

04-030

REMOTE SENSING TOOLS AND SENSORS: KEY METHODS FOR SUSTAINABLE MAINTENANCE OF ORNAMENTAL AND SPORTS LAWNS

Marin Peira, José ⁽¹⁾; *Yousfi, Salima* ⁽²⁾; *Rincón de la Horra, Gregorio* ⁽¹⁾; *Masaguer Rodríguez, Alberto* ⁽³⁾; *Mauri Ablanque, Pedro Vicente* ⁽²⁾

⁽¹⁾ Area Verde, SL., ⁽²⁾ IMIDRA, ⁽³⁾ UPM

Natural grasslands have a great effect on reducing air pollution and a positive impact on the quality of citizens life. Likewise, the natural sports turf has an advantage for the environment and a great sporting importance. An efficient and sustainable maintenance of turfgrass surfaces (ornamental and sports) requires the use of intelligent strategies that employ resources needed at appropriate time, place and quantity, on one hand, and on the other by selecting species most tolerant to limited growth conditions and with less demands. Therefore, the objective of our project is focused on the use of new technologies to improve the management of resources (irrigation, fertilization, herbicides) and reducing significantly maintenance costs of turfgrass surfaces, as well as the comparison in growth of different grass mixtures to select those adapted to our climatic conditions. Different physiological characteristics will be evaluated to estimate the development of vegetation through spectroradiometry and digital terrestrial images and those obtained from drone flights. The water status of the plants will be also evaluated with measurements of plant canopy temperature by infrared thermometry and thermal images obtained from drone flights.

Keywords: remote sensing; sensors; resources management; sustainability; vegetation indices; turfgrass

HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN Y SENSORES: MÉTODOS CLAVE PARA UN MANTENIMIENTO SOSTENIBLE DE CÉSPEDES ORNAMENTALES Y DEPORTIVOS

Las praderas cespitosas naturales tienen un gran efecto en la reducción de la contaminación del aire y un impacto positivo en la calidad de vida de los ciudadanos. Asimismo, el césped natural deportivo tiene una ventaja para el medio ambiente y una gran importancia deportiva. Un mantenimiento eficaz y sostenible de superficies cespitosas (ornamentales y deportivas) requiere la utilización de estrategias inteligentes que usan los recursos necesarios en el tiempo, sitio y cantidad adecuados, por un lado, y por el otro seleccionando especies tolerantes a condiciones de crecimiento limitadas y con menos exigencias. Por lo tanto, el objetivo de nuestro proyecto se enfoca en el uso de nuevas tecnologías para mejorar la gestión de los recursos (irrigación, fertilización, herbicidas) y reducir significativamente los costes en mantenimiento de superficies cespitosas, así como la comparación en crecimiento de diferentes mezclas de césped para seleccionar las adaptadas a nuestras condiciones climáticas. Se evaluarán distintas características fisiológicas para estimar el desarrollo de la vegetación mediante espectroradiometría e imágenes digitales terrestre y las obtenidas de vuelos de dron. Se evaluará también el estado hídrico de las plantas con medidas de temperatura del dosel vegetal por termometría infrarroja e imágenes térmicas obtenidas de vuelos del dron.

Palabras clave: teledetección; sensores; gestión de recursos; sostenibilidad; índices de vegetación; plantas cespitosas

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



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En las últimas décadas, el desarrollo y la industria de las grandes ciudades han provocado un aumento de la contaminación ambiental y la mala calidad del aire. Es probable que esta situación aumente en el futuro porque se espera que el cambio climático disminuya la precipitación y aumente la emisión de gases contaminantes. En este contexto, los pastizales naturales, así como los espacios verde deportivos tienen una capacidad natural para disminuir la contaminación de las ciudades y tienen un impacto positivo en la vida de los ciudadanos. Además, los espacios verdes urbanos se han definido como un ingrediente clave para la sostenibilidad de la ciudad (Chiesura A., 2004). Los autores del estudio sobre campos de golf (James *et al.*, 2009), han informado que la provisión de espacios verdes urbanos y sus beneficios asociados son importantes para el desarrollo urbano sostenible desde una perspectiva ecológica, económica y social. Sin embargo, el mantenimiento adecuado de los espacios verdes requiere un riego regular y óptimo, que es difícil de aplicar en muchas regiones donde la sequía y las altas temperaturas son frecuentes. En 2014 Schebella, M.F. *et al.* han declarado que uno de los mayores obstáculos para establecer y mantener espacios verdes es la escasez de agua. La calidad de los espacios verdes urbanos podría estar en riesgo con la reducción de las precipitaciones y una mayor frecuencia y duración de las sequías (Saunders, R. *et al.*, 2009).

En este contexto, la agricultura de precisión se ha convertido en una valiosa herramienta en esta última década para una gestión eficiente de las necesidades de los cultivos. Gebbers, R. *et al.*, (2010) describió la agricultura de precisión como clave para optimizar el uso de los recursos disponibles para aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad de las operaciones agrícolas, reducir el impacto ambiental negativo y mejorar la calidad del ambiente de trabajo y los aspectos sociales de la agricultura. La agricultura de precisión permite la distribución de la cantidad exacta de insumos agrícolas (fertilización, riego, herbicidas) en tiempo real y en un área de campo específica. Además de la gestión de los cultivos, los índices de vegetación y la temperatura del dosel derivados de medidas en remoto nos permiten estudiar la variabilidad genotípica. Idealmente, aquellos genotipos que exhiben biomasa más verde (es decir, que crecen más o exhiben una actitud de permanencia verde) o una temperatura más baja del dosel son los más adecuados para las condiciones de estrés mediterráneas.

El objetivo de este trabajo es el uso de los datos de vuelo de un dron sobre una superficie deportiva grande (campo de Golf) para ver las necesidades de riego del campo usando las imágenes térmicas. Además, este trabajo evaluará también el uso de técnicas de teledetección (espectroradiometría, imágenes digitales terrestres y medidas de temperatura del dosel vegetal por termometría infrarroja) para comparar el crecimiento de diferentes especies cespitosas en uso ornamental.

2. Material y métodos

Se realizaron vuelos de dron en el Encín Golf, campo de golf situado en Alcalá de Henares, Madrid. El campo de cuenta con una superficie de 78 ha y con 18 hoyos, con distintas variedades de césped implantadas en el campo, con *Agrostis estolonifera Tee-One(T1)*. El vuelo se realizó con un agrodron de ala fija tipo Parrot Disco Pro AG para obtener imágenes térmicas indicando el nivel de riego en cada hoyo. El riego del campo de golf se hace con aspersores emergentes con válvula en cabeza ajustables en alcance y marco con una cobertura total sobre todas las superficies, el automatismo está controlado por el programa de riego ToroSitePro que permite ajustar dosis de riego sobre cada aspersor.

Se realizaron ensayos de campo en el Instituto de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario de Madrid (IMIDRA) en Alcalá de Henares, Madrid. Se evaluaron tres mezclas de césped C₃-C₄ y que son: FC; *Festuca arundinacea* (C₃) con *Cynodon dactylon* (C₄), FB; *Festuca arundinacea* (C₃) con *Buchloe dactyloides* (C₄) y FZ; *Festuca arundinacea* (C₃) con *Zoysia japónica* (C₄) con un 75% de semillas de plantas C₃ y un 25% de césped C₄. Como mezcla estándar, hemos usado una formada por tres plantas C₃ *Lolium perenne* (15%) - *Festuca arundinacea* (75%) - *Poa pratensis* (15%). Las plantas se regaron con un riego por aspersión y las condiciones de cultivo fueron las mismas en todas las parcelas. El riego se controla por el programador de riego Rain Bird (modelo ESP-LXME).

Se han realizado medidas del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) con un espectroradiómetro portátil (sensor de cultivo de mano GreenSeeker, Trimble, EE. UU.). Además, se tomó una imagen digital convencional por parcela con una cámara SONY DSC-W120. Las imágenes se analizaron con el software de acceso libre BreedPix (Casadesus, J. *et al.*, 2007), que nos permite calcular los índices de vegetación área verde (GA) y el área más verde (GGA), este último está diseñado para capturar solo el área fotosintética activa, excluyendo las hojas senescentes. Las medidas se realizaron durante la época de menor actividad vegetativa (otoño-invierno). La temperatura del dosel (TD) se midió el mismo día que los índices de vegetación, utilizando un termómetro infrarrojo (Fluke 561). Se midió también la humedad de las parcelas usando TDR 350 (medidor de humedad FieldScout).

Los datos se sometieron a un análisis factoriales de varianza (Anovas) para probar los efectos de las mezclas de césped estudiadas. Las medias fueron comparadas por la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD). Se hicieron también correlaciones bivariadas para analizar las relaciones entre los índices NDVI, GA y GGA entre ellos y entre la humedad. Los análisis estadísticos se realizaron con IBM SPSS Statistics 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Las figuras se crearon usando Sigma-Plot 11.0 para Windows (Systat Software Inc., Point Richmond, CA, EE. UU.).

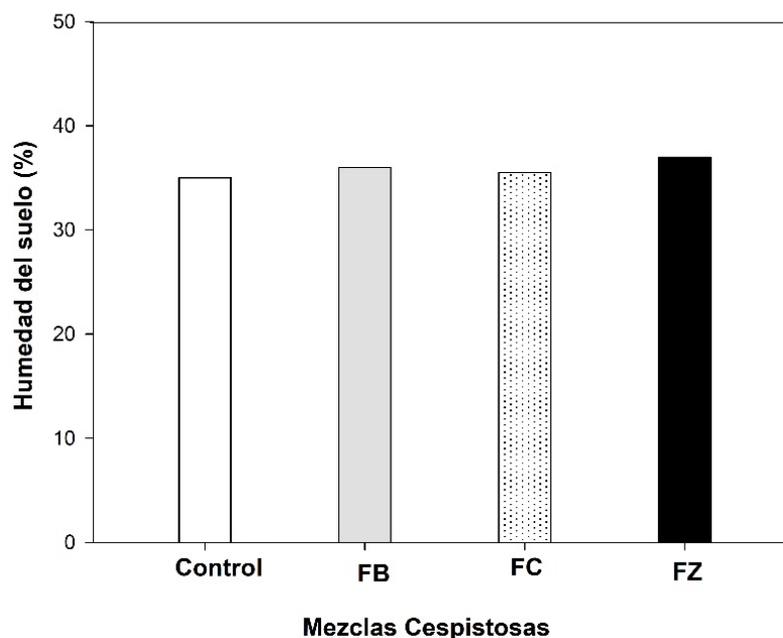
3. Resultados

Las diferencias genotípicas entre las cuatro mezclas estudiadas se examinaron para todos los parámetros fisiológicos (Tabla 1) y bajo las mismas condiciones de riego para todas las parcelas (Figura 1), ya que no había diferencias significativas entre los valores de humedad tomados con TDR 350 ($p < 0.242$). Los resultados mostraron que hay diferencias significativas para NDVI, GA y GGA entre las mezclas C₃-C₄ y la mezcla estándar (solo plantas C₃), con valores más altos en las tres mezclas de especies C₃-C₄ (FC, FB, FZ), mientras que la mezcla estándar (solo plantas C₃) presentó valores más bajos (Tabla 1). Por otra parte, las diferentes mezclas de césped se diferencian también entre ellas en la temperatura del dosel con valores más altos en la mezcla formada solo con las plantas C₃ (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de las diferentes mezclas de césped sobre NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada), GA (Área verde) GGA (Área más verde) y la temperatura del dosel (TD). Niveles de significación: *** $p < 0.000$; ** $p < 0.01$.

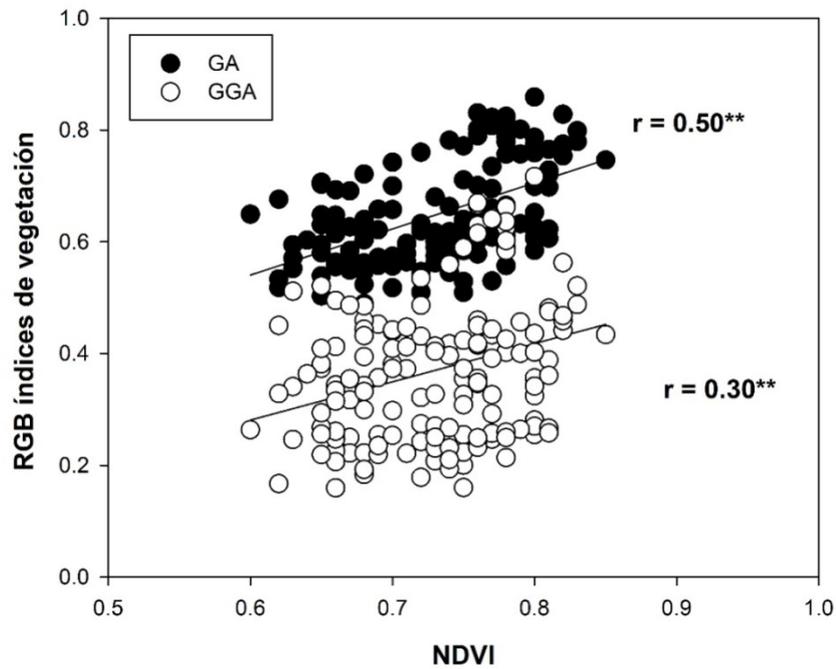
	NDVI	GA	GGA	TD (°C)
Mezcla				
<i>Festuca-Cynodon</i>	0.75 ^a	0.65 ^a	0.38 ^a	14.50 ^a
<i>Festuca-Buchloe</i>	0.74 ^a	0.67 ^a	0.38 ^a	14.52 ^a
<i>Festuca-Zoysia</i>	0.74 ^a	0.66 ^a	0.39 ^a	14.30 ^a
<i>Lolium-Festuca-Poa</i>	0.69 ^b	0.60 ^b	0.33 ^b	17.29 ^b
Nivel de significación	0.000***	0.010**	0.010**	0.010**

Figura 1. Valores medios de la humedad(%) del suelo para las diferentes mezclas cespitosas.



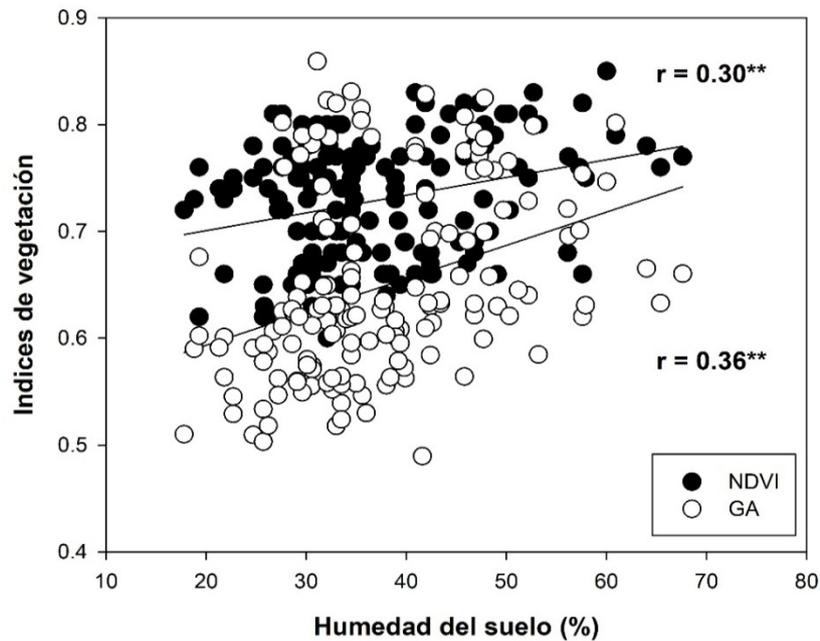
Los resultados han demostrado que el NDVI también se correlacionó positivamente y significativamente con los índices de vegetación (Figura 2) derivados de las imágenes digitales área verde (GA) y área más verde (GGA), con el coeficiente de correlación más alto en el caso del índice de vegetación del área verde ($r = 0.50$).

Figura 2. Correlación entre NDVI, GA y GGA juntando todas las mezclas estudiadas. Abreviación de variables como se define en la Tabla 1. Niveles de significación: ** $p < 0.01$.



Asimismo, los resultados también han demostrado que el nivel de humedad del suelo se correlacionó positivamente y significativamente con los índices de vegetación NDVI y GA y con la misma eficacia (Figura 3).

Figura 3. Correlación entre la humedad del suelo y los índices NDVI y GA juntando todas las mezclas estudiadas. Abreviación de variables como se define en la Tabla 1. Niveles de significación: ** $p < 0.01$.



La imagen térmica de todo el campo de golf nos ha mostrado que los 18 hoyos están en un nivel de riego adecuado (Figura 4). Los distintos hoyos del recorrido presentan en diversas zonas algo de diferencia en su estado de humedad debido al distinto comportamiento del agua de riego aplicada, influenciado a su vez por las escorrentías superficiales que reciben, debidas a los moldeos que registran y al distinto comportamiento del agua en el suelo en cuanto a permeabilidad y velocidad de infiltración motivada por el diferente desarrollo de las coberturas vegetales presentes.

Por otro lado, observamos que hay zonas no regadas del campo, como las zonas que registran coloración roja y anaranjada (en el medio de la imagen), estas muestran claramente que el agua de riego no se aplica en estas áreas que a su vez no están siendo empleadas para el juego.

En la figura 5 podemos observar los niveles de estrés hídrico en las zonas que se encuentran entre los hoyos en juego, aquí se puede ver con mayor claridad las diferencias entre áreas secas y muy secas (coloraciones naranjas y rojas), que presentan ese comportamiento por tener presencia de alguna cobertura vegetal, aún marchita o por tener ausencia de vegetación, tierra yerma sin cobertura, mostrando por tanto un nivel de menor sequedad las superficies que han tenido un estrato herbáceo silvestre, ejerciendo éste en el suelo una acción más favorecedora y mejorante de sus propiedades.

Apreciamos también distinta intensidad de coloraciones azuladas que se corresponden a áreas muy cercanas a superficies regadas, que pueden registrar en momentos puntuales alguna pluviometría por el riego debido a derivas por viento, con presencia de un estrato herbáceo, que si bien no es pradera estable para juego sí que tiene un comportamiento de pradera natural que es incluso segada puntualmente.

Debiéndose su distinto grado de humedad a la topografía antes referida y a la mayor o menor cobertura o densidad de pradera presente, mostrando mayor intensidad las zonas más deprimidas que recogen más aguas por escorrentías y las que presentan un mayor estrato herbáceo.

Figura 4. Niveles de estrés hídrico de los hoyos del campo de Golf

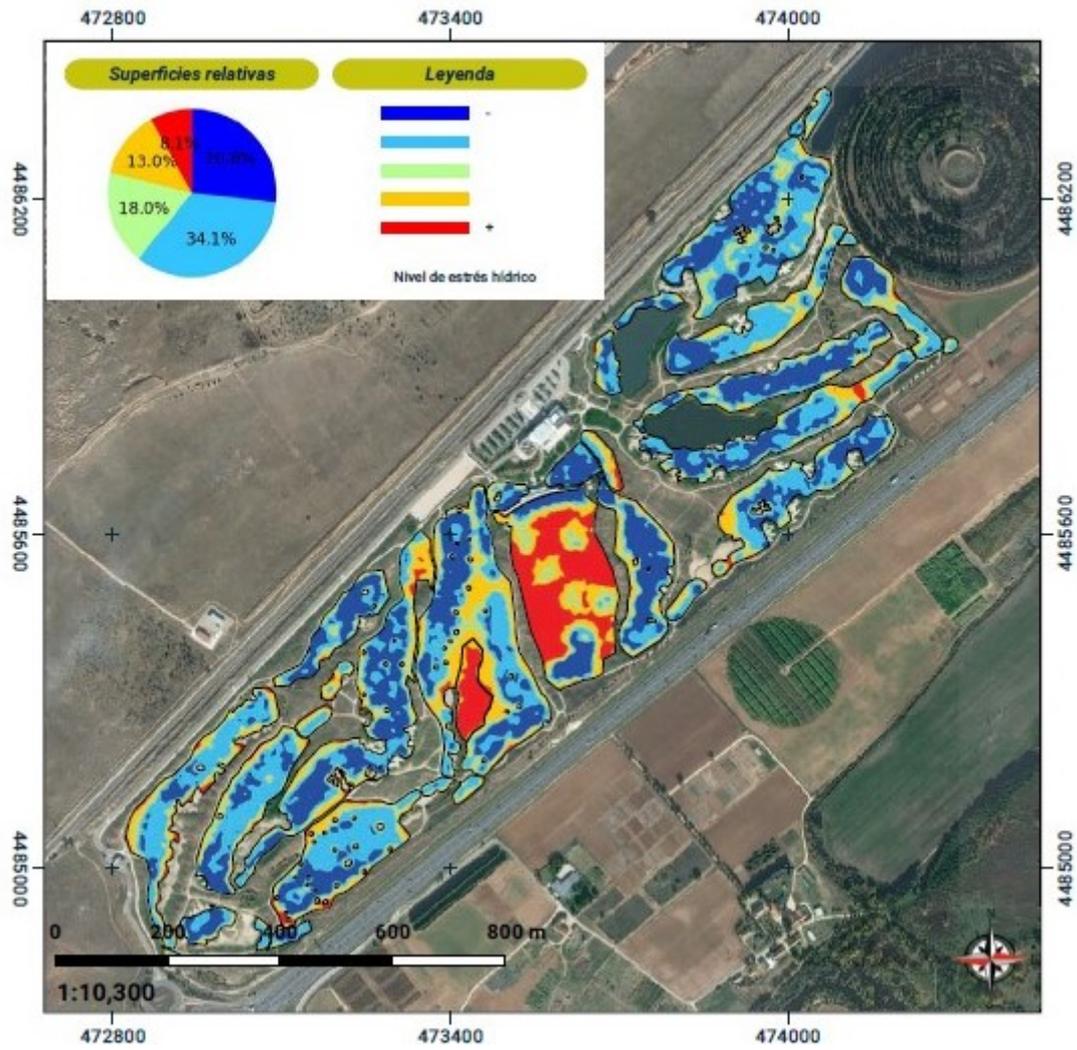


Figura 5. Niveles de estrés hídrico de las zonas base del campo de golf del Encín.



4. Discusión

Los índices de vegetación del NDVI y las imágenes digitales de este estudio nos han permitido obtener información sobre el estado de crecimiento y el grado de estrés de las especies de césped. De acuerdo con esto, Caturegli, L. et. al. (2007), informó que la aplicación de índices de vegetación ayuda a resaltar las diferencias espectrales que incluyen la calidad del césped, el color, la materia seca y la clorofila. Además, los resultados de este estudio mostraron la utilidad de los índices de vegetación como método para identificar la variación genotípica del césped bajo diferentes condiciones de crecimiento. Todos los índices de vegetación, fueron significativamente diferentes entre las mezclas de césped (Tabla 1). En este contexto, se ha mostrado que los índices de vegetación a menudo son capaces de discriminar entre diferentes cultivares de césped que se han establecido y mantenido con prácticas agronómicas idénticas. Los resultados de este estudio han demostrado también una diferencia significativa en la temperatura del dosel entre las mezclas C₃-C₄ y la mezcla estándar (solo C₃).

En ese sentido, la termometría infrarroja se ha propuesto como un enfoque de bajo coste en el manejo de cultivos para permitir la programación de riego de soporte (Inoue, Y., 1990), o para evaluar la variabilidad genotípica (Idso, S.B. et al., 1981). Asimismo, los autores del trabajo Reynolds, M. et al. (2007) han señalado que la temperatura del dosel del trigo es una medida relativa de la transpiración de la planta asociada con la absorción de agua de la tierra. En este contexto, las mezclas C₃-C₄ tenían una temperatura más baja que la de la mezcla estándar (solo C₃), aunque las condiciones de riego eran las mismas para todas las parcelas (Figura 1). Esto es debido a la fisiología, el mecanismo fotosintético (tasa de transpiración) y la morfología (sistema radicular) de las plantas C₃ frente a las plantas C₄.

Por otro lado, nuestros resultados han demostrado que las técnicas usadas se correlacionaban significativamente entre ellas, lo que permite usar la más accesible de ellas a la hora de medir. Este resultado está de acuerdo con investigaciones previas (Adamsen, F.J. et al., 1999); (Araus et al., 2018) y confirma que estos índices informan de manera similar sobre el estado de la biomasa.

Podemos gestionar la eficacia del agua de riego y no perder cantidades innecesarias, sobre todo en momentos de situaciones de falta de agua (Figura 6) en las que interesa reordenar dosis y frecuencias de riego, en función de suministro disponible o de la distinta necesidad o prioridad de atención hacia zonas de juego a mantener o sacrificar en riegos.

Según Whitlark, B. (2019), las imágenes de drones pueden ayudar a identificar el estrés del césped de manera más eficiente que explorando desde el suelo. Algunos campos de golf utilizan drones de cuatro a seis días por semana durante la temporada de crecimiento para mantenerse al día con los cambios diarios en las condiciones del césped. El dron se puede programar para volar la misma ruta diariamente, capturando imágenes aéreas y térmicas. Las imágenes se superponen en mapas digitales para facilitar los esfuerzos de exploración. Los superintendentes que utilizan esta tecnología a menudo reúnen al asistente, el técnico de pulverización y el gerente de riego para revisar las imágenes digitales hoyo por hoyo. En este sentido, Inoue, Y. (1990) también añade que este ejercicio de 15 a 20 minutos es invaluable para asignar recursos de manera eficiente y abordar problemas. Gran parte de la información de los vuelos con aviones no tripulados se utiliza para modificar la programación del riego para mejorar la consistencia de la humedad, reducir el uso del agua y mejorar las condiciones de juego (Whitlark, B. 2019).

Figura 6. Imagen aérea del estado del campo de golf en momentos de falta de agua.



5. Conclusión

Tanto los índices de vegetación del NDVI como de los derivados de las imágenes digitales de este estudio nos han permitido obtener información sobre el estado de crecimiento y el grado de estrés de las especies de césped.

La comparación entre las especies de césped concluye que la mezcla C_4-C_3 puede mantener mejor su crecimiento en condiciones de parada vegetativa y bajo un riego mediano en comparación con la mezcla de plantas C_3 . Debido a su morfología y su metabolismo fotosintético las plantas C_4 , proporcionan a las mezclas una mejor resistencia a las altas temperaturas y la falta de agua en verano. Por lo tanto, estas mezclas llegan al otoño-invierno con un crecimiento mejor que las plantas de césped C_3 que llegan más estresadas del verano. En conclusión, podemos decir que, para tener una pradera uniforme durante todas las estaciones del año, la selección de césped tolerante a la sequía del verano es un criterio principal al plantar pastizales. Los resultados de este estudio han demostrado también una diferencia significativa en la temperatura del dosel entre las mezclas C_3-C_4 y la mezcla estándar (solo C_3).

Por otro lado, nuestros resultados han demostrado que las técnicas usadas se correlacionaban significativamente entre ellas, lo que permite usar la más accesible de ellas a la hora de medir.

El estudio de las imágenes térmicas derivadas del vuelo de dron, se presenta como una herramienta que nos permite tener una cartografía del nivel hídrico de cada hoyo. Estos datos nos facilita evaluar las distintas zonas del campo en su nivel de riego

deseado, pudiendo observar así zonas muy bien regadas y las zonas que tienen un problema de avería del sistema de riego, por lo que es una herramienta válida para la gestión hídrica de un campo de golf.

Agradecimientos

El proyecto XEROCÉSPED del GO XEROCÉSPED está cofinanciado por la Unión Europea a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) – Europa invierte en zonas rurales, el MAPAMA, y la Comunidad de Madrid a través del IMIDRA, en el marco del PDR CM 2014 2020.

6. Referencias

- Adamsen, F.J.; Pinter, P.J.; Barnes, E.M.; LaMorte, R.L.; Wall, W.G.; Leavitt, S.W. & Kimball, B.A. (1999) Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Sci.* 39, 719–724.
- Araus, J.L. & Kefauver, S.C. (2018) Breeding to adapt agriculture to climate change: Affordable phenotyping solutions. *Curr. Opin. Plant Biol.* 45, 237–247.
- Casadesus, J.; Kaya, Y.; Bort, J.; Nachit, M.M.; Araus, J.L.; Amor, S.; Ferrazzano, G.; Maalouf, F.; Maccaferri, M. & Martos, V. (2007) Using vegetation indices derived from conventional digital cameras as selection criteria for wheat breeding in water-limited environments. *Ann. Appl. Bot.* 150, 227–236
- Caturegli, L.; Lulli, F.; Foschi, L.; Guglielminetti, L.; Bonari, E. & Volterrani, M.M. (2014) Monitoring Turfgrass Species and Cultivars by Spectral Reflectance. *Eur. J. Hortic. Sci.* 79, 97–107.
- Chiesura, A. (2004) The role of urban parks for the sustainable city. *Landsc. Urban Plan.*, 68, 129–138.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V.I. (2010) Precision Agriculture and Food Security, *Science*, 327, 828-831
- Idso, S.B.; Jackson, R.D.; Pinter, P.J.; Reginato, R.J. & Hatfield, J.L. (1981) Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24, 45–55
- Inoue, Y. (1990) Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery. *Jpn. J. Crop Sci.* 59, 762–768
- James, P.; Tzoulas, K.; Adams, M.D.; Barber, A.; Box, J.; Breuste, J.; Elmqvist, T.; Frith M.; Gordon, C. & Greening, K.L. (2009) Towards an integrated understanding of green space in the European built environment. *Urban For. Urban Green.* 8, 65–75.
- Reynolds, M.; Dreccer, F. & Trethowan, R. (2007) Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J. Exp. Bot.* 58, 177–186.
- Saunders, R. (2009) *Climate Change Discussion Paper: The Impact of Climate Change on Urban Parks Managed by Parks Victoria*; Rob Saunders Associates: Carlton Victoria, Australia.
- Schebella, M.F.; Weber, D.; Brown, G. & Hatton MacDonald, D. (2014) The importance of irrigated urban green space: Health and recreational perspectives. Technical Report, Goyder Institute for Water Research: Adelaide, Australia.
- Whitlark, B. (2019). Using A Drone To Scout Turf Stress. United States of America Golf Association (USGA) Report, April.