

Universidad Rey Juan Carlos
Escuela Superior de Ciencias Experimentales y
Tecnología



CIENCIAS AMBIENTALES

Curso académico 2013/14

Practicum

**MEMORIA TÉCNICA SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS Y DE LA EFICACIA COMO SUMIDERO DE CO₂ EN LAS ZONAS
VERDES DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.**

Autor: María Ruiz Rivero

Director/Tutor: Consuelo Iriarte Campo

A mi familia, por sus palabras de ánimo y apoyo constante, gracias a los cuales ha sido posible la realización de este proyecto.

A Rafa, por estar siempre a mi lado.

A Laura, porque me has permitido conocer el valor de la amistad.

A Chele, por tu confianza y apoyo.

Y, en general, a todas las personas que han hecho posible la realización de este proyecto.

ÍNDICE

I. RESUMEN	3
II. INTRODUCCIÓN	4
III. ORGANIGRAMA	7
IV. METODOLOGÍA	8
1. METODOLOGÍA BÁSICA COMÚN PARA AMBOS ESTUDIOS.....	8
Caracterización del área de estudio.	8
Análisis cartográfico.....	8
Inventario.	9
Mediciones de especies vegetales	9
Estimación de la presencia de las formaciones vegetales.....	10
2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.....	11
Metodología básica.....	11
Cálculo de las necesidades hídricas de la vegetación presente en el campus de Fuenlabrada.	11
3. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA EFICACIA COMO SUMIDERO DE CO ₂ DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.....	13
Cálculo de la eficacia como sumidero de CO ₂ de la vegetación presente.....	13
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
1. RESULTADOS COMUNES A AMBOS ESTUDIOS.....	16
2. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.	19
3. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LA EFICACIA COMO SUMIDERO DE CO ₂ DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.	25
4. PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS ZONAS VERDES DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.....	35
VI. CONCLUSIONES	41
VIII. BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXO 1. CARTOGRAFÍA	46

I. RESUMEN

Las zonas verdes siempre han estado presentes a lo largo de la historia, debido, principalmente, a la multitud de beneficios que nos reportan, tanto psíquicos como medioambientales.

Mediante este trabajo se pretende diagnosticar la gestión del agua en las zonas verdes del campus de Fuenlabrada así como su eficacia como sumidero de carbono.

En lo referente a la gestión del agua se ha detectado un consumo excesivo, provocado por una inadaptación, de las formaciones vegetales presentes, al clima de Fuenlabrada. Este diagnóstico se ha realizado determinando las necesidades hídricas teóricas de las diferentes formaciones vegetales que componen las zonas verdes, con el consumo real de agua que experimenta el campus de Fuenlabrada, junto con el umbral determinado en la estrategia de gestión eficiente del agua en las zonas verdes del Ayuntamiento de Madrid. En concreto, se ha determinado que el excesivo consumo viene provocado por la desmesurada superficie dedicada a pradera ornamental.

La capacidad de sumidero de carbono se ha calculado mediante la fijación de CO₂ en la biomasa de los individuos vegetales al crecer, teniendo en cuenta las emisiones derivadas del mantenimiento, como depuración del agua de riego, fertilizantes, fitosanitarios, maquinaria, etc. Se ha comprobado que las zonas verdes del campus de Fuenlabrada son emisores de CO₂. Esto se debe, al igual que en el caso de la gestión del agua, a la elevada superficie dedicada a las praderas ornamentales.

A partir de este diagnóstico, se elaborarán propuestas de mejora, con la intención, no sólo de adaptar la gestión del agua al cambio climático, sino mitigarlo, convirtiendo las zonas verdes en sumideros de carbono. Para ello se ha propuesto reducir la superficie dedicada a pradera ornamental en un 80% de la superficie actual e incrementar la superficie arbórea en un 50%, con especies adaptadas al clima mediterráneo, como son *Olea europaea* (olivo), *Pinus pinea* (pino piñonero) y *Platanus hispanica* (plátano).

Con esta propuesta, se consigue disminuir el consumo de agua por debajo de 2500 m³/Ha.año y, además, incrementar la capacidad de sumidero, hasta el punto de fijar más de 80 tCO₂/año.

II. INTRODUCCIÓN

Cuando el ser humano comienza a asentarse y a construir las ciudades nace un medio artificial, que aleja al hombre de la naturaleza. Esta realidad es la causa del nacimiento de los jardines, los cuales reflejan la necesidad que tiene el hombre de estar en contacto con el medio natural. Es por ello por lo que es difícil encontrar una civilización que no haya expresado tal deseo.

En su origen, el jardín tenía un carácter mágico y sagrado. La mayoría de las religiones antiguas tienen un jardín mítico, como el Edén de los israelitas, el Eridu de los asirios, el Ida-Vasha de los hindúes o los Campos Elíseos de los griegos (Fariello, 2004). A medida que estas creencias mágicas dejan paso a la razón, el jardín se convierte en una expresión de las necesidades intelectuales y estéticas (Fariello, 2004).

El jardín se ha acercado o alejado de la arquitectura según los intereses y las circunstancias de la cultura de cada época (Álvarez Álvarez, 2007), aunque siempre han estado presentes. Esto se debe a que son numerosos los beneficios que estas zonas nos reportan.

Por un lado, influyen en el estado psicológico del ser humano positivamente, ofreciendo un lugar para descansar, relajarse, pasear, contemplar, entrar en contacto con la naturaleza y cohesionar los lazos sociales (Ros Orta, 2013).

Por otra parte, los jardines otorgan una serie de beneficios medioambientales como la regulación de la temperatura y la humedad, la liberación de oxígeno y la fijación de CO₂, la fijación y absorción de contaminantes, la filtración de las radiaciones, la amortiguación de ruidos y la implantación de la fauna, favoreciendo su presencia en el entorno urbano (Ros Orta, 2013).

Las zonas verdes, por tanto, cuentan con un papel fundamental en el desarrollo de las ciudades. Este hecho se hace patente en el caso de la ciudad de Fuenlabrada, la cual cuenta con más de 15 grandes parques que suman junto con otras zonas ajardinadas aproximadamente 400 Ha (www.ayto-fuenlabrada.es). El campus de Fuenlabrada se integra dentro del gran pulmón verde de la ciudad, aportando aproximadamente 16 Ha de zonas verdes, las cuales suponen un 32% de la superficie del campus.

El clima de Fuenlabrada es mediterráneo continental, Csa según la clasificación de Köppen (Agencia Estatal de Meteorología de España & Instituto de Meteorología de Portugal, 2011), con una media en torno a 400 mm de precipitación anual y una temperatura media anual aproximada de 15°C (www.aemet.es). Conociendo las características climáticas de Fuenlabrada, junto con las evidencias científicas de la realidad del cambio climático, aportadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos

sobre el Cambio Climático (IPPC, 2007), se puede predecir que el agua en estas zonas se va a convertir en un recurso aún más escaso de lo que ya es. El cambio climático, según el IPCC (2007), es la “variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo”, lo que implica que las precipitaciones se van a ver afectadas por esta variación reduciendo la disponibilidad de agua.

Desde este punto de vista, es necesario desarrollar una política de gestión racional y sostenible de este recurso dentro de la universidad. En el marco de la política de consumo responsable de los recursos hídricos, la Oficina Verde ha abierto una línea de trabajo sobre la gestión del agua de las zonas verdes de los campus. Esta línea de trabajo pretende adecuar las zonas verdes del campus al clima presente en la zona sin perder la funcionalidad y los servicios que estas zonas ofrecen a la comunidad universitaria. Es por ello que la jardinería del campus de Fuenlabrada se debe orientar hacia una jardinería sostenible, que aporte belleza adaptándose al entorno, sin desperdiciar recursos y respetando el medio.

La Directiva de la Unión Europea 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política del agua, establece la necesidad de velar por la protección de los ecosistemas acuáticos y promover el uso sostenible del agua a largo plazo (DO, 2000). Esta directiva se transpone al ordenamiento jurídico español mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye, en su artículo 129, la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas (BOE, 2003).

Así mismo, el ordenamiento jurídico en materia urbanística y de suelo en la Comunidad de Madrid, regulado por la Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental, establece el sometimiento al procedimiento de Análisis ambiental el planeamiento urbanístico general y, como requisito necesario, el Estudio de Incidencia Ambiental en el que se incluirán medidas para el ahorro efectivo y disminución del consumo de agua potable (BOCM, 2002).

La estrategia seguida, para la gestión del agua de riego, ha sido la propuesta en la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, de 22 de junio de 2006, en la que se recogen las medidas susceptibles de regulación, en el ámbito de su competencia, que permitan avanzar en un uso más sostenible del agua en la ciudad (BO. Ayuntamiento de Madrid, 2006). Esta ordenanza es la única que se ha encontrado, dentro de la Comunidad Autónoma de Madrid, con instrucciones claras y precisas sobre la actuación en el entorno de las zonas verdes.

Sin embargo, mediante la gestión de las zonas verdes no sólo podemos adaptarnos a las variaciones derivadas del cambio climático, sino que podemos ayudar a mitigarlo. Por ello, otro de los objetivos de la Oficina Verde es asegurar la eficacia de los campus de la universidad como sumideros

de carbono, de tal forma que sean zonas que contribuyan a la mejora del medio ambiente y permitan que la actividad diaria que en su entorno se produce sea completamente sostenible.

El Protocolo de Kyoto, sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ha sido uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Conteniendo los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir sus emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global.

La Decisión 2002/358/CE del Consejo de 25 de abril de 2002 relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DO., 2002). Sin embargo, este protocolo ha dejado de tener validez en el año 2012.

Actualmente, la U.E está trabajando en nueva estrategia, conocida como Estrategia Europa 2020. Esta estrategia trata de lograr un crecimiento inteligente, a través de inversiones más eficaces en educación, investigación e innovación, sostenible, gracias al impulso decidido a una economía baja en carbono, e integrador, que ponga el acento en la creación de empleo y la reducción de la pobreza (www.ec.europa.eu/). Concretamente, para el caso de las emisiones de CO₂, busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% en comparación con las emisiones efectuadas en 1990 (www.ec.europa.eu/). La U.E. de esta forma, continúa con el legado del Protocolo de Kyoto, incrementando el valor de los objetivos de reducción.

Uno de los medios disponibles para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera es un sumidero de carbono, que es un sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera dióxido de carbono y se almacena (www.magrama.gob.es). Las formaciones vegetales actúan como sumideros de carbono gracias a que realizan la fotosíntesis, proceso por el cual captan dióxido de carbono y, con la ayuda de la luz solar, lo utilizan para elaborar glucosa, fijándolo en su estructura.

El estudio de fijación de carbono de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada se convierte en un primer paso fundamental para conocer la eficacia de este campus como sumidero de carbono.

Por todo ello, el objetivo general de este trabajo es mejorar la gestión de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada, bajo el marco de la sostenibilidad y el consumo responsable, optimizando el consumo de los recursos hídricos y la eficacia como sumidero de CO₂.

Para alcanzar dicho objetivo general se han concretado los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico de la gestión del agua en las zonas verdes del campus.
- Realizar un diagnóstico de la eficacia como sumidero de CO₂ de las zonas verdes del campus.
- Elaborar una propuesta de mejora de la gestión de las zonas verdes de este campus.

III. ORGANIGRAMA

La realización de las prácticas se ha llevado a cabo en la Oficina Verde, órgano ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos. En el momento de realización de las prácticas, dicho órgano se encontraba enmarcado en la Oficina de Responsabilidad Social.

La Oficina Verde nace en el año 2010, a consecuencia de la adquisición del compromiso, por parte de la universidad, de conseguir que todas sus actividades docentes, investigadoras y de servicios, se rijan por criterios de sostenibilidad y respeto medioambiental.

Las actuales líneas de trabajo de la Oficina Verde son la eficiencia energética, la gestión de residuos, el consumo responsable, la movilidad sostenible y la sensibilización de la comunidad universitaria.

Durante las prácticas en la Oficina Verde, he podido trabajar en la gestión de residuos de la universidad, en la gestión de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada, he participado en campañas de concienciación del reciclaje y del comercio justo, entre otras actividades. La duración de las mismas ha sido de 360 horas durante el periodo académico 2013/2014.

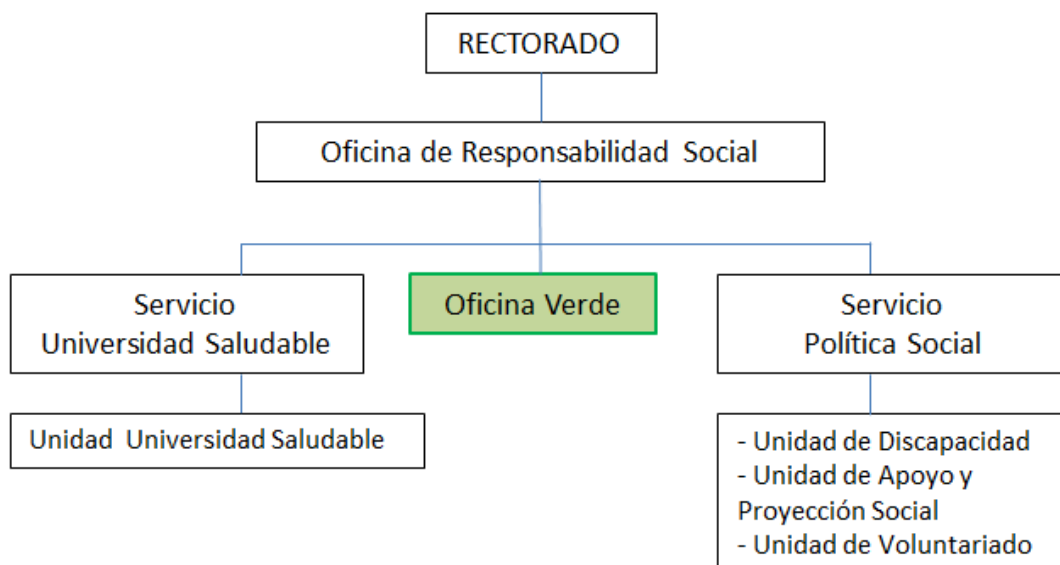


Ilustración 1. Organigrama de la Oficina Verde.

IV. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para la evaluación de la gestión del agua como para el estudio de la capacidad de sumidero de CO₂, es distinta, aunque presenta puntos en común.

1. METODOLOGÍA BÁSICA COMÚN PARA AMBOS ESTUDIOS.

Caracterización del área de estudio.

El clima de Fuenlabrada es mediterráneo continental, con una media en torno a 400 mm de precipitación anual y una temperatura media anual aproximada de 15°C (www.aemet.es).

La presencia de grandes ejemplares de *Olea europaea* (olivo), en el propio campus como en las zonas colindantes, parece indicar que antiguamente formó parte de un cultivo de olivos. Las zonas verdes del campus de Fuenlabrada se pueden dividir en dos. Por un lado, una zona de gran extensión que recorre el perímetro del campus, con un mantenimiento bajo, buscando una formación boscosa con predominancia de *Pinus pinea* (pino piñonero) y *O. europaea*. Por otro lado, una zona muy manejada, dividida en pequeñas parcelas, con predominancia de especies típicamente ornamentales de jardín y césped.

El relieve es bajo con ligeras pendientes (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid, 2007) y se pueden definir diferentes ambientes sedimentarios que configuran los distintos ámbitos litológicos. Entre ellos se destaca la presencia de depósitos de tipo aluvial y coluvial, sin olvidar la presencia de importantes rellenos antrópicos (Ayuntamiento de Fuenlabrada, 2013). Los diferentes materiales que constituyen el sustrato litológico de Fuenlabrada son, principalmente, arcosas, arenas, arcillas y limos (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid, 2007). Los tipos de suelos predominantes según la clasificación de la FAO, son los luvisoles y los alisoles (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid, 2007).

Análisis cartográfico.

Se realizó cartografía básica, lo más actualizada posible, del campus de Fuenlabrada. En ella se delimitaron las diferentes parcelas de las zonas verdes a estudiar, cada una de ellas considerada como una hidrozona independiente (Anexo 1).

Para ello, se utilizó el programa informático ArcGIS 10.3 y como base del mapa, la ortofoto de la zona del campus de Fuenlabrada, facilitada por el servidor PNOA de máxima actualidad. El sistema de coordenadas elegido fue el *European Datum* 1950 UTM zona 30 N.

Para conocer el valor de las superficies de las zonas a estudiar se utilizó la herramienta “calcular geometría” del programa ArcGIS 10.3, que permite conocer la superficie de las entidades de una capa.

Para saber si el método elegido era fiable, se comparó la superficie total del campus de Fuenlabrada hallada por ArcGIS con el dato proporcionado por la propia Universidad Rey Juan Carlos. Al coincidir ambos valores se validó el método de cálculo.

Inventario.

El inventario de especies se realizó ex-situ e in-situ. El inventario ex-situ consistió en la elaboración de un listado de especies plantadas recientemente a partir de la información recogida en informes internos de la Oficina Verde. En el inventario in-situ, en el campus de Fuenlabrada, no sólo se realizó un conteo de los individuos para determinar la abundancia de cada especie, sino también su identificación. Para la realización del inventario, en general, se seleccionaron las parcelas que presentaban el mayor número de ejemplares de las especies conocidas presentes en los jardines del campus.

Esta selección se realizó en función de la presencia de los diferentes niveles vegetales (árboles, arbustos o praderas) así como del tipo de manejo.

Mediciones de especies vegetales

Se midió el largo y el ancho de los macizos arbustivos con cinta métrica. Para los pies individuales de arbusto se midió el grosor del tronco con ayuda de una forcípula y la altura con cinta métrica.

Para los árboles se tomaron medidas de altura, diámetro normal y el diámetro menor y mayor de la copa.

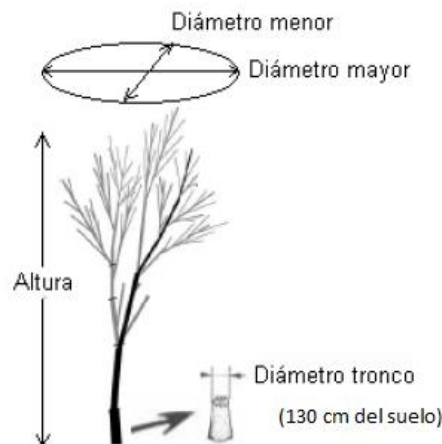


Ilustración 2. Variables morfológicas medidas (adaptado de García Rosa, 2013).

El diámetro normal de los troncos se midió mediante una forcípula, realizando la media aritmética de la medida de la longitud transversal y longitudinal del tronco, a una altura de 130 cm. La altura se obtuvo con un medidor láser mediante triangulación, a 20 metros de distancia de la base, midiendo la distancia a la copa y a la base. No se tomaron medidas de altura para los individuos de *Pinus pinea* (pino piñonero), *Olea europaea* (olivo) y *Quercus ilex* (encina), ya que no eran necesarias para el resto de cálculos. Las medidas del diámetro de las copas se realizaron con una cinta métrica.

Se clasificaron los individuos según el tamaño de diámetro en tres clases:

- Individuos con un diámetro troncal mayor a 18 cm.
- Individuos con un diámetro troncal comprendido entre 10 y 18 cm.
- Individuos con un diámetro de tronco inferior a 10 cm.

Por último, se determinó una altura y un diámetro normal para cada clase diametral, a partir de la media aritmética de las medidas efectuadas.

Estimación de la presencia de las formaciones vegetales

La presencia arbustiva y arbórea se determinó mediante el cálculo de la fracción de la cubierta cubierta (FCC). La FCC es la fracción de la parcela ocupada por la proyección vertical de las copas, ya sean arbustivas o arbóreas (Serrada, 2008). Esta FCC se calcula mediante (1):

$$FCC = \frac{\text{Superficie copas} \times \text{n}^\circ \text{ de pies}}{\text{Superficie total}} \times 100 \quad (1)$$

La superficie de césped se calculó mediante la diferencia de la superficie total de cada parcela con la superficie arbustiva y arbórea correspondiente.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.

Metodología básica.

Los datos de consumo fueron facilitados por la Oficina Técnica de la universidad. Con ellos se calculó el consumo anual según diferentes unidades de medida de superficie, tiempo y volumen.

Para evaluar la gestión llevada a cabo por la universidad en las zonas verdes del campus de Fuenlabrada, se seleccionó el umbral de 2500 m³/Ha·año incluido en BO. Ayuntamiento de Madrid, (2006) como consumo óptimo en zonas con clima mediterráneo.

Cálculo de las necesidades hídricas de la vegetación presente en el campus de Fuenlabrada.

Para evaluar la gestión resulta necesario determinar las necesidades hídricas de las zonas verdes. Para ello se utilizaron las instrucciones aportadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y por el Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX) de España.

Para el cálculo de ET_o se utilizó la metodología propuesta por la FAO en FAO (2006), que se basa en la ecuación de Hargreaves (2) para realizar dicho cálculo. Para poder valorar los puntos a mejorar en la gestión se determinó la ET_o mensual y la anual, para el año 2013.

$$ET_o = 0,0023 \times (T_{media} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times Ra \quad (2)$$

Los datos climáticos utilizados para la determinación de la ET_o son facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (www.aemet.es). Estos datos pertenecen a los registros climatológicos normales de la estación de Getafe (seleccionada por proximidad a Fuenlabrada), para la serie climatológica comprendida por los años 1971-2000.

Una vez calculada la ET_o se procede al cálculo de ET_c. El procedimiento que se ha seguido es el facilitado por el CEDEX en CEDEX (2012). La relación existente entre la evapotranspiración del cultivo de referencia y nuestro cultivo (ecuación 3), se expresa mediante K_c, en el caso de cultivos, o K_j, en el caso de zonas verdes (tabla 1). En este caso se trata de un jardín,

$$ET_c = K_j \times ET_o \quad (3)$$

En el presente trabajo, se ha utilizado un coeficiente medio estimado para cada grupo de plantas (K_j) presentes en un jardín tipo con el objetivo de hallar la evapotranspiración mensual de cada uno de ellos (CEDEX, 2012). Las plantas se han agrupado en tres grandes grupos: césped, árboles, y arbustos y tapizantes.

Tabla 1. Coeficientes para cada grupo de plantas de un jardín tipo (modificado de CEDEX, 2012).

Grupo de plantas	K _j
Árboles	0,39
Arbustos, tapizantes y xerófilas	0,24
Césped	1,00

El método propuesto por el CEDEX se basa en el método de la FAO para el cálculo de las necesidades netas de agua de riego de los cultivos (FAO, 2006 en CEDEX, 2012) y ha sido adaptado al tipo de plantas presentes en parques y jardines (CEDEX, 2012).

Para determinar las necesidades netas de agua de riego mensuales de cada grupo de plantas, en nuestro caso serán las parcelas ocupadas por zonas verdes, se utiliza la siguiente ecuación:

$$NR_i = ET_i - P_e - A_s \quad (4)$$

Donde:

NR_i = necesidades netas de agua de riego mensuales de cada grupo de plantas (i) de la parcela (mm).

ET_i = evapotranspiración mensual de cada grupo de plantas (i) en cada parcela (mm).

P_e = precipitación efectiva mensual (mm).

A_s = agua aportada por el suelo si la hubiera del mes anterior (mm).

Las necesidades de agua de cada parcela se han calculado mediante la siguiente fórmula, adaptada de CEDEX (2012):

$$NR = a_i NR_i \quad (5)$$

Donde:

NR: necesidades netas de agua de riego mensuales de la parcela (mm).

NR_i: necesidades netas de agua de riego mensuales de cada grupo (i) de plantas de la parcela (mm).

a_i: porcentaje de cada grupo de plantas (i) en el parque.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA EFICACIA COMO SUMIDERO DE CO₂ DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.

Cálculo de la eficacia como sumidero de CO₂ de la vegetación presente.

Para calcular la fijación de CO₂ en las parcelas, se ha seguido la metodología empleada por Montero et al. (2005).

Consiste, en primer lugar, en determinar la biomasa del árbol completo aplicando modelos ajustados para cada especie de Montero et al. (2005). El cálculo de la biomasa para los individuos de las especies *Olea europaea*, *Pinus pinea* y *Quercus ilex*, se realiza mediante (6):

$$PT = aDn^b \quad (6)$$

Donde:

PT: Peso de la biomasa del árbol completo.

Dn: diámetro normal (cm).

Tabla 2. Parámetros necesarios para el cálculo de la biomasa mediante la ecuación 6, para las especies *O. europaea*, *P. pinea* y *Q. ilex* (adaptado de Montero et al., 2005).

Especie	Parámetro a	Parámetro b
<i>O. europaea</i>	0,3829	1,9412
<i>P. pinea</i>	0,1129	2,4241
<i>Q. ilex</i>	0,1006	2,4727

Para el resto de especies, de las que no se disponía de ecuaciones, se utilizó la ecuación general (Brown, 1998, en Garrido Lournaga et al., 2009).

$$Biomasa = V \times DM \times BEF \quad (7)$$

Donde:

V: Volumen = $h \cdot (\pi \cdot r^2)$

DM: densidad básica en mg/m³. Estos valores se obtuvieron de la base de datos online Xycol (www.xycol.net) y de Serrada et al. (2008).

BEF: factor de expansión de la biomasa (MAGRAMA, 2011).

Para calcular la biomasa de los arbustos se han buscado los datos de biomasa media (g/m²) y al conocer la superficie ocupada por ellos, se ha obtenido el valor de biomasa. La biomasa media de *Rosmarinus officinalis* es 551,3 g/m² (Martínez Fernández et al., 1995). La biomasa media de *Retama sphaerocarpa* es 0,86 g/m² (García Rosa, 2013). Para el resto de especies se ha utilizado la siguiente ecuación (Sánchez Francés et al., 2008):

$$Y = 1425,2 \cdot (H \cdot D)^{1,416} \quad (8)$$

Donde:

Y: Peso fresco de la biomasa (g)

H: Altura de la mata (m)

D: Diámetro medio de la mata (m); $D = 0,836 \cdot H^{1,2167}$

Por último, para estimar la influencia de las praderas se han tomado los valores propuestos por Townsend-Small & Czimeczik (2010) de que emiten -1,44 kg CO₂/m²·año cuando son manejadas (césped) y de que fijan 0,14 kg C/m²·año cuando no lo son (Townsend-Small & Czimeczik, 2010).

Una vez conocidos los datos de biomasa se estima la cantidad de CO₂ fijado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{ fijado} = B \times C \times \frac{PMCO_2}{PMC} \times N \quad (9)$$

Donde:

B: Peso de la biomasa (kg)

C: Contenido medio en carbono, tabla 7.

$\frac{PMCO_2}{PMC}$: Proporción entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de C que la compone, reflejando la relación de kilogramos de CO₂ equivalentes a partir de la cantidad de carbono en la biomasa y equivale a 3,67.

N: Número de individuos.

Para conocer la fijación de CO₂ que se produce anualmente se aplica una tasa de incremento de la biomasa anual aproximada a un 3% (Montero et al., 2005). Con el incremento de biomasa anual calculado se estima la fijación de CO₂ que se produce mediante:

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{ fijado anualmente} = B_T \times T \times C \times \frac{PMCO_2}{PMC} \quad (10)$$

Donde:

BT: biomasa total (kg) de cada especie presente en el campus.

T: tasa de incremento anual de la biomasa.

Estos valores de fijación anual fueron clasificados también por clases diametrales.

Con los valores de fijación anual para cada clase diametral se calculó la eficacia de fijación anual dividiendo por la superficie arbórea del conjunto de individuos.

$$\text{Eficacia de fijación anual} = CO_2 \text{ fijado anualmente} \times N \times ST \quad (11)$$

Donde:

ST: superficie de las copas proyectadas verticalmente en el suelo (m²).

Se calculó la media aritmética de la eficacia de fijación para cada clase diametral. Para la clase arbustos, se ha elegido la eficacia de fijación anual propuesta por Alías Gallego et al. (2009) de 0,13 kg CO₂·m⁻²·año⁻¹. La eficacia media de fijación anual para las praderas manejadas y no manejadas es la propuesta por Townsend-Small & Czimczik, (2010).

Posteriormente, se han clasificado las zonas del campus en base al porcentaje de superficie de pradera manejada presente en cada una de ellas, debido a que el césped es la única formación que en vez de fijar emite CO₂.

Con la superficie de cada nivel junto con su eficacia media, se ha calculado la eficacia de fijación de cada zona (17), donde *i* representa cada formación vegetal:

$$\text{Fijación total } i = \text{Eficacia fijación media } i \times \text{superficie } i \quad (12)$$

Para el cálculo de la eficacia de sumidero es necesario conocer las emisiones derivadas del mantenimiento de las zonas verdes. Para ello se han tenido en cuenta las emisiones derivadas del riego (depuración del agua y consumo del sistema de riego y bombas, aunque de este último no se disponía de datos), de la maquinaria, de los fertilizantes y de los fitosanitarios. Los datos utilizados para realizar la estimación han sido extraídos de IDAE (www.idae.es) y de ADEME Base Carbone (www.basecarbone.fr/es).

A los valores de fijación se les han restado los valores de emisión del mantenimiento para conocer su eficacia como sumidero.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RESULTADOS COMUNES A AMBOS ESTUDIOS.

El inventario se realizó in situ en un día durante el mes de febrero de 2014. La estacionalidad dificultó la identificación de los ejemplares de hoja caducifolia, mayoritarios en formaciones de jardín. Las distintas zonas del campus (hidrozonas independientes) se pueden observar en la cartografía adjunta en el Anexo 1.

La identificación realizada se muestra en la tabla 3, en la cual se incluye las especies, las zonas donde se encuentran y la velocidad de crecimiento de las mismas.

Tabla 3. Especies presentes en el campus de Fuenlabrada de forma mayoritaria, por zona y tipo de crecimiento.

¹(www.guiaverde.com); ²: (www.consultaplantas.com); ³: (www.diputoledo.es); ⁴: Carreras Egaña (1996); ⁵: Sánchez García (2014); ⁶: (www.conabio.gob.mx); ⁷: Pérez Tello (2000); ⁸: Pemán García & Navarro Cerrillo (1998); ⁹: Morici (2014); ¹⁰: (www.botanical-online.com); ¹¹: (www.arbolesornamentales.es).

Especie	Zona	Crecimiento
<i>Acer negundo</i>	5, 8, A	Rápido ¹
<i>Albizia julibrissin</i>	5	Rápido ²
<i>Arbutus unedo</i>	6	Lento ³
<i>Celtis australis</i>	2, B	Lento ⁴
<i>Cercis siliquastrum</i>	5	Medio bajo ⁵
<i>Eleagnus angustiflora</i>	2, 5	Rápido ⁵
<i>Ficus carica</i>	3	Rápido ⁶
<i>Juniperus oxycedrus</i>	6	Lento ⁴
<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	Rápido ²
<i>Magnolia grandiflora</i>	B	Lento ⁷
<i>Morus alba</i>	3, D	Lento ²
<i>Olea europaea</i>	2, 3, 5, 8, 31	Lento ⁸
<i>Phoenix canariensis</i>	3	Medio ⁹
<i>Pinus halepensis</i>	6	Medio ⁴
<i>Pinus pinea</i>	6, 31	Medio ⁴

Tabla 3 (continuación). Especies presentes en el campus de Fuenlabrada de forma mayoritaria, por zona y tipo de crecimiento. ¹(www.guiaverde.com); ²: (www.consultaplantas.com); ³: (www.diputoledo.es); ⁴: Carreras Egaña (1996); ⁵: Sánchez García (2014); ⁶: (www.conabio.gob.mx); ⁷: Pérez Tello (2000); ⁸: Pemán García & Navarro Cerrillo (1998); ⁹: Morici (2014); ¹⁰: (www.botanical-online.com); ¹¹: (www.arbolesornamentales.es).

Especie	Zona	Crecimiento
<i>Platanus hispanica</i>	5, D, E	Rápido ⁷
<i>Populus alba</i>		Rápido ¹⁰
<i>Prunus avium</i>	1, 3, 5, B	Medio ⁴
<i>Prunus dulcis</i>	3, 31	Medio ³
<i>Prunus pisardii</i>	B	Medio ³
<i>Punica granatum</i>	3	
<i>Quercus coccifera</i>	6	Lento ⁴
<i>Quercus ilex</i>	6, 31	Lento ⁴
<i>Quercus suber</i>	6	Lento ⁴
<i>Tilia platyphillos</i>	C	Lento ¹¹

Los valores de las variables morfológicas medidas se disponen en las tablas 4, 5 y 6. En ellas se representan el número de individuos, el tamaño diametral medio, la altura media y la superficie de las copas media para cada especie, por clase diametral.

Tabla 4. Valores medios de las variables morfológicas medidas para los individuos con un tamaño diametral superior a 18 cm, según especie.

Diámetro > 18 cm				
Especie	Nº individuos	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Superficie de las copas media (m ²)
<i>Pinus pinea</i>	162,00	20,04	-	6,31
<i>Olea europaea</i>	28,00	65,25	-	15,23
<i>Platanus hispanica</i>	8,00	20,38	7,71	4,71
<i>Eleagnus angustifolia</i>	1,00	19	5,5	4,71

Tabla 5. Valores medios de las variables morfológicas medidas para los individuos con un tamaño diametral comprendido entre 18 y 10 cm, según especie.

18 cm > diámetro > 10 cm				
Especie	Nº individuos	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Superficie de las copas media (m ²)
<i>Pinus pinea</i>	205,00	11,73	-	1,01
<i>Olea europaea</i>	11,00	11,28	-	3,21
<i>Albizia julibrissim</i>	1,00	10	4,73	3,71
<i>Platanus hispanica</i>	7,00	15	7,71	3,71
<i>Eleagnus angustifolia</i>	1,00	11	5,5	3,71
<i>Prunus avium</i>	10,00	13	4,5	3,71

Tabla 6. Valores medios de las variables morfológicas medidas para los individuos con un tamaño diametral inferior a 10 cm, según especie.

Diámetro < 10 cm				
Especie	Nº individuos	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Superficie de las copas media (m ²)
<i>Pinus pinea</i>	133,00	3,04	-	0,31
<i>Olea europaea</i>	86,00	2,05	-	0,34
<i>Quercus ilex</i>	7,00	0,67	-	0,05
<i>Prunus dulcis</i>	62,00	4,13	2,11	2,71
<i>Albizia julibrissim</i>	2,00	7,25	4,73	2,71
<i>Magnolia grandiflora</i>	1,00	8	3,5	2,71
<i>Cercis siliquastrum</i>	8,00	4,44	4,5	2,71
<i>Eleagnus angustifolia</i>	1,00	5	4,5	2,71
<i>Prunus avium</i>	6,00	5,83	4,5	2,71
<i>Acer negundo</i>	22,00	5,16	4	2,71
<i>Platanus hispanica</i>	7,00	5,79	7,71	2,71

Posteriormente, fue necesario determinar las variables morfológicas medias para cada clase diametral del campus así como para el total de los individuos del campus (tabla 7).

Tabla 7. Variables morfológicas medias de los árboles del campus de Fuenlabrada.

Clase diametral	Altura media (m)	Diámetro medio (cm)	Superficie de las copas media (m ²)
> 18 cm	6,61	31,17	7,74
18 - 10 cm	5,61	12,00	3,18
< 10 cm	4,44	4,67	2,03
Total	5,55	15,95	4,32

Los parámetros medios para el total de los individuos reflejan que la mayoría de ellos se encuentran dentro de la clase diametral comprendida entre los 18 y los 10 cm, lo que refleja que son individuos jóvenes.

2. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.

La gestión del agua de riego en el campus de Fuenlabrada se ha constituido un problema para la universidad. El consumo de agua para riego experimentado, en el año 2013, por dicho campus se recoge en la ilustración 3, que se presenta a continuación:

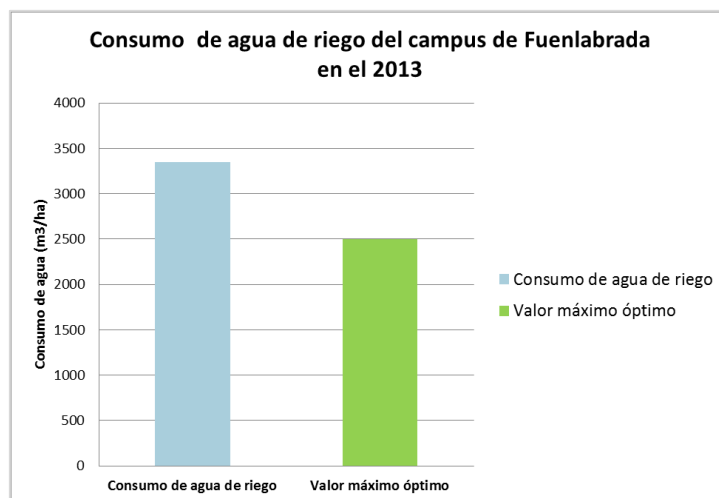


Ilustración 3. Consumo de agua de riego anual del campus de Fuenlabrada. En verde se representa el valor óptimo de consumo de agua para riego propuesto en el BO. Ayuntamiento de Madrid, (2006).

Aunque se disminuyó en gran medida la cantidad de agua consumida en el año 2013 con respecto al año anterior, el valor alcanzado es superior al propuesto por el BO. Ayuntamiento de Madrid, (2006), de 2500 m³/Ha para zonas verdes de clima mediterráneo. Esto nos refleja la necesidad de adaptar los jardines del campus al clima para conseguir disminuir los requerimientos hídricos de estas zonas hasta un valor razonable y que se aproxime lo más posible al propuesto por el BO. Ayuntamiento de Madrid, (2006) como óptimo.

Para poder evaluar la gestión de este recurso en el campus, es necesario conocer, en primer lugar, las necesidades hídricas de las plantas presentes en las zonas verdes. La aproximación que se ha hecho para conocer dichas necesidades es completamente teórica. A partir de los valores obtenidos de evapotranspiración del cultivo césped, arbusto y árboles del campus se ha calculado las necesidades de riego anual para las diferentes formaciones de vegetación (tabla 8).

Tabla 8. Necesidades netas de riego anual para las diferentes formaciones de vegetación en el campus de Fuenlabrada.

Formación vegetal	Necesidades netas de riego anual (mm)
Césped	618,10
Árboles	149,19
Arbustos	-283,33

En la tabla 8 se presentan las necesidades de riego anual y se puede observar como los arbustos no necesitan aporte suplementario de agua. Las necesidades de riego para el césped superan las necesidades de riego de los arbustos y árboles, y entre estos dos, es mayor el requerimiento hídrico de los árboles. La primera conclusión que se puede extraer de los resultados presentados es que el césped va a constituir un punto clave en la gestión del agua de cara a un consumo responsable. Este resultado es coherente con lo aportado por el documento de adaptación al cambio climático en la Comunidad de Madrid, el cual señala que en las zonas verdes será necesario limitar al mínimo las plantas de alto consumo, como las praderas de césped (Garrote de Marcos & Iglesias Picazo, 2012).

Tabla 9. Consumo teórico de agua de riego (m³/Ha) de las distintas zonas del campus de Fuenlabrada.

Zonas	Consumo anual (m ³ /Ha)	Zonas	Consumo anual (m ³ /Ha)
1	5926,34	24	6334,21
2	5741,77	25	6334,21
3	6102,98	26	23,03
4	270,75	27	21,11
5	5646,76	28	22,58
6	5671,32	29	5666,19
7	109,52	30	3286,96
8	5829,87	31	35,90
9	269,54	32	5,34
10	6117,57	A	5717,81
11	4555,78	B	5753,94
12	6120,53	C	5656,96
13	5836,85	D	5169,23
14	5380,51	E	5709,14
15	2405,09	P.1	186,48
16	5251,68	P.2	5001,71
17	0,00	P.3	65,33
18	5430,44	P.4	76,57
19	6334,21	P.5	123,37
20	6187,72	P.6	175,13
21	5841,79	Total con perímetro	1853,06
22	5828,92	Total sin perímetro	3640,64
23	6191,58		

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de calcular el consumo teórico de agua que necesitaría cada parcela del campus, así como del total del mismo.

El consumo de agua total se ha separado en dos opciones, teniendo en cuenta la zona perimetral y obviándola. La zona perimetral (zona 31) se aproxima a una zona no manejada, con apenas requerimientos hídricos, y presenta una elevada superficie que distorsiona los datos. Las especies de esta zona son especies propias del clima mediterráneo (*Pinus pinea*, *Olea europea*, *Prunus dulcis* y *Quercus ilex*) y los máximos cuidados que requieren es en el momento de su plantación y en sus primeros años, aun así la frecuencia de riego es mucho menor que la del resto de especies del campus. Es por ello, por lo que se trabajará con el dato del consumo total sin tener en cuenta la zona perimetral.

Como se había planteado anteriormente, el césped va a tener gran influencia en el consumo de agua de riego, ya que presenta unas necesidades hídricas muy superiores al resto de niveles. Para corroborar este hecho, se ha estudiado la influencia de la superficie de césped en el consumo de agua las diferentes zonas que componen el campus (ilustración 4).

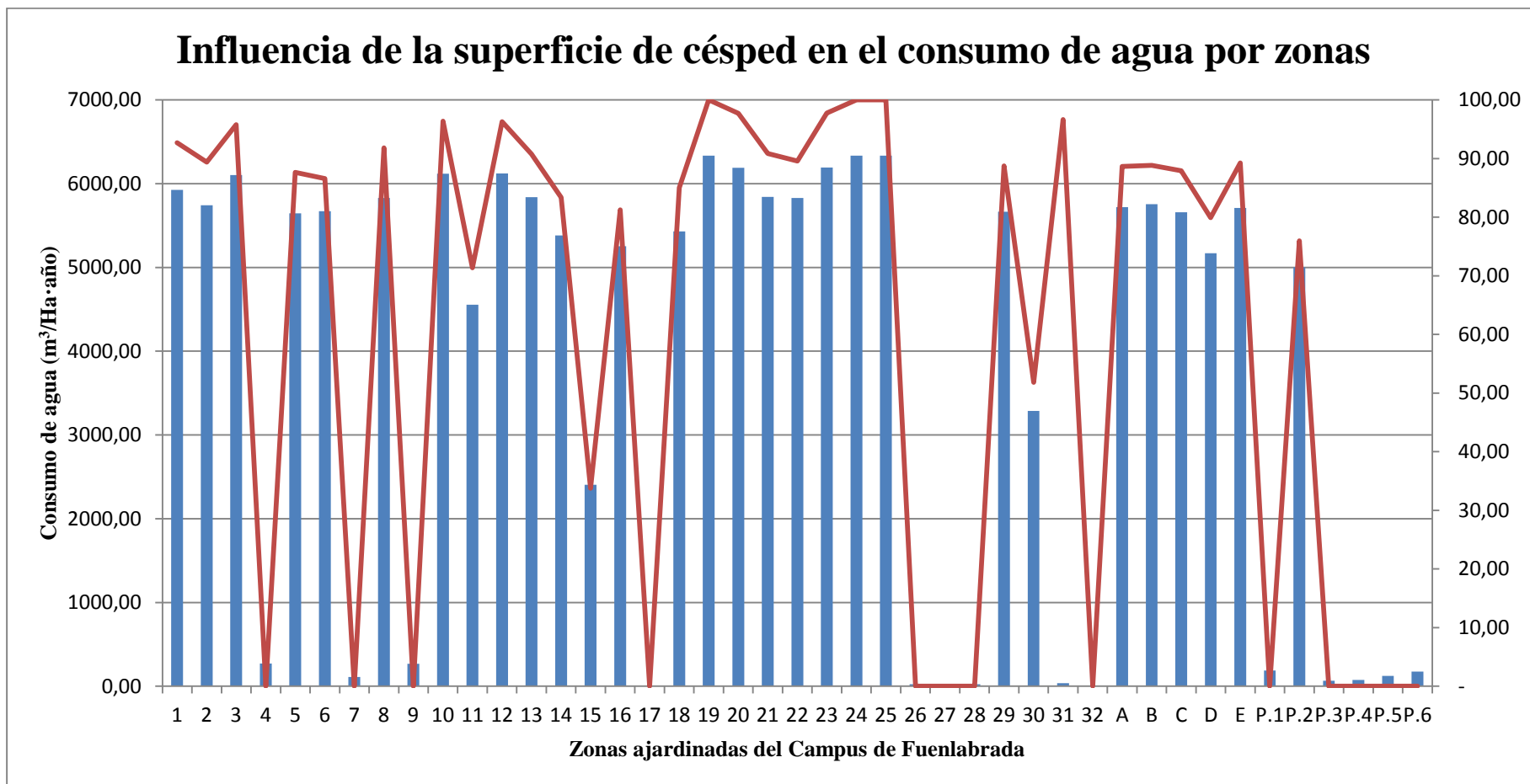


Ilustración 4. Influencia de la superficie de césped en el consumo de agua de las distintas zonas del campus de Fuenlabrada. La escala de la derecha representa el porcentaje de superficie de césped y la escala de la izquierda representa el consumo de agua en $\text{m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Las columnas azules representan el consumo de agua y la línea roja representa la superficie de césped de cada zona.

En la ilustración 4 se observa que las zonas con una mayor superficie de pradera manejada son las que poseen un consumo más elevado de agua, en contraposición con las que presentan una menor superficie de césped. Es necesario destacar la zona 31, que a pesar de presentar una superficie de pradera muy elevada el consumo de agua es muy bajo. Es debido a que la pradera de esta zona está compuesta por herbáceas autóctonas que no se manejan.

Estos resultados se reflejan de una manera sintetizada en la ilustración 5, en la cual se han agrupado las diferentes parcelas del campus por intervalos de superficie de césped, para ver el consumo medio de agua que se experimentaría en una parcela con dichas superficies de césped.

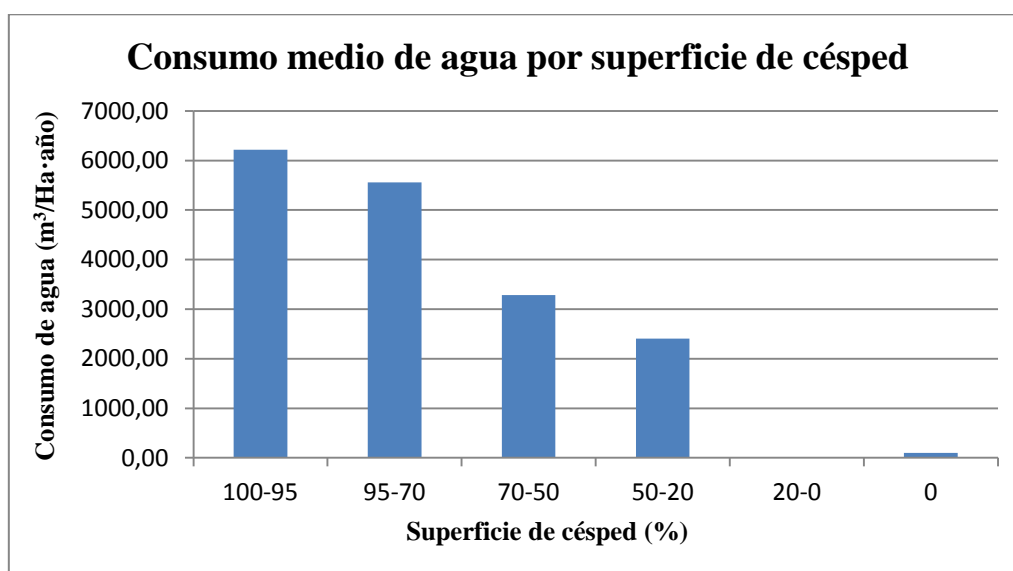


Ilustración 5. Consumo medio de agua por intervalos de porcentaje de césped.

Una vez conocidos los consumos teóricos necesarios para el mantenimiento de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada, es necesario compararlos (tabla 10) con los consumos reales experimentados en el año 2013, ya que ha sido el año con menor consumo.

Tabla 10. Comparativa de consumos de agua de riego en la situación real, la situación calculada (teórica) y aplicando la propuesta del Ayuntamiento de Madrid.

Consumos de agua de riego	Real	Teórica	Propuesta Ayto. Madrid
Consumo agua total superficie (m ³ /Ha·año)	1705,65	1853,06±0,08	2500
Consumo agua zonas manejadas (m ³ /Ha·año)	3351,83	3640,64±0,08	2500

El consumo teórico obtenido es muy similar al experimentado realmente durante el año 2013, con un error relativo aproximado de un 8%. Por este motivo, se puede considerar el método de cálculo válido para conocer las necesidades actuales y poder realizar estimaciones de modelos futuros de gestión.

El agua consumida durante el riego en el año 2013 está ajustado a las necesidades hídricas teóricas de la vegetación presente en las zonas verdes del campus y, aun así, se encuentra lejos del óptimo marcado por en el BO. Ayuntamiento de Madrid (2006).

Por esta razón, es necesario modificar la vegetación para adaptarla al clima del municipio y poder así ahorrar en el consumo de agua. A vista de los resultados obtenidos, el nivel a modificar serán las praderas de césped, siendo realmente necesario reducir la superficie de estas zonas al mínimo, coincidiendo con la medida propuesta por Garrote de Marcos & Iglesias Picazo. (2012) en su documento de medidas de adaptación al cambio climático para la Comunidad de Madrid.

Para ello, se aconseja dejar de mantener la superficie dedicada al césped. Con esto se pretende conseguir un proceso de adaptación natural, con la colonización de especies autóctonas hasta conseguir una pradera natural perfectamente adaptada al clima, como la existente en la zona perimetral.

3. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LA EFICACIA COMO SUMIDERO DE CO₂ DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.

Ante la inexorable realidad del cambio climático, es necesario encontrar estrategias que lo mitiguen. De esta forma, surge la idea de estudiar y adecuar las zonas verdes del campus (Anexo 1), como eficaces sumideros de carbono.

Las plantas mediante la fotosíntesis son capaces de fijar el carbono contenido en la molécula de CO₂ en su biomasa. De esta forma, conociendo la biomasa total de un individuo se puede conocer el dióxido de carbono fijado en su estructura.

Se seleccionaron cuatro parcelas para la realización del inventario en función de su mantenimiento y sus formaciones vegetales, con zonas muy diferenciadas dentro del campus. Éstas fueron las zonas 2, 5, 24 y 31. Las zonas 2 y 5 se escogieron por presentar una abundancia, a priori, elevada de especies arbóreas ornamentales dentro del campus, el número seleccionado fue par con la finalidad de comparar los datos obtenidos. La parcela 24 se eligió por ser una zona dedicada completamente a pradera manejada (césped) y, la parcela 31, por ser

una superficie dedicada a una formación vegetal típica de bosque de mediterráneo con bajo requerimiento de manejo (tendencia óptima de gestión).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de la biomasa y la cantidad fijada de CO₂ por los distintos niveles de vegetación, de las zonas inventariadas (parcelas 2, 5, 24 y 31).

Tabla 11. Biomasa total y cantidad de CO₂ total fijado por los diferentes niveles de vegetación de la zona 31 (zona perimetral) del campus de Fuenlabrada. ¹: Townsend-Small & Czimczik (2010).

Árboles	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO₂ total (kg)
<i>Pinus pinea</i> (diámetro>18 cm)	26.174,46	48.030,13
<i>P. pinea</i> (18cm<diámetro<10cm)	5.333,79	9.787,51
<i>P. pinea</i> (diámetro<10cm)	222,35	408,01
<i>Olea europaea</i> (diámetro>18 cm)	50.533,26	87.813,92
<i>O. europaea</i> (18cm<diámetro<10cm)	442,14	768,33
<i>O. europaea</i> (diámetro<10cm)	83,38	144,90
<i>Quercus ilex</i>	1,22	2,13
<i>Prunus dulcis</i>	68,94	119,80
Arbustos	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO₂ total (kg)
<i>Rosmarinus officinalis</i>	551,30	3,24
<i>Retama sphaerocarpa</i>	0,86	1,24
<i>Salvia lavandulifolia</i>	40,56	21,42
<i>Lavandula angustifolia</i>	394,37	62,49
<i>Pistacia lentiscus</i>	199,47	2,52
Pradera no manejada	Eficacia¹ (kg C/m²·año)	Cantidad de CO₂ total (kg)
Pradera autóctona	0,14	27.262,25

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de la biomasa total y de la cantidad de CO₂ fijado para todos los niveles de vegetación presentes en la zona 31 (zona perimetral). En esta zona los niveles que más contribuyen a la fijación de este gas son los

árboles, muchos de ellos de gran tamaño (diámetro mayor a 18 cm), y la pradera no manejada, que ocupa una gran superficie.

Tabla 12. Biomasa total y cantidad de CO₂ total fijado por los diferentes niveles de vegetación de la zona 2 del campus de Fuenlabrada. Donde Θ es el diámetro del tronco. ¹: Townsend-Small & Czimczik (2010).

Árboles	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO ₂ total (kg)
<i>Olea europaea</i> ($\Theta > 18$ cm)	22.108,30	38.418,59
<i>O. europaea</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,97	1,68
<i>Albizia julibrissim</i>	5,13	8,91
<i>Acer negundo</i>	2.186,19	3.799,05
<i>Eleagnus angustifolia</i>	69,86	121,40
<i>Prunus avium</i>	24,31	42,24
Arbustos	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO ₂ total (kg)
<i>Rosa spp.</i>	3,18	5,83
Pradera manejada	Eficacia ¹ (kg CO ₂ /m ² ·año)	Cantidad de CO ₂ total (kg/año)
Césped	- 1,44	- 5.344,01

En la tabla 12, al igual que en la tabla 11, los árboles de mayor tamaño fijan una mayor cantidad de CO₂. En esta zona, la superficie dedicada a pradera manejada, es decir, al césped, en vez de fijar dióxido de carbono lo emite. Esto se debe al excesivo mantenimiento (riego, corte, abonado,...) que requiere en zonas donde no se encuentra de manera natural (Townsend-Small & Czimczik, 2010).

Tabla 13. Biomasa total y cantidad de CO₂ total fijado por los diferentes niveles de vegetación de la zona 5 del campus de Fuenlabrada. Donde Θ es el diámetro del tronco. ¹: Townsend-Small & Czimczik (2010).

Árboles	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO ₂ total (kg)
<i>Olea europaea</i>	15.791,64	27.441,85
<i>Albizia julibrissim</i>	18,51	32,16
<i>Magnolia grandiflora</i>	9,85	17,12
<i>Platanus hispanica</i> ($\Theta > 18$ cm)	897,01	1.558,77

Tabla 13 (continuación). Biomasa total y cantidad de CO₂ total fijado por los diferentes niveles de vegetación de la zona 5 del campus de Fuenlabrada. Donde Θ es el diámetro del tronco. ¹: Townsend-Small & Czimeczik (2010).

Árboles	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO ₂ total (kg)
<i>P. hispanica</i> (10cm< Θ <18cm)	87,21	151,55
<i>Cercis siliquastrum</i>	24,96	43,38
<i>Eleagnus angustifolia</i> (10cm< Θ <18cm)	21,34	37,08
<i>E. angustifolia</i> (Θ <10cm)	3,96	6,88
<i>Prunus avium</i> (10cm< Θ <18cm)	279,53	485,76
<i>P. avium</i> (Θ <10cm)	37,09	64,46
Arbustos	Biomasa total (kg)	Cantidad de CO ₂ total (kg)
<i>Rosa spp.</i>	3,07	5,64
<i>Rosmarinus officinalis</i>	21,43	39,31
Pradera manejada	Eficacia ¹ (kg CO ₂ /m ² ·año)	Cantidad de CO ₂ total (kg/año)
Césped	- 1,44	- 5.036,26

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos para la zona 5 del campus. Se observa lo mismo que lo comentado anteriormente.

Tabla 14. Cantidad de CO₂ fijado por la zona 24. Con datos de Townsend-Small & Czimeczik (2010).

Pradera manejada	Eficacia (kg CO ₂ /m ² ·año)	Cantidad de CO ₂ total (kg/año)
Césped	- 1,44	- 251,21

La zona 24, presentada en la tabla 14, se caracteriza por ser una parcela completamente de césped. Este tipo de zonas no fijan nada de CO₂, sólo lo emiten por los motivos comentados anteriormente.

Además si se conoce el crecimiento anual que experimentan, de media, los individuos de una especie (incremento anual de biomasa), se puede conocer la cantidad de CO₂ que se fija en un año.

Tabla 15. Incremento anual de la biomasa (kg/año) de todos los individuos inventariados en las parcelas seleccionadas (2, 5, 24, 31) y la cantidad de CO₂ fijado (kg/año) anualmente por especie y tamaño. Donde Θ es el diámetro del tronco. ¹: Montero et al. (2005).

Especie	Tasa de incremento biomasa anual ¹	Incremento de biomasa (kg/año)	CO ₂ fijado (kg/año)
<i>Pinus pinea</i> ($\Theta > 18$ cm)	0,03	654,36	1.200,75
<i>P. pinea</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	133,34	244,69
<i>P. pinea</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	5,56	10,20
<i>Olea europaea</i> ($\Theta > 18$ cm)	0,03	2.311,62	4.017,00
<i>O. europaea</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	11,05	19,21
<i>O. europaea</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	2,11	3,66
<i>Quercus ilex</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	0,03	0,05
<i>Prunus dulcis</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	6,89	11,98
<i>Albizia julibrissim</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	1,85	3,22
<i>A. julibrissim</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	0,51	0,89
<i>Magnolia grandiflora</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	0,99	1,71
<i>Platanus hispanica</i> ($\Theta > 18$ cm)	0,03	79,73	138,56
<i>P. hispanica</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	7,75	13,47
<i>P. hispánica</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	2,18	3,79
<i>Cercis siliquastrum</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	2,50	4,34
<i>Eleagnus angustifolia</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	2,13	3,71
<i>E. angustifolia</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	0,40	0,69
<i>E. angustifolia</i> ($\Theta > 18$ cm)	0,03	6,99	12,14
<i>Prunus avium</i> (10 cm < Θ < 18 cm)	0,03	30,38	52,80
<i>P. avium</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	3,71	6,45
<i>Acer negundo</i> ($\Theta < 10$ cm)	0,03	8,83	15,35

De la tabla 15 destaca el dato obtenido para los individuos de *O. europaea* con un diámetro mayor de 18 cm. Estos ejemplares presentan un mayor incremento anual de biomasa y, por tanto, una mayor cantidad de dióxido de carbono fijado. Este dato parece estar relacionado con la edad, ya que se trata de individuos muy antiguos, con diámetros de hasta 90 cm. En el estudio realizado por Stephenson et al. (2014) se reseña que los árboles viejos no actúan simplemente como reservas de carbono senescentes sino que fijan activamente grandes cantidades de carbono comparados con los árboles más jóvenes.

Por este motivo es necesario preservar los individuos de mayor edad y, a los jóvenes para que lleguen a ser grandes reservas de carbono y potentes sumideros de CO₂.

Con los valores de fijación anual de dióxido de carbono se ha obtenido la eficacia de fijación para cada nivel de vegetación presente en el campus de Fuenlabrada:

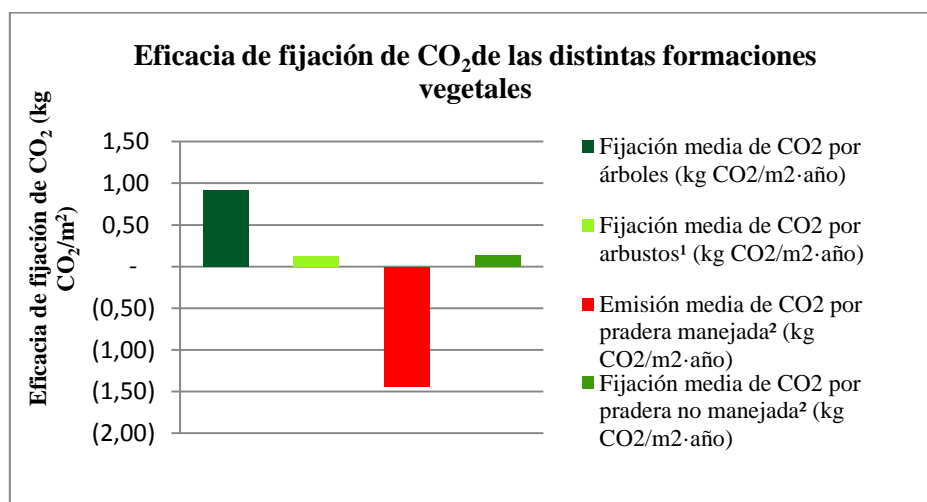


Ilustración 6. Eficacia de fijación anual (kg CO₂/m²) para cada nivel de vegetación presente en el campus de Fuenlabrada. ¹: Alías Gallego et al. (2009). ²: Townsend-Small & Czimeczik (2010). En color rojo se destaca la potencia emisora de las praderas manejadas en contraposición con los colores verdes que indican fijación.

Tal como muestra la ilustración 6, los árboles constituyen el nivel más eficaz a la hora de fijar el CO₂ y, el menos eficaz, el césped (pradera manejada). Por ello, para aumentar la capacidad sumidero del campus será necesario aumentar el número de árboles y disminuir la superficie dedicada a las praderas de césped (manejadas).

Además de calcular la eficacia de fijación de cada nivel de vegetación, también se ha calculado la eficacia de fijación de cada especie arbórea clasificada por clase diametral.

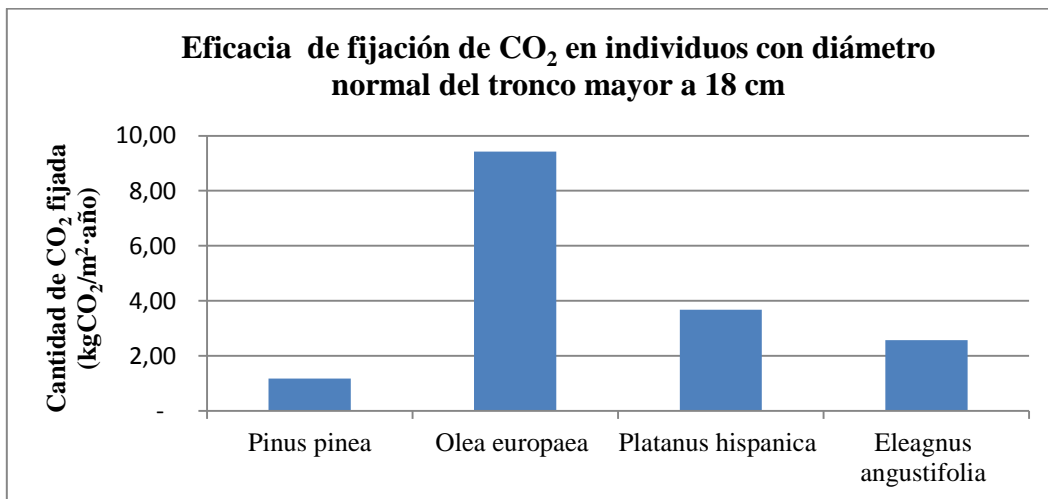


Ilustración 7. Eficacia de fijación de CO₂ (kg CO₂/m²·año) por especie para individuos con un tamaño diametral superior a 18 cm.

La especie más eficaz del campus, con diámetros de tronco superiores a 18 cm, es el olivo (*O. europaea*), como se representa en la ilustración 7. Los olivos presentes en el campus de Fuenlabrada, son pies de gran edad, con diámetros de hasta 90 cm. Como se ha comentado anteriormente, los árboles de mayor edad son sumideros más eficaces que los individuos más jóvenes. Por ello, la eficacia de los olivos no se puede comparar con la eficacia del resto de ejemplares comprendidos en la misma clase diametral. Los individuos del resto de especies representadas en la ilustración 7, presentan tamaños diametrales similares. Por lo que ante un mismo tamaño diametral se puede señalar que *P. hispánica* es la especie más eficaz. Lo ideal sería realizar un estudio para poder comparar valores de eficacia de fijación con la edad de los individuos de las distintas especies del campus.

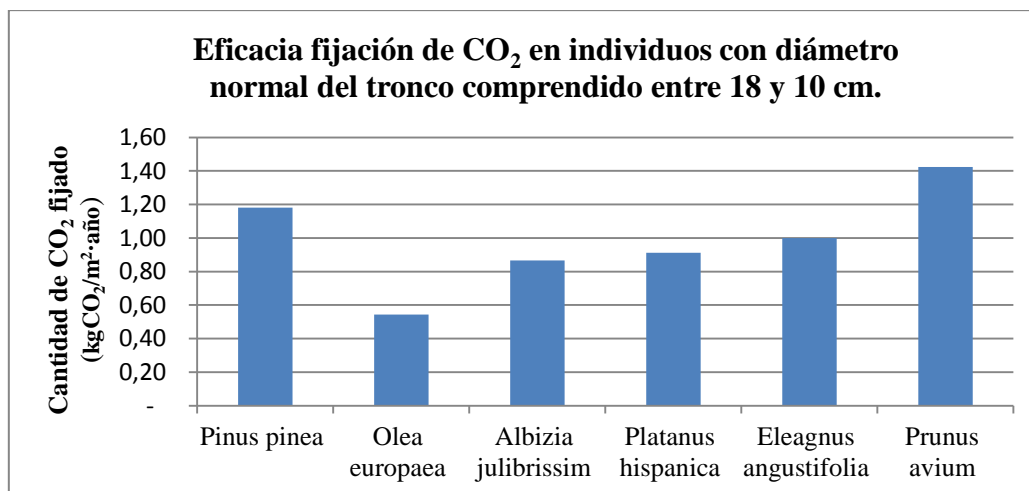


Ilustración 8. Eficacia de fijación de CO₂ (kg CO₂/m²·año) por especie para individuos con un tamaño diametral comprendido entre 18 cm y 10 cm.

En la ilustración 8 se muestran las eficacias de fijación para las especies con individuos con tamaños diametrales comprendidos entre los 18 cm y los 10 cm de tronco. La especie con mayor eficacia es *P. avium* seguido de *P. pinea*, ambas especies con velocidades de crecimiento medias. En este caso, se observa como *O. europaea* es la especie menos eficaz, probablemente debido a su baja velocidad de crecimiento.

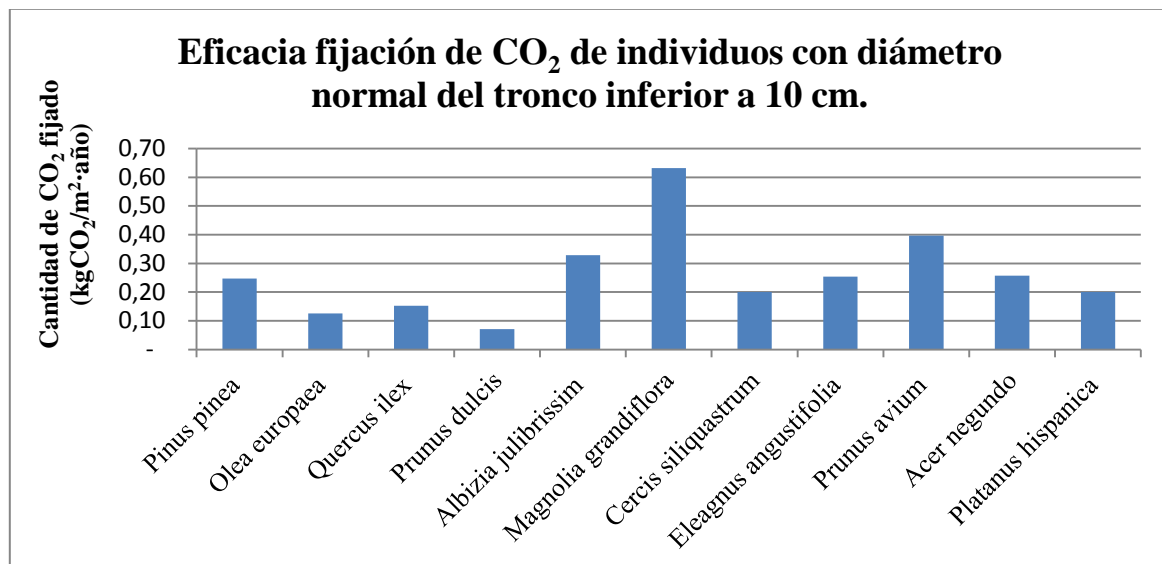


Ilustración 9. Eficacia de fijación de CO₂ (kg CO₂/m²·año) por especie para individuos con un tamaño diametral inferior a 10 cm.

Por último, en la ilustración 9 se presentan las especies con individuos comprendidos dentro de la clase diametral más pequeña. En esta situación, la especie más eficaz es el Magnolio (*Magnolia grandiflora*), seguida del Cerezo (*Prunus.avium*) y, la menos, el Almendro (*P. dulcis*) seguida del olivo (*O. europea*).

Después del análisis de las ilustraciones 7, 8 y 9, se puede señalar que las especies más eficaces son el Plátano (*P. hispanica*), el Almendro (*P. avium*), el Pino Piñonero (*P. pinea*) y el Magnolio (*M. grandiflora*). El Olivo (*O. europaea*) se presenta como una especie altamente eficaz cuando su tamaño diametral es muy elevado y, por tanto, con un elevado número de años. Ante esta situación, para poder determinar la especie más eficaz como sumidero de CO₂, sería interesante conocer el tiempo de vida media estimado para estas cuatro especies, además de conocer la eficacia de fijación con respecto a la edad, con el fin de revegetar el campus de Fuenlabrada de la manera más eficiente posible.

En la tabla 16 se muestran las superficies totales de cada zona (parcela) del campus así como su eficacia de sumidero. Recordemos que la eficacia total de cada zona se ha efectuado mediante la suma de eficacias de cada nivel dentro de la misma, por lo que la superficie dedicada a cada nivel va a ser un factor crucial a la hora de obtener la fijación total anual realizada por la zona.

Tabla 16. Superficie y eficacia de fijación anual de dióxido de carbono (t CO₂/año) para cada zona del campus de Fuenlabrada. Las celdas en rojo representan a las zonas emisoras, en verde las zonas sumidero y en azul las zonas neutras.

Zona	Superficie total (m ²)	Fijación total por zona (tCO ₂ /año)	Zona	Superficie total (m ²)	Fijación total por zona (tCO ₂ /año)
1	4.853,00	- 6,24	23	44,41	- 0,06
2	4.244,01	- 5,24	24	210,83	- 0,30
3	4.819,82	- 6,50	25	609,04	- 0,88
4	473,10	0,14	26	617,92	0,00
5	4.205,76	- 5,03	27	674,21	0,00
6	3.488,23	- 3,81	28	630,18	0,00
7	2.988,96	0,36	29	3.358,75	- 4,13
8	3.777,15	- 4,92	30	7.269,38	- 5,26
9	563,24	0,16	31	90.129,08	14,99
10	1.061,13	- 1,46	32	889,05	0,10
11	1.413,07	- 1,37	A	3.476,69	- 4,13
12	2.702,72	- 3,70	B	4.322,72	- 5,07
13	2.563,18	- 3,16	C	757,90	- 0,90
14	2.394,69	- 2,68	D	1.493,35	- 1,56
15	982,21	- 0,27	E	1.326,45	- 1,63
16	316,07	- 0,34	P.1	1.602,80	0,41
17	988,19	0,00	P.2	745,99	- 0,69
18	736,03	- 0,86	P.3	14.741,94	0,62
19	170,20	- 0,25	P.4	2.292,40	0,16
20	43,24	- 0,06	P.5	538,39	0,07
21	386,12	- 0,48	P.6	4.550,94	0,61
22	60,95	- 0,07	Total	183.513,49	- 53,43

La mayoría de zonas del campus son emisoras de CO₂. Las zonas de mayor superficie son las zonas que tienen los valores más altos de emisión y de fijación. La zona 31, es decir, la zona perimetral del campus con una formación vegetal típica del bosque mediterráneo, es la que presenta el valor más alto de fijación (14,99 tCO₂/año). Por último, señalar que el total del campus de Fuenlabrada actúa como emisor de dióxido de carbono en la situación actual.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el estudio del consumo de agua de riego, se observa que la zona 31 además de ser una zona con una eficacia de fijación de CO₂ elevada, tiene unos requerimientos hídricos muy bajos en comparación con el resto de zonas. Por ello, una de las posibilidades de actuación consistiría en tender hacia una expansión de la zona boscosa hacia el interior del campus. En aquellos espacios en los que no sea factible dicha actuación se deberá reducir la superficie de césped a favor de la superficie arbórea o arbustiva, incluso, como se comentó anteriormente, permitir la colonización de las zonas de praderas manejadas por especies herbáceas autóctonas, conformando una pradera no manejada.

Puesto que se ha comprobado que el césped es el elemento que condiciona la eficacia de sumidero, se han clasificado las distintas zonas del campus según la superficie dedicada a esta formación (ilustración 10). Estas zonas están representadas en la ilustración 16 del Anexo I.

Clasificación zonas	Zonas
100-95	3, 10, 12, 19, 20, 23, 24, 25
95-70	1, 2, 5, 6, 8, 11, 13, 14, 16, 18, 21, 22, 29, A, B, C, D, E, p.2
70-50	30
50-20	15
20-0	Ninguna
0	4, 7, 9, 17, 26, 27, 28, 31, 32, P.1, P.3, P.4, P.5, P.6

Ilustración 10. Clasificación de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada según el porcentaje de césped (pradera manejada). La escala de color del rojo al verde indica las situaciones de menor a mayor bondad respectivamente.

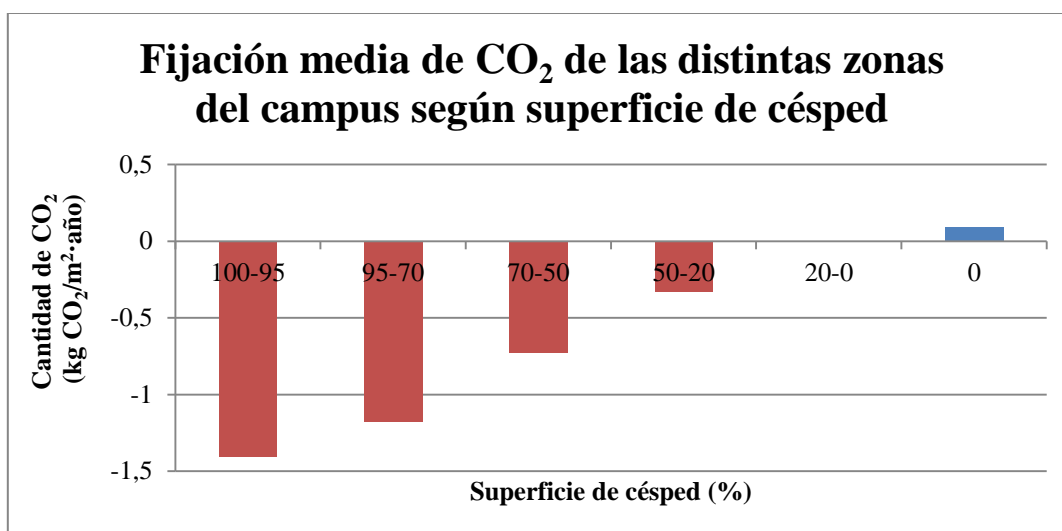


Ilustración 11. Fijación media de CO₂ de las distintas zonas del campus según el valor de superficie de césped.
 En rojo se destacan las situaciones indeseables y en azul las ideales.

La ilustración 11 refleja la dependencia entre la superficie de césped con la capacidad de emisión o fijación de CO₂ por una zona verde. En el intervalo de superficie de 20-0% no hay datos, ya que no existe ninguna parcela del campus que presente este rango de superficie de césped. Una vez más, en esta gráfica se pone de manifiesto la urgencia en cambiar la distribución de niveles existentes en las zonas verdes del campus de Fuenlabrada si se quieren lograr los objetivos marcados.

Modificando la conformación de las zonas con peores resultados hacia zonas adaptadas al clima mediterráneo, no se pierde valor estético ni tampoco funcionalidad. No es necesario eliminar toda la superficie de césped ya que se podrían dejar pequeños reductos donde la comunidad universitaria pueda realizar sus actividades recreativas. Además, cambiando la actual configuración, la URJC mejora su imagen corporativa al mostrar su implicación en los problemas medioambientales y sociales derivados del cambio climático.

Es por ello por lo que resulta necesario realizar propuestas de mejora de la situación actual.

4. PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS ZONAS VERDES DEL CAMPUS DE FUENLABRADA.

Los resultados obtenidos nos muestran una realidad del campus de Fuenlabrada, y es la insostenibilidad de sus zonas verdes. Es urgente modificar su gestión hacia una actuación más responsable con el medio ambiente y la sociedad. Los problemas detectados han sido dos. Por un lado,

el excesivo consumo de agua derivado de una mala planificación de sus zonas verdes inadaptadas al medio. Y, por otro lado, la contribución de estas zonas al incremento del efecto invernadero debido al mantenimiento de las mismas, obteniendo el efecto contrario al esperado con la presencia de una amplia superficie vegetada.

Ante esta realidad, las propuestas de mejora son inevitables. Se van a estudiar diferentes posibilidades de actuación y los beneficios obtenidos con ellas, todo ello en el marco de las directrices propuestas en el BO. Ayuntamiento de Madrid (2006) y por Garrote de Marcos & Iglesias Picazo (2012).

Los resultados obtenidos marcan el camino de actuación, que es reducir las superficies dedicadas a praderas manejadas, céspedes, al máximo posible. En BO. Ayuntamiento de Madrid (2006), se señala que en las zonas verdes menores de 10 Ha, la superficie dedicada a céspedes debe reducirse de modo que la nueva superficie sea menor o igual al 20% del total. Esta superficie es la seleccionada como óptima para el plan de mejoras.

Las opciones de modificación estudiadas son las siguientes:

- Reducción a un 20% de la superficie de césped respecto del total, manteniendo la superficie arbustiva y arbórea actual.
- Reducción a un 20% de la superficie de césped respecto del total, aumentando la superficie arbórea un 20% más de la presente en la actualidad.
- Reducción a un 20% de la superficie de césped respecto del total, aumentando la superficie arbórea un 50% más de la presente actualmente.

Estas tres posibles situaciones se han estudiado tanto para reducir el consumo de agua como para mejorar la eficacia como sumidero de las zonas verdes del campus. La situación óptima será aquella que logre compatibilizar la reducción en el consumo de agua con un incremento de la eficacia de fijación de CO₂, con el mínimo coste económico.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

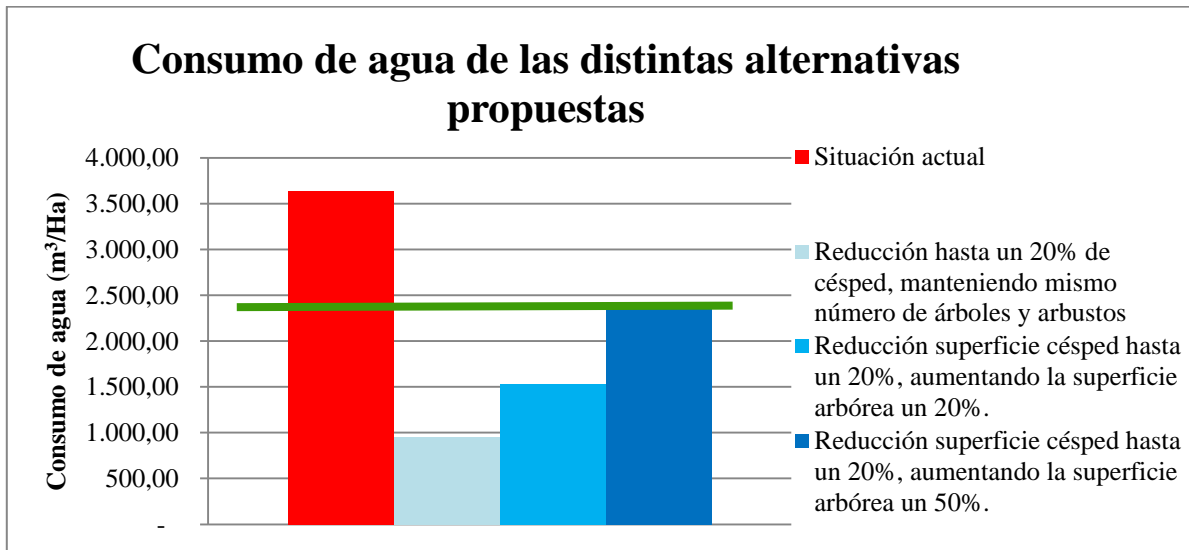


Ilustración 12. Consumo de agua para las diferentes alternativas de modificación propuestas en el plan de mejoras de la gestión de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada. En verde se representa el consumo de agua máximo, óptimo, según BO. Ayuntamiento de Madrid (2006). En azul se señalan los diferentes consumos de agua para las diferentes propuestas de modificación. En rojo se destaca la situación actual.

En la ilustración 12 se observa que, con todas las modificaciones propuestas, se logra una reducción del consumo de agua de riego importante, logrando situarse en consumos inferiores al propuesto como máximo en BO. Ayuntamiento de Madrid (2006).

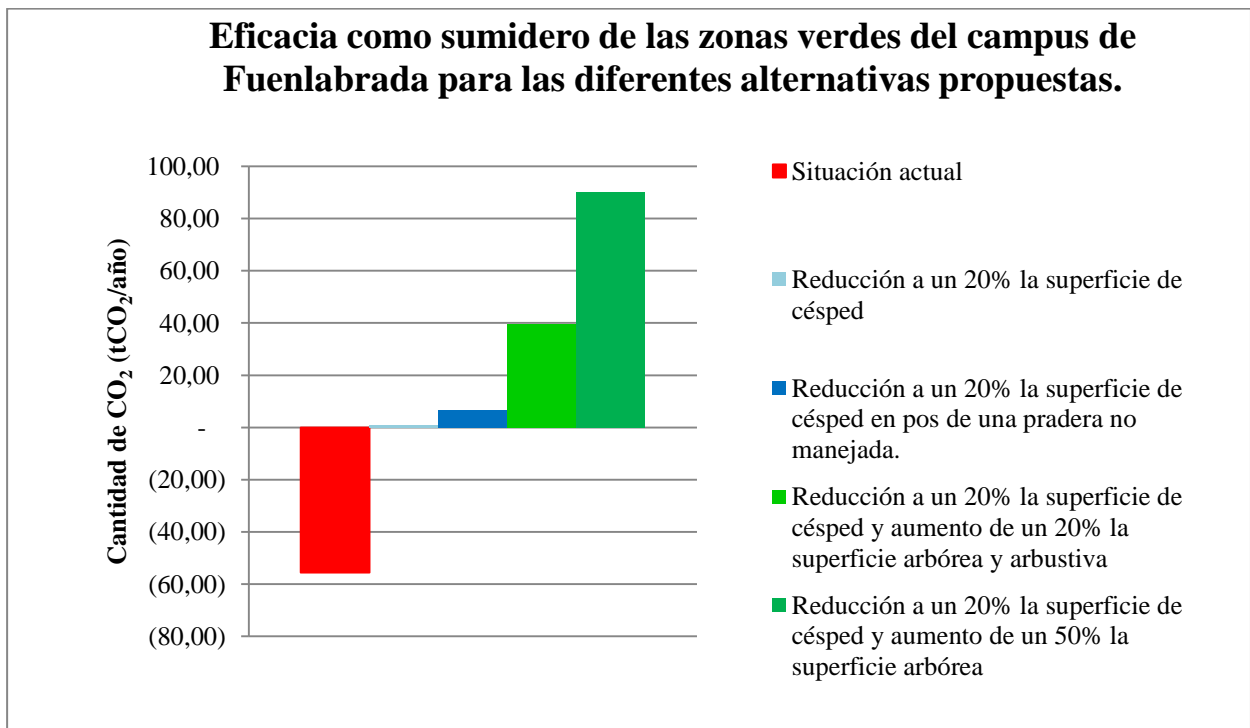


Ilustración 13. Eficacia como sumidero de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada para las diferentes alternativas propuestas.

Los resultados presentados en la ilustración 13, reflejan que la situación como sumidero de CO₂ del campus mejora con todas las alternativas de modificación propuestas.

En azul, se representan dos acciones muy similares que tienen que ver con la reducción a un 20% de la superficie de césped. Por un lado, la situación de mejora cuando se reduce la superficie de césped y, por otro, la reducción de ese césped en pos de una pradera no manejada, con especies autóctonas como las pertenecientes a los géneros *Agrostis*, *Brachypodium* o *Cynodon* (San Miguel Ayanz, 2008), entre otros. Se puede observar como esta segunda situación es mejor que la primera ya que se aumenta en cierto modo la fijación de carbono.

En verde, se representan las actuaciones que promueven un aumento de la superficie arbustiva y arbórea, en un 20% y en un 50%, además de la reducción de pradera manejada hasta un 20%. Como era de esperar, una mayor superficie arbórea conlleva un incremento en la fijación de CO₂.

Para poder valorar la opción más adecuada no sólo hay que tener en cuenta los aspectos medioambientales sino también los económicos, es por ello por lo que se han evaluado los costes asociados a las medidas propuestas.

La propuesta de reducción de césped sin incremento de la superficie arbórea y arbustiva no tiene coste, más bien conlleva un ahorro económico derivado del ahorro de agua y de mantenimiento. Sin embargo, sí que presenta un coste social derivado del rechazo social por confusión de la gestión con abandono. Todo ello tiene una repercusión negativa en la comunidad universitaria y, por tanto, dificulta la toma de decisiones y la mejora de la gestión.

Las propuestas de incremento de la superficie arbórea sí suponen un coste económico derivado de la plantación de los nuevos ejemplares, pero el coste social es inferior. Se ha elaborado el presupuesto concerniente de la adquisición de los ejemplares para un aumento de la superficie arbórea de un 20% y de un 50%. Las especies seleccionadas como apropiadas para esta revegetación se han basado en criterios de velocidad de crecimiento, condiciones de adaptabilidad al medio y eficacia como sumideros de carbono. En la tabla 17 se presenta el número de individuos que se necesitan adquirir para cumplir las dos situaciones planteadas:

Tabla 17. Número de pies arbóreos en la situación actual y en las dos situaciones de mejora propuestas, así como el número de individuos a adquirir para alcanzar dichas situaciones.

	Nº individuos	Nº individuos a adquirir
Situación actual	1.549	-
Aumento 20% superficie arbórea	7.429	5.879
Aumento 50% superficie arbórea	16.248	14.698

Aunque se ha visto que el Almendro (*Prunus avium*) y el Magnolio (*Magnolia grandiflora*) son muy eficaces como sumideros de carbono, se ha desestimado su adquisición por su elevado requerimiento hídrico, lo que supone un balance de fijación no tan positivo, en estas condiciones climáticas, como consecuencia de las emisiones derivadas del mantenimiento y riego. Además, presentan un elevado coste económico con respecto al resto de especies (*Pinus pinea*, *Olea europaea* y *Platanus hispanica*)

Tabla 18. Precio medio unitario (€) y presentación de los ejemplares de las posibles especies a utilizar en la revegetación. ¹: (www.comunicacionvegetal.com)

Especie	Precio medio/ud. (€) ¹	Presentación
<i>Olea europaea</i>	2,10	Alveolo forestal 1L, altura: 60-80 cm
<i>Platanus hispanica</i>	5,15	Raíz desnuda, calibre (8-10cm)
<i>Pinus pinea</i>	0,21	Alveolo forestal <400cc , calibre (10-20cm)

A continuación se presentan los costes asociados a la compra de los ejemplares necesarios para alcanzar las dos situaciones propuestas de revegetación.

Tabla 19. Coste total (€) de las diferentes posibilidades de revegetación para las dos situaciones de mejora planteadas.

Situaciones posibles	Aumento 20% superficie arbórea	Aumento 50% superficie arbórea
	Precio total (€)	Precio total (€)
Todos <i>O. europaea</i>	12.346,73	30.866,83
Todos <i>P. hispanica</i>	30.278,89	75.697,23
Todos <i>P. pinea</i>	1.234,67	3.086,68
50% <i>P. hispanica</i> , 50% <i>O. europaea</i>	21.312,81	53.282,03
50% <i>P. hispanica</i> , 50% <i>P. pinea</i>	15.756,78	39.391,95
1/3 <i>P. hispanica</i> , 1/3 <i>P. pinea</i> , 1/3 <i>O. europaea</i>	14.620,10	36.550,25

En la tabla 19, se presenta el precio de adquirir diferentes números de individuos de las tres especies propuestas, para los dos escenarios de mejora. El presupuesto de menos coste es el asociado a

la revegetación únicamente con ejemplares de *P. pinea*, sin embargo, al ser una especie perennifolia no es la más recomendable para las zonas de pradera destinadas al ocio. Para estas zonas se buscan ejemplares caducifolios, de tal manera que aporten una serie de beneficios, tales como:

- Aportación de sombra en verano, para reducir la evapotranspiración de la pradera y disminuir así sus necesidades hídricas. Además, la comunidad universitaria podrá disfrutar de zonas más frescas resguardándose de las radiaciones solares.
- Al perder la hoja en otoño, la comunidad universitaria podrá disfrutar de las zonas verdes en días soleados pero de baja temperatura. Por otra parte, esta pérdida de las hojas conlleva un retorno de los nutrientes al suelo, disminuyendo los requerimientos en fertilizantes sintéticos. Además, crea un acolchado natural que protege la pradera de las heladas y al descomponerse, permite la fijación del CO₂ contenido en su biomasa en el suelo.

Se propone una revegetación con un tercio de ejemplares de Olivo (*O. europaea*), un tercio de ejemplares de Pino piñonero (*P. pinea*) y un tercio de ejemplares de Plátano (*P. hispanica*). Los individuos de *P. pinea* y *Olea europaea*, situados en las zonas no destinadas al esparcimiento, como el perímetro o las parcelas fuera del centro del campus; y el otro tercio de ejemplares, pertenecientes a la especie *P. hispanica*, en estas parcelas centrales. Esta posibilidad tiene un coste medio dentro de las posibilidades propuestas de revegetación. Además es la opción, dentro de las propuestas, que incrementa la diversidad. Cabría la posibilidad de buscar acuerdos o convenios con el Ayuntamiento de la ciudad o con viveros, con el objetivo de financiar la campaña o disminuir el precio unitario de los ejemplares.

Como se ha comentado, se sugiere la necesidad de dejar las hojas caídas de los árboles durante el otoño en las zonas ajardinadas. De esta forma, continuaremos el ciclo de fijación del CO₂; aumentaremos los nutrientes del suelo, de una forma natural; crearemos un acolchado natural que proteja la pradera; ahorraremos en recursos y en mantenimiento, disminuyendo las emisiones de CO₂ y reduciendo el gasto económico.

Se considera importante resaltar la capacidad del suelo como sumidero de CO₂. Se estima que el suelo en la zona de la Comunidad de Madrid tiene almacenadas aproximadamente 20 t de C/Ha (www.eusoils.jrc.ec.europa.eu). Por ello, se recomienda no asfaltar el suelo ni cubrirlo con materiales impermeables o no porosos. Si es necesario cubrirlos, como medida de reducción de pradera, se aconsejan acolchados naturales porosos que permitan el flujo de materia y energía.

Las propuestas planteadas en este Practicum son una opción, limitada por el período de prácticas. Es por ello, por lo que creo necesario sugerir nuevos escenarios de estudio y propuestas a futuro, como por ejemplo, estudiar la eficacia como sumideros de CO₂ de otras especies adaptadas al clima mediterráneo con la finalidad de incrementar la biodiversidad; estudiar la posibilidad de realizar

plantaciones con árboles de mayor tamaño (según presupuesto); estudiar la relación entre la eficacia de fijación de CO₂ con la edad del árbol, estudiar distintas fases de revegetación ya que el objetivo es a largo plazo así como incrementar los porcentajes superficie arbórea, etc.

VI. CONCLUSIONES

El campus de Fuenlabrada presenta un 32% de su superficie dedicada a zonas verdes, las cuales no están adaptadas al clima mediterráneo continental. Por ello, existe un problema en su gestión, tanto en lo referente al consumo de agua como a su eficacia como sumidero de CO₂.

Estas zonas verdes son emisores de CO₂, principalmente debido al mantenimiento y a la elevada superficie dedicada a las praderas manejadas, césped.

Es necesario reducir la superficie dedicada a pradera manejada al mínimo posible, siendo imprescindible para alcanzar una reducción del consumo de agua, sin superar, en ningún caso un consumo máximo de 2.500 m³/Ha, así como para incrementar la eficacia como sumidero de CO₂. Para ello se han planteado diferentes escenarios de reducción de superficie de césped e incremento de la superficie arbórea.

Aumentar la superficie arbórea en un 50% con respecto a la actual, introduciendo individuos de *Olea europaea*, *Pinus pinea* y *Platanus hispanica*, adaptadas a las condiciones climáticas de Fuenlabrada y eficaces sumideros de CO₂, y reduciendo un 80% la superficie dedicada a pradera no maneja en pos de una pradera natural, con especies autóctonas, se plantea como el mejor escenario posible, tanto en lo que respecta al consumo de agua, como en la eficacia como sumidero de CO₂ de las zonas verdes del campus.

Las propuestas de mejora planteadas en la gestión de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada son viables y fácilmente ejecutables, además de adaptables al resto de campus de la URJC.

Es imprescindible informar a la comunidad universitaria de los nuevos planes de gestión de las zonas verdes para que sean partícipes de las ventajas y no lo consideren abandono, y reducir así el coste social asociado a la implantación de las reformas.

VII. EXPERIENCIA PERSONAL

Hace ya cinco años que me matriculé en la carrera que quería y, me sentí realmente feliz por ello. Por fin, se había hecho realidad mi sueño de niña. Bien es cierto que el camino no ha sido fácil, que he tropezado con piedras y que he tenido que realizar algún que otro sacrificio, pero en este momento, redactando el trabajo final de carrera, puedo decir que ha merecido la pena. Por suerte, he tenido la oportunidad de realizar las prácticas en la Oficina Verde de la Universidad Rey Juan Carlos y, empezar así mi bagaje por el mundo laboral. Gracias a ello puedo afirmar que la carrera que en su momento elegí, es la que quiero desempeñar durante el resto de mi vida como profesional.

La realización de las prácticas en la Oficina Verde ha sido la mejor forma de empezar en el mundo laboral. Desde el primer día me sentí muy bien acogida y valorada. Este paso me ha dado la oportunidad de aplicar mis conocimientos como técnico ambiental, en un entorno participativo y cordial. La experiencia adquirida durante mi estancia en la Oficina Verde, de la mano de Consuelo, técnico de la oficina, me ha servido para mejorar mis conocimientos profesionales así como las relaciones interpersonales laborales, permitiéndome participar en las reuniones y gestiones típicas del trabajo de oficina. El día a día se desarrollaba en una atmósfera de trabajo, respeto y ayuda mutua.

Las actividades realizadas durante mi estancia, fueron muy diversas, pasando de gestionar residuos a entrevistar a la comunidad universitaria. Esta versatilidad me ha servido para mejorar como profesional y como persona, además de ganar confianza en mí misma, sabiéndome válida como técnico.

Por todo ello, sólo puedo decir, que estoy deseando recorrer este nuevo camino que se abre ante mis ojos, seguir aprendiendo y poder aportar mis experiencias para seguir creciendo como persona y como profesional.

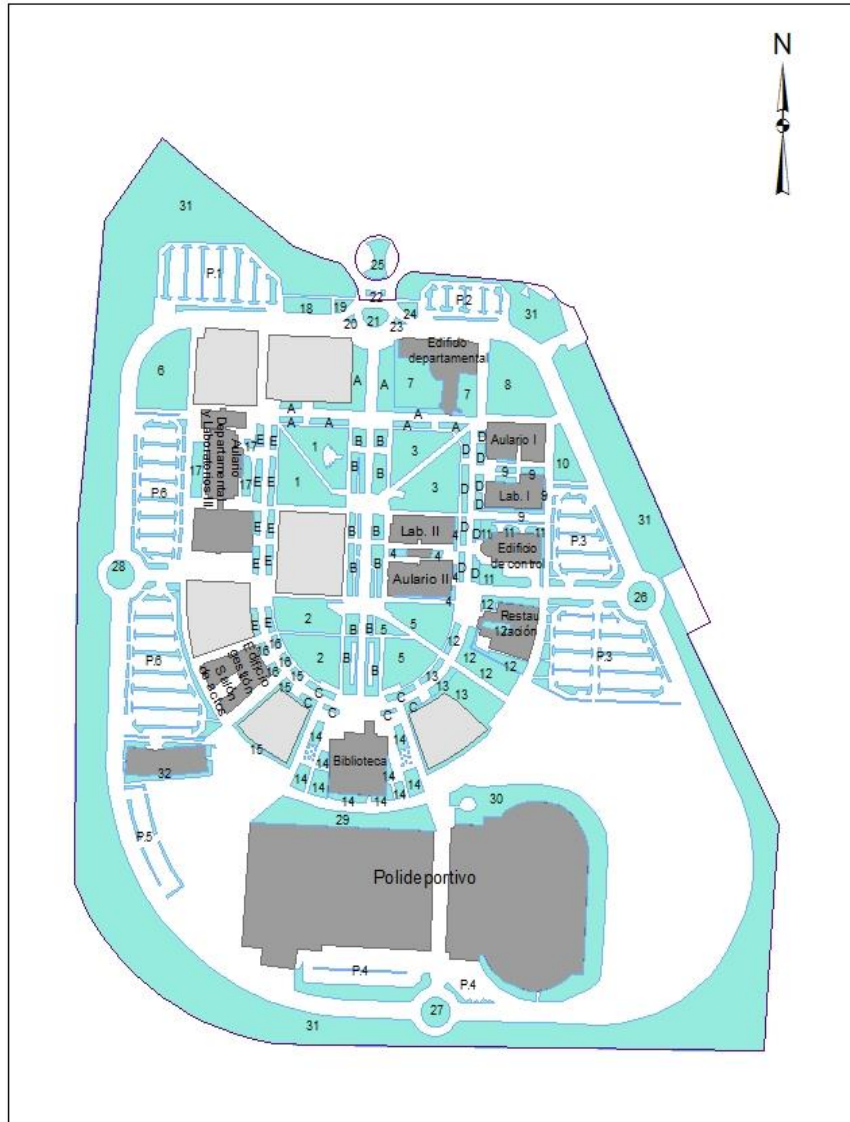
VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología de España; Instituto de Meteorología de Portugal. (2011). *Atlas climático ibérico*. Ministerio de Medio Ambiente, medio rural y marino, Madrid.
- Alías Gallego, J.C; García Rosa, M.; Valares Masa, C.; Sosa Díaz, T. (2009). El matorral como sumidero de carbono. En: S. E. C. F. – Junta de Castilla y León (ed.) *5º Congreso Forestal Español. Montes y Sociedad: saber qué hacer: 2-8*. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Ávila.
- Álvarez Álvarez, D. (2007). *El jardín en la arquitectura del siglo XX: naturaleza artificial en la cultura moderna*. Editorial Reverté, Barcelona.
- BO. Ayuntamiento de Madrid (2006). Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid. *BO. Ayuntamiento de Madrid* (22 junio 2006): 2410-2443.
- BOCM (2002). LEY 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid. *BOCM 154* (1 julio 2002): 6-27.
- BOE (2003). Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social. *BOE 313* (31 diciembre 2003): 46874-46991.
- Carreras Egaña, C. (1996). *Manual de la flora para la restauración de áreas críticas y diversificación en masas forestales*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
- CEDEX. (2012). *Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Comisión Europea. (2010). *Comunicación de la Comisión. Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Comisión Europea, Bruselas.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid. (2007). *El medio ambiente en la Comunidad de Madrid*. Comunidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- DO Comunidades Europeas. (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *DO L 327* (22 diciembre 2000): 1-72.





- DO Comunidades Europeas. (2002). Decisión 2002/358/CE del Consejo de 25 de abril de 2002 relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo. *DO L 130* (15 mayo 2002): 1-20.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Fariello, F. (2004). *La arquitectura de los jardines. De la Antigüedad al siglo XX*. Editorial Reverté, Barcelona.
- García-Pablos Ripoll, J.M.; Gago Dávila, J. (2013). *Plan parcial del sector PP-II.1. Término municipal de Fuenlabrada (Madrid). Información urbanística, memoria y planos*. Ayuntamiento de Fuenlabrada, Fuenlabrada.
- García Rosa, M. (2013). *Estudio de la biomasa de Cistus ladanifer L. y Retama sphaerocarpa L. como sumidero de CO₂: Existencias y Potencialidad*. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Garrido Lournaga, F.; Bravo Oviedo, F.; Ordóñez Alonso, C. (2009). Evaluación del CO₂ fijado por el arbolado urbano en la ciudad de Palencia. En: S. E. C. F. – Junta de Castilla y León (ed.) *5º Congreso Forestal Español. Montes y Sociedad: saber qué hacer: 2-8*. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Ávila.
- Garrote de Marcos, L.; Iglesias Picazo, A. (2012). *Adaptación al cambio climático. Identificación de medidas de adaptación a partir de los impactos sobre los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid*. Fundación Canal Isabel II, Madrid.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Martínez Fernández, J.; Martínez Fernández, J.; Romero Díaz, M.A.; López Bermúdez, F.; Belmonte Serrato, F. (1996). Biomasa e índice de área foliar de *Rosmarinus officinalis* L. en matorral semiárido (Cuenca de Mula, Murcia). *Anales de Biología* 21: 83-92.
- Ministerio de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente. (2011). *España, Informe Inventarios GEI 1990-2009*. MAGRAMA, Madrid.

- Montero, G.; Ruiz-Peinado, R.; Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid.
- Morici, C. (2006). La palmera canaria: *Phoenix canariensis*. *Rincones del Atlántico* 3.
- Pemán García, J.; Navarro Cerrillo, R. (1998). *Replantaciones forestales*. Universitat de Lleida, Lleida.
- Pérez Tello, A.M.; Fernández Mensaque, P.C. (2000). *La flora mayor del centro de Sevilla*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Ros Orta, S. (2007). *Planificación y gestión integral de parques y jardines*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- San Miguel Ayanz, A. (2008). *Gramíneas de interés para la implantación de praderas y la revegetación de zonas degradadas. Ecología y pautas básicas de utilización*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Sánchez Francés, R.; Ordax de Castro, C.; Quijano Pedrosa, A., Antolín Giraldo, G. (2008). *Variables de influencia en la productividad de biomasa de matorral en la mancomunidad del Alto Jarama-Atazar*. Fundación CARTIF, Valladolid.
- Sánchez García, M. (2014). *Diseñando la ciudad arbolada*. Asociación Española de Arboricultura, Madrid.
- Serrada, R. (2008). *Apuntes de Selvicultura*. Servicio de Publicaciones EUIT Forestal, Madrid.
- Serrada, R.; Montero, M.; Reque, J. (2008). *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. INIA y FUCOVASA, Madrid.
- Stephenson, N.L.; Das, A.J.; Condit, R.; Russo, S.E.; Baker, P.J.; Beckman, N.G.; Coornes, D.A.; Lines, E.R.; Morris, W.K.; Rüger, N.; Álvarez, E.; Blundo, C.; Bunyavejchewin, S.; Chuyong, G.; Davies, S.J.; Duque, A.; Ewango, C.N.; Flores, O.; Franklin, J.F.; Grau, H.R.; Hao, Z.; Harmon, M.E.; Hubbell, S.P.; Kenfack, D.; Lin, Y.; Makana, J.R.; Malizia, A.; Malizia, L.R.; Pabst, R.J.; Pongpattananurak, N.; Su, S.H.; Sun, I.F.; Tan, S.; Thomas, D.; van Mantgem, P.J.; Wang, X.; Wiser, S.K.; Zavala, M.A. (2014). Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 000.
- Townsend-Small, A.; Czimczik, C. I. (2010). Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophysical Research Letters* 37: 1-5.

ANEXO 1. CARTOGRAFÍA.



Leyenda

-  Perímetro campus Fuenlabrada
-  Zonas construibles
-  Zonas ajardinadas
-  Edificios

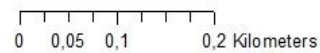
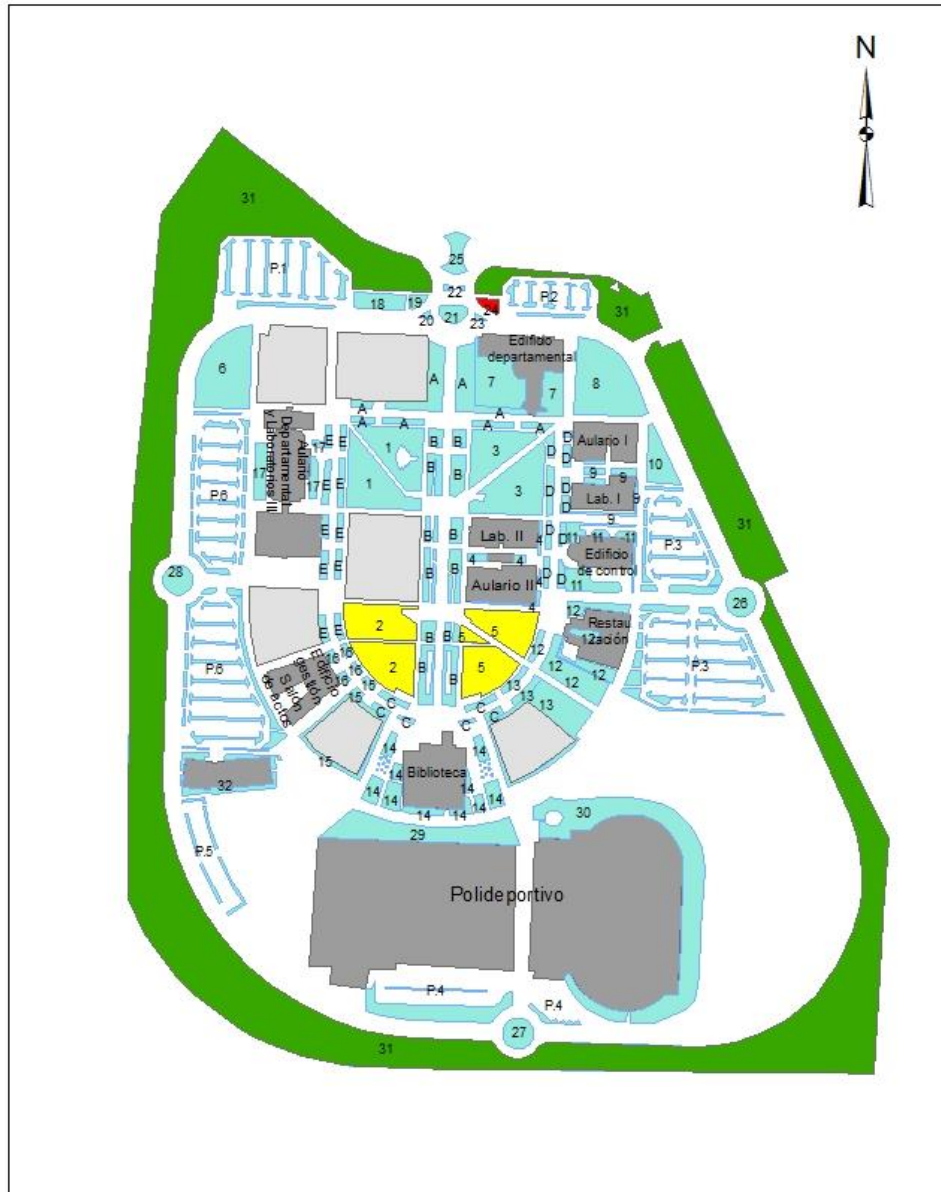


Ilustración 14. Mapa de las zonas verdes del campus de Fuenlabrada.

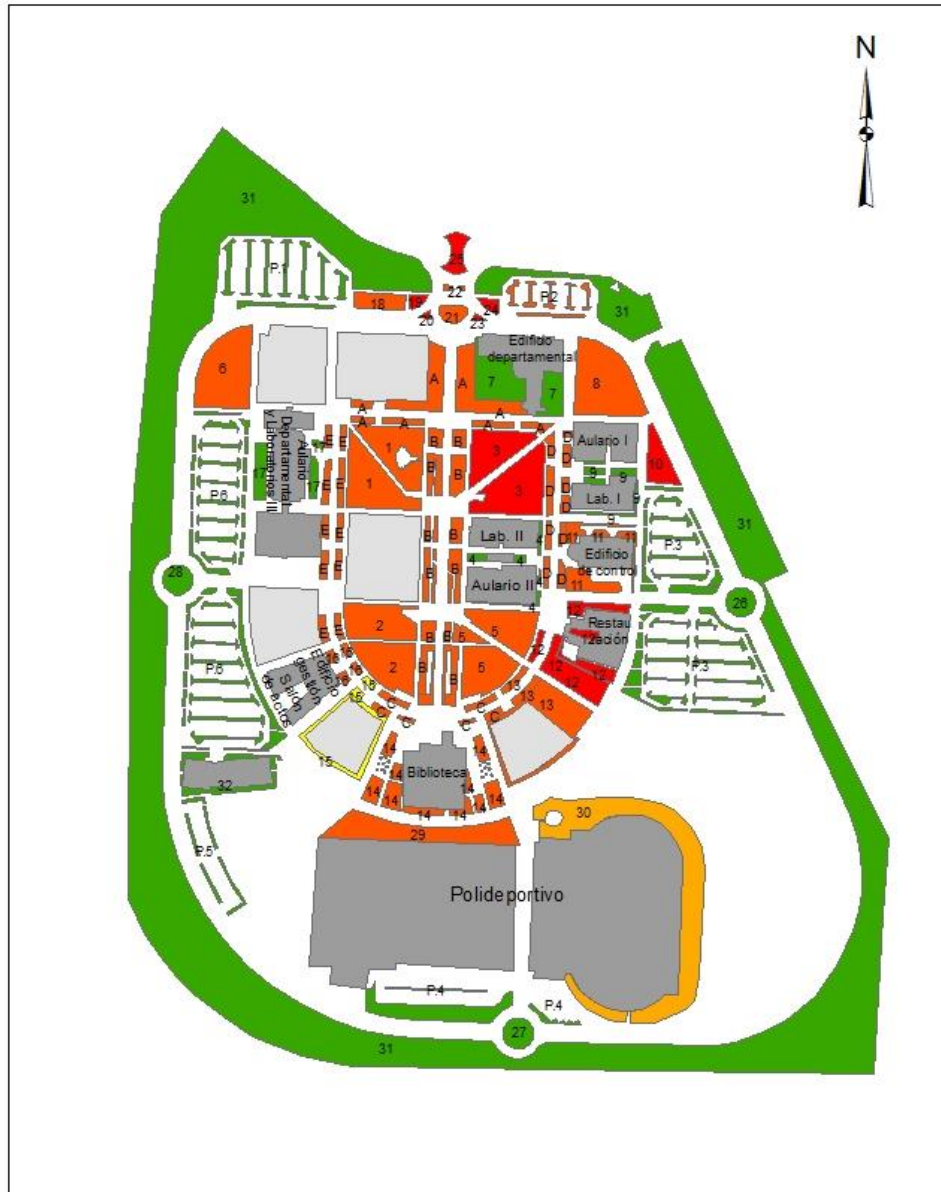


Leyenda

- Zona manejada pradera
- Zona manejada jardín
- Zona escasamente manejada
- Zonas construibles
- Zonas ajardinadas
- Edificios



Ilustración 15. Mapa de identificación de las zonas verdes inventariadas en el campus de Fuenlabrada.



Leyenda

-  0% superficie césped
-  50% - 20% superficie césped
-  70% - 50% superficie césped
-  95% - 70% superficie de césped
-  100% - 95% superficie césped
-  Zonas construibles
-  Edificios

0 0,05 0,1 0,2 Kilometers

Ilustración 16. Mapa de las zonas verdes del Campus de Fuenlabrada clasificadas por superficie dedicada a césped.