

04-028

WATER FOOTPRINT OF GREEN NATURE URBAN AND ITS IMPACT ON THE SUSTAINABILITY OF OUR CITIES.

Marin Peira, José Fernando ⁽¹⁾; Yousfi, Salima ⁽²⁾; Parra Boronat, Lorena ⁽³⁾; Mauri Ablanque, Pedro Vicente ⁽²⁾

⁽¹⁾ AREA VERDE, SL., ⁽²⁾ IMIDRA, ⁽³⁾ UPV

The overexploitation of the water resources in our country is increasing from one year to another, affecting negatively the environment and biodiversity. In the recent decades, green areas in the center of the peninsula have been occupying a large surface, at an ornamental or sports level. The maintenance of these surfaces requires a high water consumption, a requirement that is very difficult to apply with the current and critical water situation. Therefore, it is essential to study the possibility of using new strategies that allow maintaining a correct state of green areas with less water consumption. The evaluation of the water footprint (WF) of the green areas permits saving in water consumption and to improve the sustainability; nonetheless, studies on the water balance in green areas are scarce or absent. Therefore, the objective of our project is the development of WF model in green areas, in order to save on water irrigation, to contribute to the environment and to improve the wellbeing of citizens, empowering the green smart cities using new technologies in the management of water resources.

Keywords: Water management; green areas; remote sensing; sensors.

HUELLA HÍDRICA EN NATURACIÓN VERDE URBANA Y SU IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD DE NUESTRAS CIUDADES.

La sobreexplotación de los recursos hídricos en nuestro país está en aumento de un año a otro, afectando de una manera negativa al medio ambiente y la biodiversidad. En las últimas décadas, las áreas verdes en el centro peninsular están ocupando grandes superficies, a nivel ornamental o deportivo. El mantenimiento adecuado de estas superficies requiere un alto consumo en agua, un requisito que es muy difícil de aplicar con la situación actual y crítica del agua. Por este motivo, es primordial estudiar la posibilidad del empleo de nuevas estrategias que permiten mantener un estado correcto de las áreas verdes con un menor consumo hídrico. Evaluar la huella hídrica (HH) de las áreas verdes permite ejercer un ahorro en el consumo del agua y mejorar la sostenibilidad; sin embargo, son escasos o ausentes los estudios del balance de agua en las áreas verdes. Por lo tanto, el objetivo de nuestro proyecto es el desarrollo de un modelo de evaluación de la HH en áreas verdes, con el fin de ahorrar en agua de riego, contribuir en el medio ambiente y mejorar el bienestar de los ciudadanos, potenciando las ciudades verdes inteligentes usando nuevas tecnologías en la gestión de los recursos hídricos.

Palabras claves: Gestión hídrica; áreas verdes; teledetección; sensors.

Correspondencia: Pedro V. Mauri Ablanque pedro.mauri@madrid.org

Agradecimientos: A IMIDRA, y a FEADER por conceder financiación del desarrollo del proyecto GO-XEROCÉSPED.



1. Introducción

España es uno de los países europeos con un gran porcentaje de ciudades urbanizadas y desarrolladas y una gran población que vive en áreas urbanas, una proporción que sigue creciendo de un año a otro. La urbanización, el cambio climático y el crecimiento en la población son parámetros que han influido considerablemente en la demanda de agua. Aproximadamente tres cuartas partes de la superficie del globo terrestre están cubiertas de agua. Sin embargo, menos del 1% del agua del planeta es apta para sostener la vida humana, en un sistema con capacidad ambiental limitada y que sufre una presión antrópica desmedida a causa del crecimiento demográfico y el modelo de desarrollo actual.

El incremento del consumo de agua se debe en general a las prácticas de irrigación agrícolas, como el riego y la fertilización y a las operaciones de mantenimiento. Hasta el pasado reciente, ha habido pocos pensamientos en la ciencia y la práctica de la gestión del agua sobre el consumo y la contaminación a lo largo de toda la cadena de producción y suministro. Como resultado, hay poca conciencia sobre el hecho de que la organización y las características de un proceso y la cadena de suministro influyen fuertemente en los volúmenes del consumo de agua. En este contexto, (Hoekstra y Chapagain, 2007) han demostrado que visualizar el uso oculto del agua detrás de los productos puede ayudar a comprender el carácter global del agua dulce, en la cuantificación de los efectos del consumo y el comercio sobre el uso de recursos hídricos. La mejor comprensión de todas las operaciones paralelas al gasto en agua puede constituir una base para una mejor gestión de los recursos hídricos del mundo y puede ayudar a diseñar una mejor estrategia respecto al nivel ambiental, social y económico.

Hay que señalar, que una gran parte del estudio de los gastos y consumos en agua está destinada por la sostenibilidad del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales en agua. A tal efecto, el estudio de Huella Hídrica (HH) es un indicador de sostenibilidad que permite tener referencias y patrones para ver los gastos y consumos en agua de muchos sectores.

La HH es un indicador que se mide en términos de volumen de agua consumida (evaporada o que no retorna) y/o contaminada por unidad de tiempo, municipio y provincia. Los primeros estudios realizados de la HH fueron llevados a cabo por (Hoekstra y Hung, 2002) y (Chapagain y Hoekstra, 2003, 2004). Los trabajos de (Hoekstra, 2003) definieron la huella hídrica como “el volumen de agua necesario para la obtención de los productos y servicios consumidos por los habitantes de un país, de una región o por una persona”. Algunos autores la denominan huella hidrológica. Inicialmente los primeros estudios de la huella hídrica se centralizaron solo en la huella hídrica del agua azul (ríos, lagos y acuíferos) en relación con el comercio de los productos agrícolas y de los productos ganaderos.

En España, muchos estudios y referencias de la huella hídrica están destinados a la agricultura. Son escasos o ausentes los estudios del balance de agua en las áreas verdes. Sin embargo, la escasez del agua no es solo un desafío emergente en la agricultura, sino también en las zonas urbanas, que están extendiendo en superficies en las ciudades urbanas de un año a otro. La necesidad de mejorar el bienestar de los ciudadanos mediante ciudades verdes e inteligentes está implicada en los gastos de agua de una manera considerable, ya que los requisitos del césped en agua son altos, sin embargo, no hay controles de consumo de agua en este sector ya que no es un sector con final industrial o de producción y consumación.

La comunidad de Madrid ofrece un patrimonio verde de excepcional extensión y diversidad. Parques urbanos, jardines, parques forestales y zonas verdes insertas en la trama urbana superan en la actualidad las 6.400 hectáreas, más de 20 metros cuadrados de zonas verdes públicas por cada madrileño. Dentro de estas superficies encontramos además de césped otras zonificaciones, como superficies de arbustos, arbolados, setos, tapizantes, macizos de flor, o praderas naturales, zonas que demuestran claramente la gran masa de

césped que en distintas formas y espacios invaden los núcleos urbanos, con tipologías y usos distintos. En cuanto a consumos hídricos de las áreas verdes en la comunidad, encontramos en la Memoria de actividades del Ayuntamiento de Madrid datos del consumo de agua de riego para el total de zonas verdes registradas, 4.460,57 ha, que arrojan un total de 9.775.486 m³/año, representando un consumo medio de 2.191,53 m³/ha/año, volumen del cual el césped asumirá más que otras ocupaciones, dado que requiere una mayor dotación por superficie.

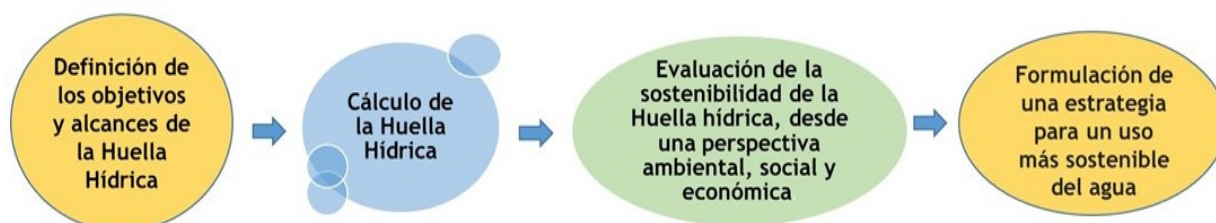
Según (Degefu et al., 2018) y (Velpuri y Senay, 2017), la mayoría de decisiones y políticas destinadas a las ciudades verdes implican un aumento en el consumo de recursos hídricos azules (aguas subterráneas o superficiales), para regar estos espacios verdes en épocas de déficit de agua (falta de precipitaciones). Esto es potencialmente un problema en ambientes áridos y semiáridos, donde el agua azul es generalmente un recurso escaso, y más aún bajo el cambio climático, lo que implica que muchas regiones secas con períodos particularmente secos del año se vuelven más afectadas.

Tomando nota de estos datos de superficies y requisitos hídricos de las áreas verde, el grupo operativo **GOP Huella Hídrica** piensa que es esencial contabilizar y calcular el balance de agua y la huella hídrica de estas superficies en el centro peninsular para trazar una estrategia y modelos que nos permiten el ahorro en agua y la sostenibilidad del medio ambiente. Una aplicación de la huella hídrica podría tener en cuenta todos estos datos para los cálculos de balance de agua y la planificación con una especificación para zonas verdes ornamentales y deportivas pudiendo así conseguir un ahorro de agua. Este análisis puede proporcionar un marco para optimizar las decisiones en materia de agua, ya que es necesaria una distribución más eficiente de los recursos para permitir la conservación del medio ambiente y los recursos económicos empleados en la naturación urbana.

2. Objetivos del GOP Huella Hídrica

El proyecto del GOP Huella Hídrica (**GRASS WATER FOOTPRINT**) pretende desarrollar un modelo o un patrón de evaluación de la huella hídrica en áreas verdes, con el objetivo de ahorrar en agua de riego y contribuir en la sostenibilidad del medio ambiente (Figura 1). Es un proyecto novedoso, ya que los estudios de huella hídrica se concentran mucho en la agricultura y la industria. Para ello se propone el diseño, desarrollo y puesta en marcha de unos ensayos en diferentes categorías de césped (ornamental y deportivo) para el cálculo del balance de agua y todos los parámetros que pueden influir en la cuantificación de este balance.

Figura 1: Esquema general de las fases y objetivos del estudio del GOP huella hídrica. Fuente: GOP GRASS WATER FOOTPRINT



La escasez en agua y la contaminación del medio ambiente por causa del desarrollo industrial, nos ha llevado a pensar en el estudio de la huella hídrica de los espacios verdes, superficies que están en aumento de un año a otro, con el objetivo de tener una referencia de balance hídrico para parques naturales y zonas deportivas y crear una estrategia para más ciudades verdes con menos gastos de agua y con unos valores de huella hídrica aceptables en las normas europeas.

El objetivo del GOP no es solo la creación de modelos de huella hídrica para naturación urbana, también está en trabajar con diferentes tipos de céspedes, ornamentales y céspedes deportivos, que se diferencian bastante en su mantenimiento y sus requisitos hídricos. Esta categorización de las áreas verdes nos permite cubrir una gran parte de necesidad en información y guía dentro de nuestra comunidad sobre el balance hídrico, la cuantificación y los recursos hídricos de las áreas verdes.

Además, el GOP Huella hídrica tiene como otro objetivo evaluar efecto del uso de nuevas tecnologías y técnicas de teledetección durante todo el seguimiento de las superficies estudiadas, estas herramientas nos permiten la monitorización de las áreas verdes y el control de su calidad y vigor con un uso inteligente de los requisitos (agua de riego principalmente). Además, estas nuevas tecnologías que pretende usar el GOP permiten diseñar estrategias que ayudan en el ahorro en agua de riego, y benefician el buen mantenimiento de los espacios verdes y la sostenibilidad del medio ambiente.

3. Material y Métodos

3. 1 Categorización de las zonas verdes implicada en el estudio

El GOP cuenta con grandes superficies de áreas verde que tiene IMIDRA (Figura. 2, 3), entre césped de praderas naturales, y césped de zonas mixtas. Estas superficies son muy ideales para un estudio que se puede extrapolar a las grandes superficies de parques naturales y zonas verdes extendidas por la comunidad de Madrid.

Figura 2: Las diferentes áreas verdes mixtas en el IMIDRA (césped, árboles, arbustos). Fuente: GOP GRASS WATER FOOTPRINT



Figura 3: Las diferentes áreas verdes naturales del IMIDRA. Césped ornamental para praderas naturales. Fuente: GOP GRASS WATER FOOTPRINT

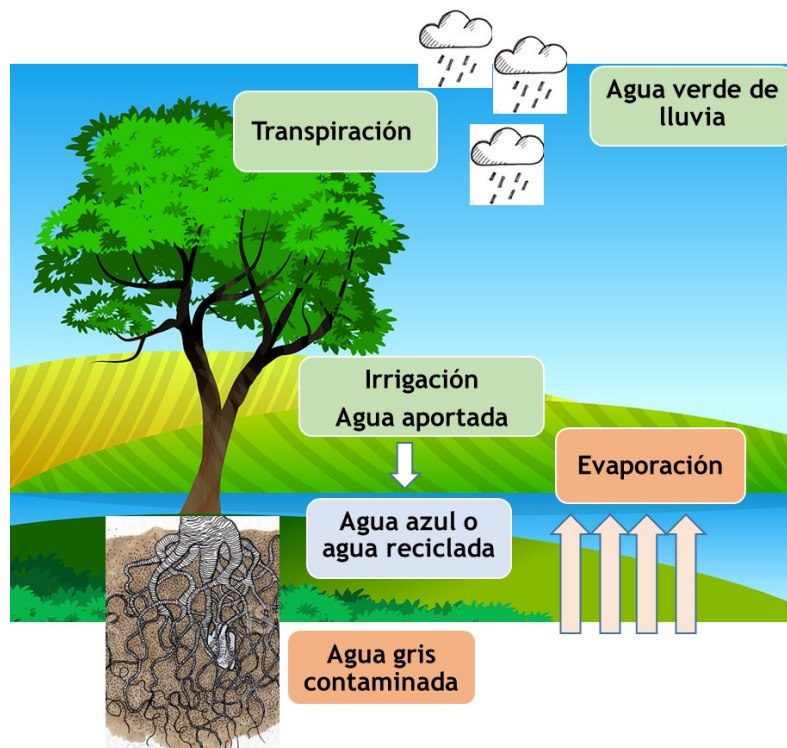


Una vez delimitadas y clasificadas las zonas de estudio de áreas recreativas en IMIDRA, elegimos también una zona caracterizada por un césped deportivo de cultivo intensivo y con un mantenimiento alto. La elección de dos tipos de césped nos permite de cubrir también los cálculos de la huella hídrica en las zonas deportivas que tienen un gasto considerable en consumo de agua y que necesitan un riego continuo con muchas operaciones de mantenimiento y seguimiento.

3.2 Categorización de las aguas y suelos

El GOP empleara en su estudio una gama distinta de agua para el riego (Figura 4) y con distintos tipos de suministro: agua de ríos y agua regenerada (depuradora o desalinizadora).

Figura 4: Esquema de las huellas hídricas de diferentes aguas. Fuente: GOP GRASS WATER FOOTPRINT



El agua azul o agua dulce es la que procede de los ríos, lagos y es la que fundamentalmente utilizamos para el riego. Asimismo, el agua verde (agua de lluvia almacenada en el suelo) y agua gris reciclada son muy importante en el sistema del riego. También, podemos considerar en nuestro estudio 3 tipos de calidad (buena, media, mala) en base a parámetros de calidad de aguas para riego existentes. El GOP tendrá también en cuenta los diferentes tipos de suelo-sustrato, basándonos en su composición textural y permeabilidad para poder diseñar patrones de huella hídrica diferentes.

3.3 Calculo de la huella hídrica

Una vez clasificados los terrenos y las agua destinadas, creamos un modelo de cálculo sencillo pero completo para el seguimiento o control de cumplimiento del uso del agua de riego. El GOP adaptara modelos conocidos y aplicados en estudios de distintos cultivos agrícolas, y los cambiara, mejorara y optimizara para el estudio de la huella hídrica en área verdes, teniendo en cuenta que a la hora de clasificar el cultivo de céspedes no contamos con una producción, sin embargo, tenemos una calidad y aspecto de césped.

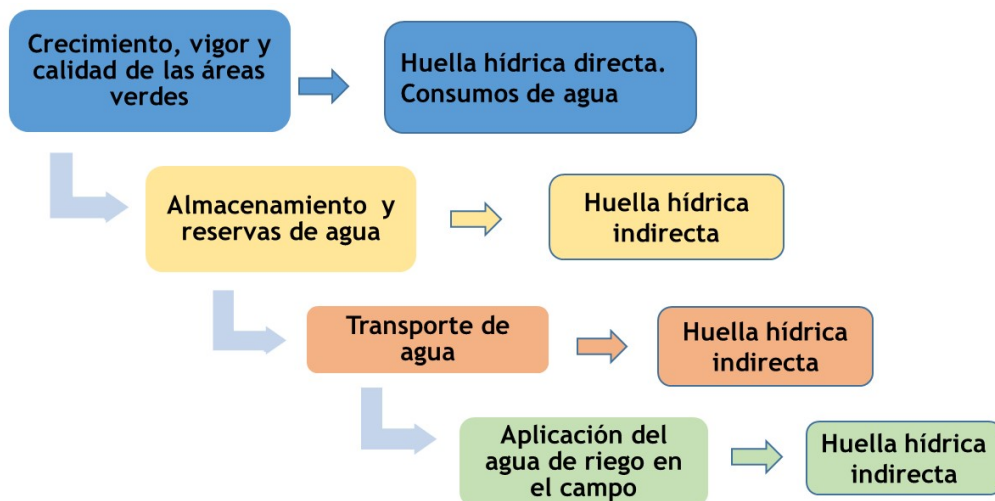
Respecto a la metodología empleada, El GOP ha hecho una búsqueda de trabajos relacionados con la huella hídrica urbana y modelos estudiados en otros países para establecer un modelo de cálculo de huella hídrica de naturación urbana eficiente y multidisciplinario. El modelo más usado en los cálculos de huella hídrica es el de (Hoekstra et al., 2019). Otros estudios sobre la huella hídrica se enfocaron en los recursos de agua azul en los espacios verdes urbanos (Nouri et al., 2019). La investigación de (Fialkiewicz et al., 2018), ha presentado un modelo simplificado de huella hídrica directa para la gestión del agua urbana en tres áreas urbanas de Europa Central con diferentes características, como Polonia, Austria y Italia. El GOP también ha estudiado el modelo propuesto por (Shojaei et al., 2018) y que analizó los requerimientos hídricos de las plantas de paisaje urbano en un entorno árido, un ejemplo de un jardín botánico y un parque forestal.

En cuento a los cálculos, El GOP plantea crear un modelo para el cálculo de la huella hídrica de la naturación urbana (HHNU), que se refiere a la evapotranspiración total del agua más aquella incorporada al césped o área verde, usando la siguiente formula:

$$HH_{NU(Volumen/tiempo)} = HH_{\text{agua azul}} + HH_{\text{agua verde}} + HH_{\text{agua gris}}$$

El modelo de cálculo del GOP podrá ser desarrollado de igual modo a base de inputs que nos permitan caracterizar todas las variables planteadas de: Agua, suelo, cultivo. Un modelo de cálculo de huella hídrica que consideramos como un modelo multidisciplinario, apto para una gran gama de céspedes y de aguas de riego, y con muchas variables indirectas que pueden cambiar la cuantificación del agua. Teniendo en cuenta que La huella hídrica de cualquier bien o servicio, es el volumen de agua utilizado directa o indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena y fuentes de aporte, el GOP estudiara la huella hídrica directa e indirecta de las diferentes aguas (Figura 5).

Figura 5: Esquema general de las diferentes huellas hídricas indirectas que influyen sobre la HHNU. Fuente: GOP GRASS WATER FOOTPRINT



Todo el proceso de almacenamiento, transporte y aplicación del riego en el campo tiene un valor que se llama la huella hídrica indirecta que puede cambiar el valor total de la HH_{NU} (Figura. 5). El objetivo del GOP en su metodología es tener cuenta de todas las HH indirectas, que se refieren al volumen de agua incorporada o contaminada en toda la cadena de procesos para el mantenimiento de las áreas verdes.

3.4 Implicación de las nuevas tecnologías en el mantenimiento de las áreas verdes

El GOP Huella Hídrica resalta en todas sus líneas de mantenimiento el empleo de nuevas tecnologías como el uso de sensores y de dron, y otras técnicas de teledetección (Agricultura de precisión) para optimizar el seguimiento del crecimiento de las áreas verdes y mantenerlas en un mejor estado fitosanitario, asociado a una mejor gestión de los recursos aplicados relacionado con los valores de la huella hídrica. De esta manera se pueden controlar los recursos aplicados a los espacios verdes (irrigación, fertilización, herbicidas), con aplicaciones en tiempos adecuados, con la cantidad apropiada y en el sitio correcto, permitiendo un buen mantenimiento de las áreas verdes y una buena gestión de agua (mejor huella hídrica).

Actualmente, muchas investigaciones informan que la gestión del riego del césped utilizando las características espectrales de las plantas se usa mucho como un método eficaz para mejorar la eficiencia del riego (Krum et al., 2010). Otros autores confirman que el análisis de los criterios espectrales se ha convertido en una parte crucial en el preciso manejo del césped y en un área activa de investigación (Caturegli et al., 2014; Marín et al., 2020). Todas las técnicas y dispositivos de teledetección son estrategias eficaces a seguir por contribuir en la sostenibilidad del medio ambiente y una buena gestión de los recursos hídricos. La teledetección permite un modelo de cálculo de huella hídrica con efecto muy positivo y significativo en la sostenibilidad de las áreas verdes y pueden evitarnos costos innecesarios de riego y ayudar en la protección del medio ambiente y la mejora de economía. Son técnicas caracterizadas por su accesibilidad, facilidad de uso y el bajo coste, lo que los convierte en unos dispositivos perfectos para la gestión del agua de las áreas verdes y el control de su calidad.

3.4.1 Medidas eficientes de aprovechamiento en agua de riego

El GOP empleara las tecnologías que están a nuestro alcance y que consisten en mantener las superficies verdes con la mejor calidad y con la mínima cantidad de agua gracias a sistemas de riego controlado usando sensores e imágenes térmicas. El GOP utilizara sensores de humedad plantados en los suelos de las áreas verdes que nos permiten tener controlada la humedad del suelo de una manera continua y tomar decisiones respecto al riego. Según el estudio de (Bremer y Ham, 2003), los sensores de humedad del suelo pueden indicar cuándo el perfil del suelo está lleno de agua o seco y, por lo tanto, se mantiene un césped saludable al evitar el estrés de las plantas causado por un suelo demasiado seco o un suelo regado en exceso. Esta prometedora tecnología de sensores podría conducir a una completa automatización del riego, lograr importantes ahorros de agua y mejorar la eficacia del riego en el césped. El estudio del GOP controlara la humedad del suelo diariamente mediante las lecturas de los sensores Plantae de humedad (Figura 6).

Figura 6: Modelo de sensores de humedad del suelo que plantea instalar el GOP en los ensayos



Además, las aplicaciones de los programas de control de los sensores nos permiten el acceso online desde el ordenador a todos los datos recolectados y los gráficos en tiempo real. El programa nos permite también ver las alertas automáticas por baja y alta de humedad en función del tipo de suelo y otros factores climatológicos y obtener informes automáticos con la situación de todas las superficies verdes estudiadas.

Además, de los sensores de humedad, el GOP utilizara un medidor de humedad puntual (TDR 350). Un instrumento que nos permite tener información sobre el estado hídrico del cultivo mediante datos de humedad del suelo. El TDR 350 (Figura 7) está diseñado para medidas fáciles y rápidas y nos facilita la monitorización y el registro de la Humedad/Conductividad/Temperatura del suelo con precisión.

Figura 7: Sensor de humedad del suelo TDR 350



El estudio utilizara también un sistema de control del riego equipado con un caudalímetro. Un sistema conectado con la red de riego existente en las áreas verdes estudiadas y que es capaz a través de un programador de gestionar los riegos según sean pautados con la climatología existente. El programador que usará el GOP es el ESP-LXME de RAIN BIRD (Figura. 8), que nos proporciona la detección de caudal y gestión del agua, con capacidad de 4 estaciones programables independientes (ABCD).

Figura 8: Sistema programador que plantea instalar el GOP para el control y la cuantificación del riego



El GOP contará también con la estación meteorológica del IMIDRA que nos facilitará los datos de precipitaciones y temperaturas. Estos parámetros son claves a la hora de gestionar los riegos, y puntos fundamentales también en los cálculos de la huella hídrica.

3.4.2 Técnicas de teledetección para el control del crecimiento y el vigor

El control del vigor y la calidad de las áreas verdes es una de las principales tareas de su buen mantenimiento y una evaluación indirecta de su huella hídrica. El GOP contará con técnicas de teledetección para medir la biomasa verde y el vigor de una manera continua. Contamos con el uso del GreenSeeker (Figura 9), medidor del NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada), es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y el desarrollo de la

vegetación. El NDVI se ha utilizado ampliamente para la estimación de la biomasa vegetal (Babar et al., 2006) y para el manejo del césped (Marín et al., 2020; Murphy et al., 2014). Su funcionamiento depende de un sensor que produce breves emisiones de luz roja e infrarroja y que a continuación mide la cantidad de cada uno de estos tipos de luz que se refleja en la vegetación, identificando el grado de stress que soporta la planta.

Figura 9: Trimble GreenSeeker



Otras técnicas de teledetección usadas en los estudios de irrigación, son aquellas relacionadas con la temperatura del dosel. Tanto la temperatura medida con sensor infrarrojo (Figura 10) o aquella obtenida a través de imágenes térmicas han sido muy importante a la hora de evaluar el crecimiento de plantas y su estado hídrico. Estas técnicas están muy usadas para detectar el estrés hídrico y pueden ayudar en la programación del riego. La temperatura de la cobertura de las áreas verdes puede proporcionar información sobre el estado hídrico del césped en relación con la absorción de agua del suelo. Esta técnica de teledetección nos permite tener el riego de las zonas verdes controlado.

Figura 10: Sensor infrarrojo FLUKE 561



Por otra parte, el seguimiento y el buen mantenimiento en tiempo real del crecimiento de las áreas verdes mediante imágenes aéreas de dron, se considera una técnica accesible, no tan cara (drones de bajo coste) y muy fiable para el monitoreo de espacios verdes de grandes superficies. El dron puede volar una gran superficie de áreas verdes en poco tiempo y diagnosticar las zonas secas debido a la falta de riego, o las zonas con exceso de agua debido a una ineficiencia en el sistema del riego. Asimismo, los parámetros del dron y de los sensores empleados en los ensayos del GOP permiten calcular una huella hídrica que se puede llamar huella hídrica inteligente de las áreas verdes. Mediante el Dron BEBOP-PRO THERMAL (Figura 11), el GOP puede evaluar el estado de las áreas verdes con una gran eficacia y

rapidez, ya que nos permite obtener información sobre el estado hídrico y fitosanitario en tiempo real y una mejora del mantenimiento. El dron BEBOP-PRO THERMAL está equipado con dos cámaras: la cámara térmica FLIR One Pro y la cámara RGB.

Figura 11: Dron BEBOP-PRO THERMAL



Las imágenes térmicas del dron pueden darnos una estimación global del estado hídrico de las zonas verdes. La termografía puede aportarnos en tiempo real información para decidir si el riego es necesario o no y si lo aplicamos en puntos puntuales o en la superficie global del área verde. Alternativamente, usamos también la información obtenida del color de las imágenes RGB (color rojo, verde, azul) obtenida del vuelo del dron, para estimar la vegetación de las áreas verdes. La imagen digital se considera como un buen indicador de la calidad y una técnica eficaz para detectar el estado hídrico de las áreas verdes, y permitir mejor gestión del riego. A partir de las fotos tomadas y usando software específico calculamos los índices de vegetación. El programa nos permite calcular dos indicadores muy importantes en relación con la vegetación y que son: la cantidad de área verde y el área verde activa. Todas estas técnicas diseñarán las pautas y los modelos del mantenimiento de las áreas verdes. El GOP elaborará el organigrama y la programación de las tomas de datos, en las distintas áreas verdes estudiadas para poder obtener una completa información del campo.

4. Resultados esperados del GOP Huella Hídrica

La contribución que se plantea para lograr los objetivos del proyecto está fundamentada en varias líneas de resultados esperados y planteados por GOP, los principales que se esperan son:

- La evaluación de la viabilidad en el establecimiento de distintos parámetros de seguimiento de la huella hídrica sobre diferentes zonas verdes.
- El establecimiento de un modelo y sistema de medición con distintas variables de control sobre las parcelas pilotos como metodología de control de la huella hídrica.
- La detección de los retos que los profesionales del sector consideran más relevantes para la elaboración de una breve guía de recomendaciones indicando las ventajas de este manejo.
- La evaluación del impacto del estudio sobre el mejor manejo de recursos hídricos y la rentabilidad del sistema sobre la sostenibilidad de las áreas verdes.
- El establecimiento y la consolidación de lazos entre científicos, técnicos y profesionales del sector mediante reuniones de intercambio de puntos de vista y difusión de los resultados del proyecto.

Los resultados del GOP contribuyen también directamente en la mejora del medio ambiente, y en la mejora de la gestión y el mantenimiento de las áreas verdes en nuestra comunidad.

Estos resultados permiten tener todos los datos de balances hídricos de las superficies verdes y encontrar y resolver todos los problemas que influyen de una manera directa o indirecta en la huella hídrica, lo que nos llevara a utilizar las cantidades imprescindibles de agua y reducir la contaminación.

Por otro lado, el proyecto desarrollará una línea de resultados que será como una base de datos necesaria para controlar los recursos hídricos de las áreas verdes. Unos datos que ayudaran a planificar más espacios verdes con una plataforma de uso inteligente de todos los inputs implicados en el desarrollo urbano.

5. Impactos del GOP

Teniendo en cuenta todo lo anterior, resulta indiscutible no tener en cuenta que la huella hídrica de las áreas verdes tiene un impacto sobre el medio ambiental, la economía y la vida social de los ciudadanos.

5.1 Impacto ambiental

La sostenibilidad de la huella hídrica evaluada en el proyecto del GOP nos permitirá estudiar el balance y la cuantificación entre el agua de riego suministrada y el agua disponible. A través del cálculo de la huella hídrica nos aproximamos a los valores reales de las demandas de recursos hídricos de las áreas verdes de nuestra comunidad y país. Esta información permite controlar las reservas hídricas y proteger el medio ambiente. Además, la huella hídrica de las áreas verdes crea una relación directa entre los sistemas hídricos y el consumo en irrigación. Esta vinculación puede determinar factores como la escasez o contaminación del agua, pero también puede permitir una mejora en la gestión del agua. Considerando el cálculo y las interpretaciones de la HH urbana se puede considerar esta última como un componente fundamental a la hora de tomar decisiones en relación con el tema del agua, y la sostenibilidad del desarrollo urbano. Esto implica utilizar las cantidades imprescindibles de agua y reducir la contaminación en el proceso de mantenimiento de las áreas verdes. Además, la reducción en los gastos en agua de riego con las estrategias nuevas y el cálculo de la HH permite un aumento en la plantación de área verdes que tienen la capacidad natural de disminuir la contaminación en las ciudades modernas.

5.2. Impacto social

La aplicación del concepto huella hídrica en el diseño de las ciudades verdes puede ayudar a ecologizar las ciudades (naturación urbana) sin aumentar la presión sobre el gasto en agua azul. Estas estrategias del estudio del balance hídrico que permiten más superficies verdes en las ciudades actuales ayuden en la mejora del bienestar de los ciudadanos y aportan un progreso en el sector social y ocio de las ciudades modernas.

5.3. Impacto económico

La huella hídrica debe integrarse en los análisis económico-ambientales. La valoración monetaria de los gastos de agua, beneficios y daños causados por el riego es más eficaz cuando tenemos una buena estimación y cuantificación de los recursos hídricos. Reducir la huella hídrica de las áreas verdes incluye también resultados de eficiencia económica que se manifiesten en la valoración del precio de los volúmenes de agua gastados o ahorrados durante el proceso del mantenimiento de las áreas verdes.

6. Referencias

- Babar, M.A., Reynolds, M.P., Van Ginkel, M., Klatt, A.R., Raun, W.R., Stone, M.L. (2006). Spectral reflectance indices as a potential indirect selection criteria for wheat yield under irrigation. *Crop Sci.* 46, 578-588.
- Bremer, D., & Ham, J. (2003). Soil moisture sensors can help regulate irrigation. *Turfgrass Trends*, 59, 29-52.
- Caturegli, L., Lulli, F., Foschi, L., Guglielminetti, L., Enrico Bonari, E., & Volterrani, M. (2014). Turfgrass spectral reflectance: Simulating satellite monitoring of spectral signatures of main C₃ and C₄ species. *Precis. Agric.* 16, 297-310.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra A. Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Value of Water Research Report Series*, 13, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). Water footprints of nations. *Value of Water Research. Report Series*, 16, UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands.
- Degefu, D. M., Weijun, H., Zaiyi, L., Liang, Y., Zhengwei, H., & Min, A. (2018). Mapping monthly water scarcity in global transboundary basins at country-basin mesh based spatial resolution. *Scientific Reports*, 8, 2144.
- Hoekstra, A.Y., & Hung, P. Q. (2002). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series*, 11, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual Water. An Introduction. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour Manage*, 21, 35-48.
- Hoekstra, A. Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Advances in Water Resources*, 129, 112-117.
- Krum, J.; Carrow, R. N. M., & Karnok, K. (2010). Spatial mapping of complex turfgrass sites: Site-specific management units and protocols. *Crop Sci.* 2010, 50, 301-315.
- Marín, J., Yousfi, S., Mauri, P. V., Parra, L., Lloret, J.; & Masaguer, A. (2020). RGB vegetation indices, NDVI and biomass as indicators to evaluate C₃ and C₄ turfgrass under different water conditions. *Sustainability*, 12, 2160.
- Murphy, J. T., Owensby, C. E., Ham, J. M., & Coyne, P. I. (2014). Estimation of vegetative characteristics by Remote Sensing. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res*, 2, 47-56.
- Nouri, H., Chavoshi Borujenic, S., & Hoekstra, A.Y. (2019). The blue water footprint of urban green spaces: An example for Adelaide, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103613.
- Shojaei, P., Gheysari, M., Nouri, H., Myers, B., & Esmaeili, H. (2018). Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. *Ecological Engineering*, 123, 43-53.
- Velpuri, N. M., & Senay, G. B. (2017). Partitioning evapotranspiration into green and blue water sources in the conterminous United States. *Scientific Reports*, 7, 6191.
- Fialkiewicz, W., Burszta-Adamiak, E., Kolonko-Wiercik, A., Manzardo, A., Loss, A., Mikovits, C., & Scipioni, A. (2018). Simplified DirectWater Footprint Model to Support Urban Water Management. *Water*, 10, 630.

**Communication aligned with the
Sustainable Development Goals**

