonas verdes de los diferentes escenarios, obtuvimos mapas con los tipos de uso de suelo, a los que ponderamos los datos específicos de cada SE para calcular su producción total.

Tabla 2. Tasas de SE especificadas para cada uso del suelo. ¹Las tasas de purificación de aire se duplican en un área de amortiguación de 50 metros desde fuentes de emisión de contaminación. ²Las tasas de reducción de ruido únicamente se aplican en área de amortiguación de 50 metros de fuentes de emisión de ruido. Fuentes: Derkzen et al, 2015, Sayago Ortega et al, 2015.

Usos del suelo / Servicios ecosistémicos	Purificación de aire ¹ (g / m ² año)	Almacenamiento de carbono (kg / m ²)	Reducción de ruido ² (dB/ 100 m ²)	Retención de escorrentía (L / m ²)	Enfriamiento (valor referencia / m ²)	Recreación (valor índice/ m ²)
Árbol	3.97	10.64	-	8.4	1	0.6
Bosque	2.69	15.62	1.125	8.7	1	0.85
Eucaliptal	3	18	1.125	8.7	1	0.85
Arbustos	2.05	7.79	2	7.3	1	0.5
Agua	-	-	-	10	0.5	1
Pastizal	0.9	0.17	0.375	8	0.5	0.3
Jardín	0.82	1.07	0.375	6	0.5	0.6
Cultivo	0.5	0.3	0.375	8	0.5	0.2
Huerto urbano	0.5	0.8	0.375	8	0.5	0.6

4.2.1.- Purificación de aire

La contaminación atmosférica urbana, causada por la industria y el transporte, aumentan la incidencia de muchas enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Leiva *et al.*, 2013). Respecto a este SE cabe destacar que el área metropolitana de Sevilla no cumplió en el año 2021 los valores máximos diarios de PM10 establecidos por la OMS, así como tampoco los valores de NO₂, PM2.5 y O₃ (Evaluación de la calidad del aire en España, 2021).

En este contexto, el papel de los bosques y parques urbanos es importante para mejorar la calidad del aire, filtrando dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado (PM₁₀) de la atmósfera. La vegetación absorbe mayor cantidad de contaminantes mientras mayor

sea la concentración de estos últimos (Tallis *et al.*, 2011), por lo que es recomendado maximizar las zonas verdes cerca de fuentes contaminantes para aumentar el poder purificador. La absorción de contaminantes aumenta junto con el área foliar, por lo que árboles y arbustos son más eficaces al depurar que las herbáceas. Cuantificamos la depuración del PM₁₀ ya que es el componente particulado más dañino para el ser humano. Para ello, asignamos unos valores de absorción de PM₁₀ en g de PM₁₀ absorbidos por m² y por año para cada uno de los usos del suelo identificados basándonos en estudios previos (Derkzen *et al.*, 2015) (Tabla 2). Las zonas verdes que se encontraban a menos de 50 metros de una fuente contaminante (carretera/calle), obtuvieron el doble del valor original, ya que tienen la capacidad de filtrar más contaminante.

4.2.2.- Almacenamiento de carbono atmosférico

Uno de los SE más conocidos es el almacenamiento de carbono atmosférico, gracias a su importancia en la situación actual de cambio climático y de aumento de la concentración de CO₂ atmosférico. Estimamos la cantidad de carbono almacenada en la vegetación (Hostetler y Escobedo, 2010). Por lo tanto, estimamos la cantidad de carbono bruto sobre el suelo aplicando estimaciones del almacenamiento de carbono específicos para cada una de las zonas vegetadas. El almacenamiento de carbono se expresó como kg de carbono por m² y derivó de estudios previos que utilizaron este tipo de datos para zonas parecidas (Derkzen *et al.*, 2015) (Tabla 2).

4.2.3.- Reducción de ruido

La contaminación acústica excesiva es perjudicial para la calidad de vida en las ciudades. Así, puede aumentar el riesgo de enfermedades relacionadas con la audición y la salud cardiovascular (Bolund y Hunhammar, 1999). Además del ruido procedente del tráfico rodado, la zona de estudio supone un punto de ruido asociado al tráfico aeroportuario por su cercanía al aeropuerto de San Pablo, Sevilla (Mapa Estratégico de Ruidos, 2016). Las zonas verdes urbanas contribuyen a la reducción del ruido de manera directa e indirecta. De manera directa, los cinturones verdes atenúan el ruido mediante la absorción, dispersión e interferencia de las ondas sonoras. Los efectos indirectos de reducción del ruido son generados por la disminución de la velocidad del viento y la capacidad de absorción de los suelos permeables (Aertsens *et al.*, 2012). La disminución del ruido por áreas verdes dependerá, principalmente, de los siguientes factores: la distancia entre la fuente de ruido y la zona vegetada; la frecuencia de las emisiones de ruido y las características de la

vegetación. Cuanta menor sea la distancia, mayor será la disminución del ruido (Van Renterghem *et al.*, 2012). Para cuantificar la reducción del ruido nos basamos en las características de la vegetación y en la distancia a la fuente de ruido (carretera/calle). Por ello, plasmamos una zona de amortiguación de hasta 50 metros de distancia de la fuente sonora, la cual se consideró como la única área con capacidad para disminuir el ruido. Utilizamos valores medios derivados de un rango de tasas de atenuación de ruido en la literatura expresados como dB atenuados por 100 m² (Tabla 2) (Derkzen *et al.*, 2015).

4.2.4.- Retención de escorrentía

El drenaje natural en las ciudades está gravemente obstaculizado por el sellado a gran escala, lo que trae como consecuencia el desbordamiento del alcantarillado, la obstrucción de recarga de aguas subterráneas, y daños en negocios y viviendas (Chaparro y Terradas, 2009). Este servicio es especialmente importante debido a la situación en la que se encuentran las edificaciones de la Avenida Emilio-Lemos en Sevilla Este donde, cada 3 o 4 años, se producen inundaciones y colapsos en la red de alcantarillado (García, Nius Diario 2021). Esto se debe, precisamente, a una deficiente red de saneamiento que no está adaptada a la demanda de viviendas de la zona, fruto de una mala gestión del territorio que acaba dificultando la escorrentía por superficie e infiltración de agua al freático.

En este escenario urbano, las zonas verdes mitigan esos efectos perjudiciales y ayudan a la gestión natural de las aguas pluviales (Bolund y Hunhammar, 1999). Los árboles contribuyen, en gran medida a través de la intercepción, mientras que el pasto absorbe la mayor parte del agua de lluvia a través de la infiltración (Armson *et al.*, 2013). Los cuerpos de agua apoyan la retención a través de su capacidad de almacenamiento (Everard y Moggridge, 2012). Estimamos el efecto combinado de los servicios de intercepción e infiltración con base en el enfoque de Tratalos *et al.* (2007). Los cálculos de escorrentía se realizaron para un evento de lluvia de 10 mm. Para eventos de lluvias extremas, el SE es más crítico, pero también en caso de lluvias moderadas, el servicio es importante para limitar los costos de tratamiento y drenaje de agua. Adoptamos los coeficientes de escorrentía utilizados por Tratalos *et al.* (2007) y las tasas de retención de escorrentía calculadas para los tipos de áreas verdes, expresadas en litros de retención por m² (Tabla 1). Los cuerpos de agua fueron designados como la tasa más alta ya que capturan toda la lluvia en los eventos de lluvia moderada (Pauleit y Duhme, 2000).

4.2.5.- *Enfriamiento*

Las ciudades están sometidas al efecto isla de calor urbano, por el cual las temperaturas en los núcleos urbanos son mayores que en el exterior de las ciudades. Este fenómeno es causado por las superficies pavimentadas que impiden la evapotranspiración, estructuras densas que reducen la velocidad del viento y materiales de construcción oscuros que absorben energía solar durante el día y liberan el calor, gradualmente, durante la noche, ralentizando el proceso de enfriamiento del aire (Engelberth *et al.*, 2022). La vegetación regula el clima urbano de tres maneras: interceptando la radiación solar entrante, a través del proceso de evapotranspiración y alterando el movimiento del aire y el intercambio de calor. La sombra y la evapotranspiración son las que más contribuyen al efecto de enfriamiento (Skelhorn *et al.*, 2014). El agua también puede contribuir a un microclima más fresco a través de la evaporación y la absorción de calor. Asignamos valores de enfriamiento mayores a árboles, arbustos y bosques, seguido de las masas de agua y vegetación herbácea.

4.2.6.- *Valor recreativo*

Las zonas verdes urbanas cumplen un papel clave en la salud física y mental de las personas, ya que tienen fines recreativos, permitiendo la práctica de ejercicio físico, la desconexión y el contacto con la naturaleza (Andersson *et al.*, 2014). Crecer rodeado de naturaleza repercute en la salud mental de la edad adulta, con un 55% menos de riesgo de desarrollar enfermedades psiquiátricas relacionadas con la ansiedad, el estrés y la depresión (Engemann *et al.*, 2019). Se estima que casi el 20% de las muertes por causas naturales, especialmente en las ciudades, podrían posponerse cada año si se cumplieran las recomendaciones internacionales sobre salud y acceso a espacios verdes (Ostro *et al.*, 2011). Los métodos habituales para cuantificar este SE consisten en medidas de superficie de área verde por habitante. Sin embargo, esta forma no discrimina entre diferentes tipos de zonas verdes, por lo que no tiene en cuenta las preferencias de las personas por distintos tipos de paisajes. Los parámetros que usamos en este trabajo para dar preferencia a una zona verde antes que otra son: 1) Preferible un paisaje de agua con vegetación antes que uno de solo vegetación, 2) Las personas prefieren un alto grado de naturalidad, 3). Las personas prefieren zonas abiertas y ecosistemas variados (Derkzen *et al.*, 2015). En base a estos datos, aplicamos diferentes valores al SE recreación en función del uso del suelo.

4.3.- Escenarios de estudio

Los tres escenarios de estudio (Actual, Santa Bárbara y Restauración ecológica) se representan cada uno mediante dos tipos de mapas. En primer lugar, a partir de los datos disponibles, creamos mapas urbanos de los diferentes escenarios mediante el programa *Google Earth Pro*, con el objetivo de caracterizar y dar a conocer el lugar. Posteriormente desarrollamos mapas de los tres escenarios diferenciando entre los tipos de usos del suelo (Tabla 1), a partir de los cuales obtenemos los datos de sus superficies en m², para la cuantificación de los SE. Para ello, también utilizamos el programa *Google Earth Pro*.

4.3.1.- Escenario actual

Para el escenario actual contamos con datos de los usos del suelo extraídos a través de *Google Earth Pro*, así como de comunicación personal (con personal investigador implicado en su estudio y vecindario de la zona) y visitas frecuentes a la zona de estudio.

El área cuenta con diversas vías de comunicación, estando, la gran mayoría de ellas, sin asfaltar y con escaso uso, por lo que estas últimas no fueron consideradas como fuentes de contaminación ni de ruido. Sin embargo, la cercanía con el aeropuerto, al norte, y la existencia de suelos industrializados, en el sureste, repercute según el mapa estratégico de ruidos, en la calidad ambiental. Los tipos de suelo restantes se comentaron en detalle en el apartado 4.1 del trabajo.

4.3.2.- Escenario de Santa Bárbara

Los datos del barrio de Santa Bárbara provienen del Plan Parcial de Ordenación SUS DE 02 Santa Bárbara 2 y los planos de sectorización del PGOU. En el año 2016 fue aprobado provisionalmente el Plan Parcial de Ordenación del sector SUS-DE-02 (2009) del Plan General de Sevilla. Los terrenos que se ven acometidos en este Plan son los del área de estudio, por lo que este proyecto propone la creación de una macro-urbanización en la zona, viéndose afectadas las características ecológicas de esta. El área de actuación de este proyecto no implica una zona al norte del área de estudio, en la cual se encuentra gran parte del pinar principal, por lo que consideramos que esta zona se mantiene intacta.

La red de espacios libres planteada por el Plan Parcial distingue tres niveles: 1. Parque del Canal 2. Parque Central 3. Espinas peatonales. El Parque del Canal es una gran bolsa verde que se encuentra colindante al Canal del Bajo Guadalquivir, ocupando una extensa área cumpliendo un papel de paso, de estancia y de conexión ambiental. Sin embargo, este se encuentra dividido por la red viaria hasta en cinco fragmentos. Los Parques Centrales son espacios libres equipados y dotados de servicios públicos que se encuentran en el interior del complejo urbanístico. Las Espinas peatonales son secciones de paso y comunicación entre las urbanizaciones, con amplias zonas ajardinadas. La vegetación de Parque Del Canal es similar a la de parques del mismo orden.

4.3.3 Escenario de Restauración Ecológica

La restauración ecológica de la zona se basa en la propuesta desarrollada en un Trabajo de Fin de Grado para el mismo ámbito de estudio (Senín Andrades, 2022), a la que hemos añadido detalles de los usos de suelo por elaboración propia.

Mediante dicha restauración se buscan preservar, así como elevar, las virtudes ecológicas del área de estudio y para ello se plantean diferentes líneas de actuación:

1. Búsqueda de una mejora ecológica y paisajística de las lagunas temporales, mediante su limpieza, la proporción de refugios para la fauna y la mejora de los cauces que permiten el llenado de las mismas.
2. Desarrollo de un Parque lineal del Canal, el cual está compuesto por vegetación autóctona. A su vez, cuenta con múltiples equipamientos para realizar actividades deportivas y de ocio.
3. Conectar el área de estudio con el Parque del Tamarguillo mediante pasarelas verdes que permitan conectar la fauna, así como viandantes y ciclistas.
4. Implantación de huertos ecológicos urbanos y cultivos agroecológicos en una fracción del área destinada actualmente a cultivos de otra índole.
5. Reforestación con especies autóctonas y restauración de grandes terrenos, permitiendo magnificar la biodiversidad local, así como múltiples SE. También se instalan estructuras de protección y refugios de fauna.
6. Desarrollo de un Jardín Botánico en el área actualmente ocupada por las ruinas de las Bases norteamericanas. Cumple un papel de recurso educativo y ambiental, así como proporcionar calidad paisajística y aportar biodiversidad.

7. Desarrollar una infraestructura urbana en el sector SUO-DE-01 con un viario ecológico, proporcionando amplias zonas verdes y peatonales, así como sistemas de drenaje urbano sostenible.

Por elaboración propia, desarrollamos el diseño de la infraestructura urbana del sector SUO-DE-01, utilizando un viario sostenible y amplias zonas verdes. A su vez, introducimos algunos componentes más que pudieran elevar los SE del lugar, tales como una laguna temporal en el jardín botánico y pasarelas verdes que conecten todas las zonas verdes. Para una completa restauración del lugar, planteamos también un plan de renaturalización del tramo encauzado situado en el área de estudio del Canal del Bajo Guadalquivir, así como una restauración de los tramos del arroyo Ranillas que recorren las fronteras norte del área de estudio.

5.- RESULTADOS

5.1.- Escenarios de estudio

5.1.1.- Escenario actual

Los tipos de suelo que marcaron la situación actual fueron principalmente el monocultivo de cereal y algodón y el erial con pastizal. Las edificaciones fueron escasas, existiendo únicamente una estación eléctrica de transformación en el extremo sur del terreno y multitud de edificios abandonados naturalizados en el entorno que conforman la antigua base americana (Díaz Rodríguez, com. pers.).



Figura 6. Mapa detallado del escenario actual. Fuente: Elaboración propia con Google Earth mediante datos de *Google Earth Pro* y visitas al lugar.

5.1.2.- Escenario de Santa Bárbara

Este escenario se vio marcado por el aumento de las edificaciones y de la red viaria. La laguna temporal “El Sapo” se eliminó, transformándose su terreno en un parque central de Santa Bárbara. Sin embargo, la laguna “Los Moritos” se conservó pasando a formar parte del Parque del Canal.



Figura 7. Mapa detallado del escenario De Santa Bárbara. Fuente: Elaboración propia con *Google Earth Pro* con datos del Plan Parcial de Ordenación del sector SUS-DE-02 del Plan General de Sevilla.

5.1.3 Escenario de Restauración Ecológica

En el escenario de restauración ecológica fue notoria la transición a un entorno mucho más verde, priorizando la infraestructura azul del área de estudio.

El diseño finalizado de la infraestructura urbana del sector SUO-DE-01 contó con 4 tipos de uso del suelo: 1. Edificaciones 2. Espinas peatonales (áreas peatonales con amplias zonas verdes) 3. Equipamientos 4. Vías de comunicación. A su vez, se añadió una laguna permanente en el Jardín Botánico, así como múltiples pasarelas verdes que conectan los fragmentos de zonas verdes separados por la red viaria.



Figura 8. Mapa detallado del escenario de Restauración Ecológica. Fuente: Elaboración propia con *Google Earth Pro* a partir TFG e ideas propias. (Senín Andrades, 2022)

5.2.- Cuantificación de los Servicios de los Ecosistemas



Figura 9. Mapa de los tipos de uso de suelo en el escenario actual. Fuente: Elaboración propia en *Google Earth Pro* con datos de visitas al lugar y comunicación personal.



Figura 10. Mapa de los tipos de uso de suelo en el escenario de Santa Bárbara. Fuente: Elaboración propia en *Google Earth Pro* con datos del PGOU de Sevilla (2009).



Figura 11. Mapa de los tipos de uso de suelo en el escenario de Restauración Ecológica. Fuente: Elaboración propia en *Google Earth Pro* con datos de TFG e ideas propias (Senín Andrades, 2022).

Se observaron claras diferencias entre los tres escenarios. El escenario actual fue el único que cuenta con eucaliptal y cultivos (Figura 9). Sin embargo, la superficie ocupada por los eucaliptos no es lo suficientemente alta como para tener un papel relevante. La superficie ocupada por edificaciones y vías de comunicación fue muy baja, lo que permite que gran parte de terreno aporte los SE cuantificados. En la situación ‘barriada de Santa Barbara’ encontramos una enorme diferencia frente a la actualidad (Figura 10). Los tipos de uso de suelo nuevos que aparecen son jardines, arbustos y árboles libres, todos ellos asociados al viario urbano construido en la zona. A su vez, vemos un aumento de las edificaciones y vías de comunicación, las cuales se extienden por el área ocupada por los cultivos y el erial con pastizal del escenario actual. El suelo usado como bosque aumentó, lo cual se verá reflejado en los servicios llevados a cabo por este. Las zonas de agua se vieron disminuidas hasta tal punto de eliminar por completo la Laguna “El Sapo”, así como los cauces naturales que procedían al llenado de la misma. La Laguna “Los Moritos” se conservó, ya que se encuentra en una zona verde. En el escenario de restauración ecológica observamos un claro aumento del área boscosa total (Figura 11). La superficie destinada al viario urbano es menor que en la situación ‘Santa Barbara’ y cuenta con mayor proporción de jardines. A su vez, las zonas de agua se vieron conservadas e incluso aumentaron por la incorporación de dos lagunas. Los huertos urbanos ocuparon una gran extensión de terreno en este último escenario.

Tabla 3. Servicios ecosistémicos (SE) generados en el Escenario Actual por cada tipo de uso de suelo. Fuente: Elaboración propia con Excel 2021.

Usos de suelo / Servicios ecosistémicos	Área (ha)	Área (% del total)	Purificación del aire (% del total)	Almacenamiento de carbono (% del total)	Reducción de ruido (% del total)	Retención de escorrentía (% del total)	Enfriamiento (% del total)	Recreación (% del total)
Árbol	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosque	23	7.41	29.09	68.74	70.49	8.03	13.77	19.71
Eucaliptal	5.34	1.72	5.89	18.44	-	1.87	3.20	4.58
Arbustos	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	12.4	4.01	-	-	-	5.00	3.73	12.57
Pastizal	96	30.98	33.79	3.12	22.63	30.88	28.79	29.09
Jardín	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultivo	168	54.3	31.27	9.68	6.62	54.19	50.50	34.02
Huerto urbano	-	-	-	-	-	-	-	-
Otro	4.7	1.51	-	-	-	-	-	-

Tabla 4. Servicios ecosistémicos (SE) generados en el escenario de Santa Bárbara por cada tipo de uso de suelo. Fuente: Elaboración propia con Excel 2021.

Usos de suelo / Servicios ecosistémicos	Área (ha)	Área (% del total)	Purificación del aire (% del total)	Almacenamiento de carbono (% del total)	Reducción de ruido (% del total)	Retención de escorrentía (% del total)	Enfriamiento (% del total)	Recreación (% del total)
Árbol	13.11	4.23	21.02	8.92	-	9.15	10.54	7.45
Bosque	88.65	28.62	66.91	88.63	73.88	64.11	71.31	71.45
Eucaliptal	-	-	-	-	-	-	-	-
Arbustos	2.34	0.75	1.94	1.16	8.92	1.42	1.88	1.11
Agua	6.09	1.96	0	0	0	5.06	2.45	5.72
Pastizal	18.76	6.05	4.95	0.20	6.08	12.47	7.54	5.33
Jardín	15.56	5.02	5.15	1.06	11.10	7.76	6.25	8.85
Cultivo	-	-	-	-	-	-	-	-
Huerto urbano	-	-	-	-	-	-	-	-
Otro	165.17	53.33	-	-	-	-	-	-

Tabla 5. Servicios ecosistémicos (SE) generados en el escenario de Restauración ecológica por cada tipo de uso de suelo. Fuente: Elaboración propia con Excel 2021

Usos de suelo / Servicios ecosistémicos	Área (ha)	Área (% del total)	Purificación del aire (% del total)	Almacenamiento de carbono (% del total)	Reducción de ruido (% del total)	Retención de escorrentía (% del total)	Enfriamiento (% del total)	Recreación (% del total)
Árbol	6.68	2.15	6.62	2.22	-	2.29	2.69	1.78
Bosque	193.80	62.57	82.44	94.72	71.75	68.76	78.14	73.09
Eucaliptal	-	-	-	-	-	-	-	-
Arbustos	6.35	2.05	3.28	1.54	16.41	1.89	2.56	1.40
Agua	18.87	6.09	-	-	-	7.69	3.80	8.37
Pastizal	11.63	3.75	1.61	0.06	1.26	3.79	2.34	1.54
Jardín	16.36	5.28	3.38	0.54	7.92	4.00	3.29	4.35
Cultivo	-	-	-	-	-	-	-	-
Huerto urbano	35.42	11.43	2.57	0.88	2.63	11.55	7.14	9.43
Otro	20.56	6.63	-	-	-	-	-	-

Con respecto a los SE cuantificados, contamos con tablas que nos muestran la contribución relativa de cada tipo de suelo a cada SE. En la situación actual (Tabla 3) se pudo observar como los tres primeros servicios (purificación, almacenamiento y reducción de ruido) fueron realizados en su mayoría por los bosques (bosque + eucaliptal), aún cuando estos tipos de suelo solo ocupaban un 7.41% y 1.72% del terreno, respectivamente. Sin embargo, los cultivos, ocupando más de la mitad del área de estudio tan solo realizaron un 31.27% de purificación, 9.68% de almacenamiento y un 6.62% de reducción de ruido. Los SE de retención de escorrentía y enfriamiento se vieron generados en gran parte por los cultivos y pastizal, puesto que son los suelos mayoritarios (54.30% y 30.98% del área, respectivamente). El servicio de recreación fue generado en su mayoría por los suelos más abundantes, los cultivos. Sin embargo, estos suelos de cultivos tienen el valor relativo de recreación más bajo. Los bosques y las zonas inundadas del escenario actual contribuyeron a la recreación de manera importante (llegando a un 30% entre ambos suelos) a pesar de contar con un escaso 10 % de la superficie total (Tabla 3).

En los suelos de la situación de desarrollo urbanístico ‘Santa Bárbara’, los bosques, siendo el segundo tipo de suelo más abundante después del tipo “Otros” (que no contribuyen a los SE cuantificados), fueron los que más contribuyeron a generar todos los SE (Tabla 4). Con un 28.62% de superficie ocupada por bosques, estos generaron la mayoría de SE, llegando al 88.63% en la producción de almacenamiento de carbono. Los suelos del tipo jardín, arbusto y árboles libres, todos ellos asociados al viario urbano, aún contando con una superficie muy escasa del área total de estudio, contribuyeron de forma importante a los SE cuantificados. Por un lado, los árboles libres, con tan solo el 4.23% de la superficie total, generaron el 21.02% de la purificación del aire de todo el área de estudio, debido a que este suelo se encuentra rodeando las vías urbanas que actúan como fuentes de contaminación. Los arbustos, a pesar de no llegar al 1% del área total, generaron el 8.93% de la reducción de ruido de todo el territorio, gracias al poder que este tipo de vegetación tiene para cumplir dicho servicio si es colocado junto a las fuentes de ruido. El agua total del territorio disminuyó desde el escenario actual con 4.01% a 1.96% en ‘Santa Bárbara’, lo cual se reflejó principalmente en la retención de escorrentía y en la recreación (Tabla 4).

En el escenario de restauración ecológica, el bosque adquirió la mayor parte del territorio con un 62.57% del área total, y el suelo de tipo “Otros” disminuyó enormemente su superficie ocupada, lo que posteriormente tendrá consecuencias en los SE cuantificados. En este escenario, el bosque también generó más de la mitad de todos los SE, al igual que ocurría en ‘Santa Bárbara’.

Con la disminución del tamaño de la infraestructura urbana en este escenario, también disminuyeron los suelos verdes asociados a ella. Sin embargo, gracias al carácter sostenible de la urbanización, la superficie de jardines se mantuvo parecida al entorno de ‘Santa Bárbara’, a pesar de la gran disminución del espacio urbano. Las zonas de agua alcanzaron un 6.09% del territorio total, superando en un 2% a la situación actual (Tabla 5).

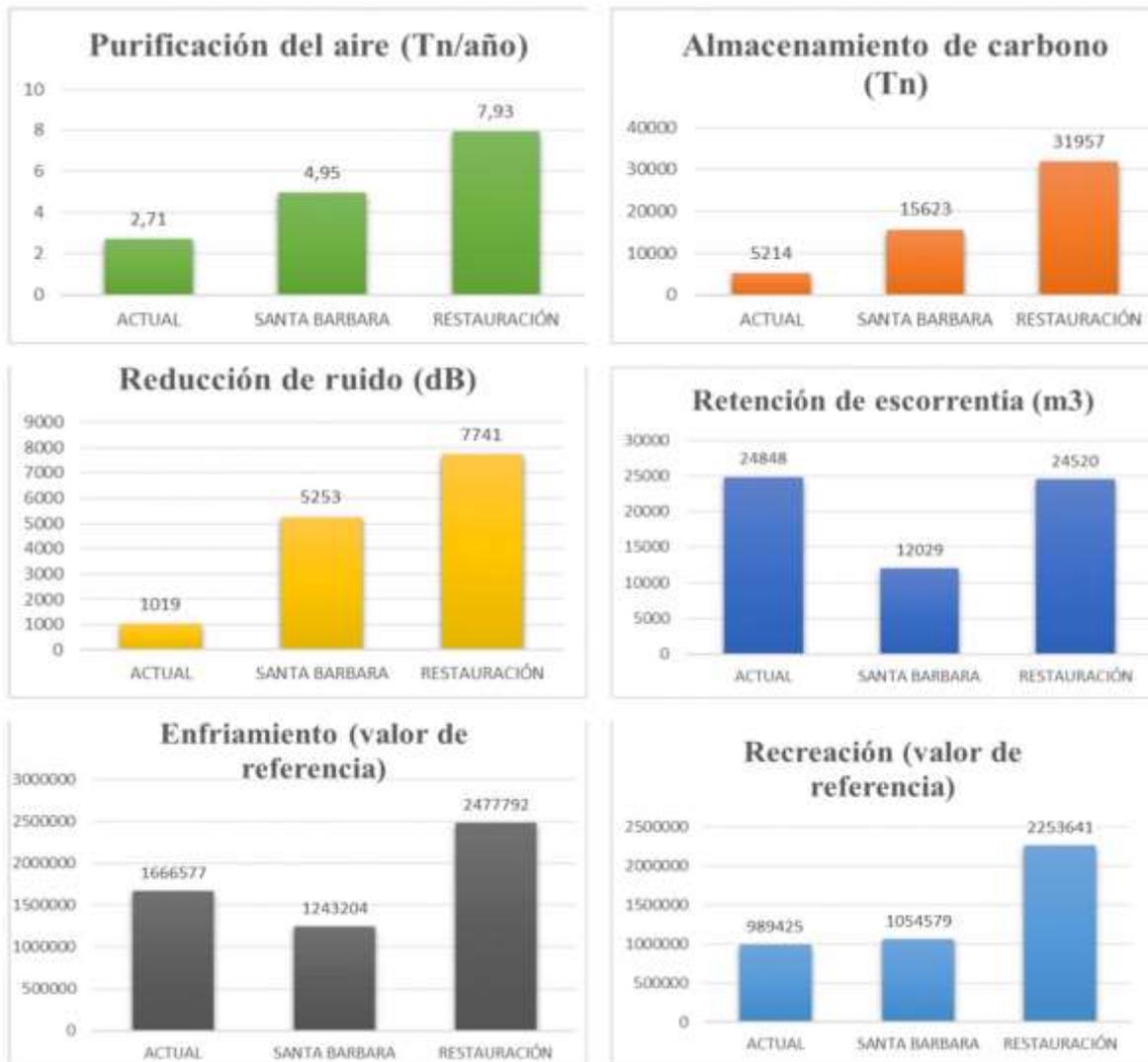


Figura 12. Cuantificación de Servicios Ecosistémicos (SE) en tres escenarios: situación actual, desarrollo urbanístico de la barriada ‘Santa Bárbara’, y escenario de restauración ecológica de la zona de estudio. Arriba izquierda: Purificación del aire. Arriba derecha: Almacenamiento de carbono. Centro izquierda: Reducción de ruido. Centro derecha: retención de escorrentía. Abajo izquierda: Enfriamiento. Abajo derecha: Recreación.

Fuente: Elaboración propia con *Excel* 2021.

Se pudo observar como el escenario de restauración ecológica generó mayor SE totales que los demás escenarios, a excepción de la retención de escorrentía, la cual fue superada por la situación actual (Figura 12). La purificación del aire y el almacenamiento de carbono, al estar muy ligadas a la cantidad de bosques, árboles libres y arbustos fue mucho menor en el escenario actual, por la ausencia de estos dos últimos y la escasez de áreas boscosas. En la situación ‘Santa Bárbara’, a pesar de que la mitad del área total de estudio esté ocupada por edificaciones y vías que no contribuyen al aumento de los SE, sí que aumentó la cantidad de bosques por la instauración del Parque del Canal, y esto se observó claramente en la producción de servicios tales como purificación del aire y el almacenamiento de carbono (Figura 12).

La reducción de ruido es un servicio que únicamente se genera si la distancia del espacio verde a la fuente de contaminación acústica es menor de 50 m, por lo que existe una clara relación entre fuentes de contaminación (viario urbano) y dotación de este servicio. En el escenario actual los carriles que generan ruido son muy escasos, por lo que las zonas verdes que producen su reducción también lo son. Sin embargo, el escenario de restauración ecológica contó con mayor producción de este servicio que el escenario de ‘Santa Bárbara’, aun cuando este último contuvo una red viaria muy superior. Esto se debe a que en la restauración las zonas verdes urbanas son muy superiores y todas las vías están rodeadas de vegetación capaz de amortiguar el ruido de la manera más eficiente posible (Figura 12).

Los resultados de la cuantificación de la retención de escorrentía nos indicaron que el escenario actual es el que más genera este servicio, seguido de la restauración y por último, Santa Bárbara. Este servicio es llevado a cabo por todos los tipos de suelo en altas cantidades, a excepción de los jardines (por incluir áreas peatonales), lo que quiere decir que a mayor proporción de suelo sin edificar, mayor capacidad para retener la escorrentía se obtendrá. Por lo tanto, como el escenario actual tiene escasa edificación y vías, todos los demás suelos participan en la escorrentía, a diferencia de Santa Bárbara, dónde la mayor parte del suelo está cubierto por infraestructura gris. A su vez, las zonas de agua participan más que las demás en la generación de este servicio y, al verse estas reducidas en el escenario de Santa Bárbara, menos contribución a la retención se dará (Figura 12).

La capacidad de enfriamiento aumenta mucho con la vegetación (bosque, árboles libres y arbustos). La restauración ecológica, por su elevada cantidad de área boscosa contó con la mayor producción de este servicio. El escenario actual obtuvo una elevada tasa de enfriamiento, debido a

que la mayoría del área de estudio puede contribuir al servicio, a diferencia de Santa Bárbara, dónde a pesar de portar mayor área boscosa, la mayor parte de la superficie de estudio no genera ningún enfriamiento (Figura 12).

El valor recreativo generado por los ecosistemas obtuvo una tasa mucho más elevada en el escenario de restauración ecológica. Este escenario, portando más de la mitad de la superficie total de bosque y mayor masa de agua, genera altos índices de este servicio. El escenario de Santa Bárbara y el actual mostraron niveles similares, aunque superados por Santa Bárbara. En la situación actual, a pesar de portar mayor superficie contribuyente al aumento de los SE, gran parte del terreno son cultivos y pastizal, los cuales portan bajo valor recreativo (Figura 12).

6.- DISCUSIÓN

Este trabajo fin de grado demuestra como una adecuada gestión de un territorio, priorizando infraestructuras verdes y sostenibles, así como restaurando zonas con elevado valor ecológico, es capaz de aumentar enormemente los servicios que nos brindan los ecosistemas.

Nuestros hallazgos subrayan la importancia de un diseño cuidadoso del espacio verde urbano en la planificación de las ciudades para la provisión de SE. Basándonos en los últimos conocimientos sobre cómo los diferentes tipos de suelo brindan SE, los métodos presentados en este estudio permiten una cuantificación y un mapeo más detallados del suministro de SE en las ciudades. La posibilidad de obtener información sobre los paquetes de SE generados por las áreas urbanas, permite diseñar infraestructuras con determinadas distribuciones y combinaciones de suelos verdes en función de la demanda de SE. Dicho conocimiento es indispensable en la búsqueda de ciudades más saludables y resilientes al clima, lo cual aparece recogido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU. Además, los datos extraídos pueden ser usados como indicadores en muchos contextos urbanos para mejorar las cualidades ecológicas y para realizar comparativas con otras ciudades (Vásquez, 2016).

En la actualidad existe una falta de marcos teórico-metodológicos que vinculen la corriente principal de investigación en SE con la planificación de espacios verdes urbanos y suburbanos (Hansen y Pauleit, 2014). Se deben realizar esfuerzos para vincular la teoría bien contrastada sobre los SE con la gestión y ordenación del territorio urbano y, más aun, conociendo el papel que cumplen la infraestructura verde y azul en la planificación de las ciudades junto con los SE en la

lucha contra el cambio climático. Los SE permiten a las ciudades ser agentes activos en la mitigación de la intensidad y velocidad con que se presenta el cambio climático, así como a adaptarse a los impactos adversos derivados del calentamiento global (Hamin y Gurran, 2009).

El método de cuantificación de los SE que hemos utilizado lo basamos, fundamentalmente, en un estudio (Derkzen *et al.*, 2015) que recopilaba toda la evidencia actual sobre cuantificación de SE discerniendo entre diferentes tipos del suelo en el ámbito urbano. Se trata de un método bastante novedoso y que actualmente cuenta con muchas carencias, ya que los datos de SE relativos a cada tipo de suelo utilizados aquí se extrajeron de mediciones en el medio rural, debido a la falta de investigaciones serias sobre cómo los espacios verdes urbanos contribuyen a aumentar SE. La atención limitada que reciben los SE urbanos puede explicarse por el tamaño pequeño de los ecosistemas urbanos y el valor ecológico relativamente bajo (Davies *et al.*, 2011). No obstante, dado el grado de alteración que presentan y la importancia de conservar funciones también en áreas antropizadas, es importante tener en cuenta el valor de los ecosistemas urbanos, sea por la cercanía a un mayor número de personas, como por la capacidad para concentrar gran número de funciones diversas en el mismo espacio.

El presente trabajo ha contado con ciertas limitaciones. Por un lado, y debido a la falta de bibliografía especializada sobre cómo los huertos urbanos contribuyen al aumento de los SE, carecimos de datos sobre este tipo de uso del suelo. Estimamos los datos mediante comparaciones con los cultivos tradicionales, aportándole a los huertos un valor superior en algunos SE siguiendo la aproximación agroecológica que indican algunas publicaciones al respecto (Díaz-Rodríguez, 2018). A su vez, ocurrió lo mismo con el eucaliptal. Ante un tipo de bosque con unas características bastante diferentes, optamos por crear un uso del suelo exclusivo para este. Para ello, aumentamos levemente los valores de purificación y almacenamiento en este tipo de uso del suelo. En cuanto al valor recreativo, contamos con diversos problemas. Este servicio se cuantifica a partir de una visión subjetiva y variable, por lo que no coincidimos con los valores de recreación asignados en un trabajo realizado en Rotterdam (Derkzen *et al.*, 2015). Por ello, asignamos valores de recreación en función de lo que nosotros consideramos más apropiado para la población sevillana, priorizando, por ejemplo, espacios de agua antes que espacios boscosos.

El propio Estatuto de Autonomía de Andalucía recoge *'El derecho a vivir en un medio ambiente equilibrado, sostenible, saludable, así como a disfrutar de los recursos naturales, del entorno y el paisaje en condiciones de igualdad, debiendo hacer un uso responsable del mismo*

para evitar su deterioro y conservarlo para generaciones futuras'. Actualmente, la ciudad de Sevilla cuenta con un ratio de zona verde/habitante de 13,9 m²/habitante, de los cuales 12,5 corresponden a zonas verdes mayores de 5000 m² (IECA, 2016). La ONU recomienda al menos 20 m² de zonas verdes por habitante, no solo en valor absoluto, sino que tienen que ser cercanas y accesibles, por lo que Sevilla ha de dedicar recursos para fomentar la infraestructura verde, tal y como la presentada en este trabajo. Teniendo en cuenta estas indicaciones, las ciudades deberían seguir la regla 3-30-300 de forma que cada persona pueda ver al menos 3 árboles desde su casa, tener 30% de cobertura vegetal en su barrio y estar a 300 metros de un parque o una zona verde que ofrezcan oportunidades de interacción social y mejoren las condiciones ambientales del entorno local.

El Plan Estratégico Sevilla 2030 plantea impulsar cambios para fomentar un urbanismo fundamentado en parámetros bioclimáticos y saludables, de forma que la materia aprendida sobre SE podrá adquirir un plano primario en la gestión del territorio. Para ello, existen proyectos pilotos, tales como el PCT Cartuja y, con el objetivo de aumentar el espacio verde urbano, el parque metropolitano de Tablada (PES 2030). Sería interesante que se contara con nuestra área de estudio para contribuir al desarrollo de un anillo verde en la ciudad de Sevilla como, al parecer, se propone el Ayuntamiento de Sevilla antes de 2025 (Parejo, *Diario de Sevilla*, 2021).

El Plan Parcial de Ordenación de SUS-DE-02, para el cual basamos el escenario de desarrollo urbanístico 'Santa Bárbara' en el presente trabajo, tiene presente la sostenibilidad, ya que se trata de un proyecto aprobado en el año 2016. Según se cita en el documento: '*La intención es de conseguir un uso más eficiente de los recursos, una mayor calidad de vida y un mejor equilibrio con el ecosistema, además de una necesaria impronta sobre la conciencia social*'. Los hallazgos de este trabajo demuestran que los SE generados son, a excepción del enfriamiento y la retención de escorrentía, superiores a los que nos aporta el área actualmente. Sin embargo, este tipo de macro-urbanización vendrían a empeorar los problemas de infiltración de agua al freático y colapso en la red de alcantarillado, dificultando el control de las avenidas que se vienen produciendo de forma recurrente en el Distrito, afectaría a un enclave único desde la perspectiva de los servicios que ofrece la biodiversidad, útiles también, dada su cercanía a la ciudad, desde el punto de vista humano (biodiversidad cultural) y, desde luego, no apuntan hacia el aumento en la superficie verde y accesibilidad en una ciudad con escasez de espacios verdes por habitante y en lucha contra el cambio climático.

Por otro lado, los humedales de alta singularidad ecológica situados en la zona de estudio del Distrito Este de la ciudad de Sevilla, formados por la llanura de inundación de los arroyos Ranillas y Tamarguillo y las charcas y lagunas temporales del área de estudio, tienen un elevado potencial en la conectividad ecogeográfica de la ciudad (Díaz-Rodríguez, 2022; Morales y García, 2006). Este trabajo contribuye a la idea de crear un anillo verde que conecte áreas como ésta de la periferia de Sevilla, que sin lugar a dudas servirán de “input” a la biodiversidad en sentido amplio (de especies, paisajística y genética) pudiéndose utilizar los cauces de los arroyos como corredores de vegetación y fauna en una ciudad muy condicionada por su relación con la compleja red de ríos y cauces (García, 2004; del Moral, I. 1992). Un ejemplo exitoso de este tipo de proyectos es la ciudad de Vitoria-Gasteiz, la cual es bien conocida por infraestructura verde (Centro de Estudios Ambientales, 2014). Esta ciudad aprovechó los cauces naturales existentes para crear corredores fluviales con bastante éxito (Tello y del Moral, 2021).

Se debe continuar trabajando para mejorar nuestra relación con el entorno natural que nos rodea. A su vez, la cuantificación de SE en diferentes escenarios es una herramienta clave a la hora de tomar decisiones informadas sobre la gestión del territorio en la situación de cambio climático actual.

7.-BIBLIOGRAFÍA

- Aertsens, J., De Nocker, L., Lauwers, H., Norga, K., Simoens, I., Meiresonne, L., Turkelboom, (2012) Daarom Groen! Waarom U Wint Bij Groen in Uw Stad of Gemeente. VITO, Mol.
- Andersson, E., Tengö, M., McPhearson, T. & Kremer, P. (2014) Cultural ecosystem services as a gateway for improving urban sustainability. *Ecosystem Services*, 12, 165–168.
- Armson, D., Stringer, P. & Ennos, A.R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 282–286.
- Ayuntamiento de Sevilla. (2016) Mapa Estratégico del Ruido del Término Municipal de Sevilla, Enero 2016.
- Ayuntamiento de Sevilla. (2019). *Objetivos y Estrategias Sevilla 2030*.
- Ayuntamiento de Sevilla. (2022) *El Inventario de Árboles y Arboledas Singulares de Sevilla*.

- Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.
- Centro de Estudios Ambientales. (2014). La Infraestructura verde urbana de Vitoria-Gasteiz documento de propuesta.
- Céréghino, R., Biggs, J., Oertli, B. & Declerck, S. (2008). The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597: 1-6.
- Chaparro, L. & Terradas, J. (2009) Ecological Services of Urban Forest in Barcelona. Àrea de Medi Ambient, Institut Municipal de Parcs i Jardins, Barcelona.
- Córdoba Hernández, R. & Martí Guitera, I. (2022) Conectividad entre aportes ecosistémicos y el futuro de nuestra ciudades. XIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Bogotá.
- De la Barrera, F., Elizalde, P., Moraga, S., Oporto, A., PuLGAR, C., San Martín, L., Sepúlveda, G. & Serey, I. et al, (2009) "Ecosistemas públicos, red de humedales y esteros urbanos de Placilla, Valparaíso: Una propuesta urbano-ambiental de recuperación de barrios" *Revista de Arquitectura* (19), PP. 26-33
- De la Barrera, Francisco. (2011). Aplicación de Servicios ecosistémicos para la gestión ambiental de ciudades. *Socializar conocimientos* (pp.90-95)
- Del Moral Ituarte, L. (1991). La obra hidráulica en la cuenca baja del Guadalquivir (siglos XVIII-XX). *Gestión del agua y organización del territorio*. Universidad de Sevilla, 134 p.
- Derkzen, M.L., van Teeffelen, A.J.A. and Verburg, P.H. (2015), Review: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *J Appl Ecol*, 52: 1020-1032.
- Díaz-Rodríguez, Francisco Jesús (2018) Mejora de la biodiversidad de la huerta urbana. Guía de buenas prácticas.
- Díaz-Rodríguez, Francisco Jesús (2022) Informe de Solicitud para iniciar el procedimiento de inclusión del sistema de lagunas temporales de "el Sapo" y "Buena Esperanza" en el Inventario de Humedales de Andalucía (IHA).
- Engelberth Soto-Estrada, (2019) Estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia. *Rvdo. Internacional contar Ambiente*, vol.35, n.2, pp.421-434.
- Engemann, K., Pedersen, C. B., Arge, L., Tsirogiannis, C., Mortensen, P. B., y Svenning, J. C. (2019). Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric

- disorders from adolescence into adulthood. *Proceedings of the national academy of sciences*, 116(11), 5188-5193.
- Figueroa, E., Arroyo-Solís A., Doblás D., Castillo J.M., Rubio A.E. (2007) *Calles aladas, las aves de la ciudad de Sevilla y su entorno*. Secretariado de Publicaciones, Vicerrectorado de investigación, Universidad de Sevilla.
- García, A. G. (2004). Potencialidades de la rehabilitación de cursos fluviales en el marco de los nuevos modelos urbanos. El ejemplo del arroyo Tagarete en Sevilla. *Andalucía Geográfica*, (10), 18-25.
- Hostetler, M. & Escobedo, F. (2010) *What Types of Urban Greenspace Are Better for Carbon Dioxide Sequestration?* University of Florida, Gainesville.
- IGN: Fototeca Digital
- Informe de Evaluación de la Calidad del Aire en España 2021, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Juan Ramón Senín Andrades, 2022, *Evaluación de la potencialidad para la conformación de una infraestructura verde en el Distrito Este-Alcosa-Torreblanca, Sevilla*. TFG. Grado en Ciencias Ambientales, UPO.
- Karis, Clara María; Ferraro, Rosana Fatima (2021); *Servicios Ecosistémicos Culturales en Mar del Plata (Argentina). Aportes al estudio de las relaciones entre espacios verdes y calidad de vida a partir de indicadores ambientales*; *Universidade Federal do Paraná; Ra'eGa*; 51; 143-158
- La ciudad como hábitat para fauna amenazada por el cambio climático: el caso de los anfibios y reptiles (2020)
- Leiva G, M.A., Santibañez, D.A., Ibarra E, S., Matus C, P. & Seguel, R. (2013) A five-year study of particulate matter (PM2.5) and cerebrovascular diseases. *Environmental Pollution*, 181, 1–6.
- Morales Carballo, L., García García, A. (2006) “El arroyo Tamarguillo y la articulación de un sistema de espacios libres en la ciudad de Sevilla. Crítica al proyecto de nuevo encauzamiento”. V Congreso Ibérico sobre gestión y Planificación del Agua. 04-08 diciembre de 2006. Faro. Portugal

- Ostro B., Tobias A., Querol X., Alastuey A., Amato F., Pey J., Pérez N., Sunyer J., (2011). The Effects of Particulate Matter Sources on Daily Mortality: A Case-Crossover Study of Barcelona, Spain. *Environmental Health Perspectives* 119 (12).
- Parejo J. 29 de diciembre de 2020. Así es el anillo verde metropolitano de 42 kilómetros que Sevilla quiere tener en 2025 *Diario de Sevilla* https://www.diariodesevilla.es/sevilla/anillo-verde-42-kilometros-proyecta-Sevilla_0_1532846906.html Consultado el 16 de noviembre de 2022.
- Pauleit, S. & Duhme, F. (2000) Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52, 1–20.
- Plan Parcial de Ordenación SUS-DE-02 Santa Bárbara 2 Sevilla, Eddea Arquitectura y Urbanismo Slp, Febrero 2016
- Pleguezuelos, J. M., Márquez R., & Lizana, M. (2002). Atlas y Libro Rojo de los anfibios y reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión). Madrid.
- R. S., 6 Julio 2021. Sevilla tendrá un anillo verde metropolitano de 42 kilómetros con más de 25.000 árboles, *Diario de Sevilla*. https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Sevilla-anillo-verde-metropolitano_0_1589842232.html Consultado el 16 de noviembre de 2022.
- Robla, J., González-García V., Moreno-Portillo E. & Díaz-Rodríguez J. Diversity among temporary ponds with different invasive species in Seville (Southern Spain): an unexpected refuge for threatened fauna. IV Congreso Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras. Navarra, 20 al 23 de abril de 2022. Spain
- Rodríguez-Rodríguez E.J. & Carmona-González R. (2022). Microhumedales de importancia para anfibios en el entorno periurbano de Sevilla. *Boletín de la Asociación Herpetológica de España* 32(1)
- Sayago Ortega, J. (2016) Servicios ecosistémicos en cultivos de *Coffea arabica* L.: almacenamiento de carbono en la localidad de Arroyo de las Cañas Veracruz.
- Sistema de indicadores ambientales de la red de información ambiental de Andalucía, IECA 2015.
- Skelhorn, C., Lindley, S. & Levermore, G. (2014) The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: a fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129–140.

- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D. & Freer-Smith, P. (2011) Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103, 129–138.
- Tello, D. F., & del Moral Ituarte, L. (2021) La Infraestructura Verde y sus potencialidades para la regeneración de territorios fluviales: ejemplos de buenas prácticas a diferentes escalas. *Agua y territorio Water and Landscape*, (18), 39-59.
- Tratalos, J., Fuller, R.A., Warren, P.H., Davies, R.G. & Gaston, K.J. (2007) Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 83, 308–317.
- V. García, Patricia, 27 Diciembre 2021. Cuatro días sin poder salir de casa a causa de las inundaciones provocadas por el temporal en Sevilla, *Nius Diario*.
https://www.niusdiario.es/espana/andalucia/cuatro-dias-salir-casa-inundaciones-provocadas-temporal-sevilla_18_3257373028.html Consultado el 15 de noviembre de 2022.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D. & Verheyen, K. (2012) Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, 331, 2404–2425.
- Vásquez, Alexis E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 63-86.