

04-004

SUSTAINABILITY AND VALUATION IN THE USE OF GRASSES C3 AND C4 THAT ALLOW TO REDUCE THE IRRIGATION OF URBAN PRAIRIES

Marin, José⁽¹⁾; Mauri, Pedro Vicente⁽²⁾; Parra, Lorena⁽³⁾; Sendra, Sandra⁽³⁾; Lloret, Jaime⁽³⁾; Masaguer, Alberto⁽¹⁾

⁽¹⁾UPM, ⁽²⁾IMIDRA, ⁽³⁾UPV

The comparison between prairies composed of combinations of warm climate grasses (C4) and native species (C3) against a commonly used in gardening standard mix is used to determine the differences in different scenarios of satisfaction of their water needs. The aim, for the sake of greater sustainability, is to analyze the feasibility of using the mixtures tested for use in the formation of lawns, analyzing the quality in the face of a reduction in water demand. The engineering of the process is to study its behavior in the field, working all the mixtures on plots of 1.5m², with 3 replicates of each and 3 different regimes of ETP, analyzing the results based on series of quality controls established that cater to their uniformity, density, habit of growth, phytosanitary status, and color. For all of this has been designed a working protocol automated in the taking of data by means of sensors and measurements taken in situ, with this project conclusions are obtained through the continuous monitoring and analysis of the field data, allowing the evaluation of biodiversity through the study parameters.

Keywords: "Sustainable gardening"; "Biodiversity"; "Prairies"; "Data automation".

SOSTENIBILIDAD Y VALORACIÓN EN EL EMPLEO DE GRAMÍNEAS C3 Y C4 QUE PERMITAN REDUCIR EL RIEGO DE PRADERAS URBANAS

Se trabaja en la comparación entre praderas compuestas por combinaciones de especies de gramíneas de clima cálido (C4) y especies autóctonas (C3) frente a una mezcla patrón comúnmente usada en jardinería, para determinar así las diferencias de cultivo en distintos escenarios de satisfacción de sus necesidades hídricas. El objeto, en aras a una mayor sostenibilidad, es analizar la viabilidad de empleo de las mezclas ensayadas para su uso en la formación de céspedes, analizando la calidad ante una reducción en demanda de agua. La ingeniería del proceso consiste en estudiar su comportamiento en terreno, trabajando todas las mezclas sobre parcelas de 1.5 m², con 3 repeticiones de cada una y 3 regímenes diferenciados de ETP, analizando los resultados en base a una serie de controles de calidad establecidos que atienden a su uniformidad, densidad, hábito de crecimiento, estado fitosanitario y color. Para todo ello se ha diseñado un protocolo de trabajo automatizado en la toma de datos mediante sensores y medidas tomadas in situ, con este Proyecto se obtienen conclusiones mediante el seguimiento y análisis continuado de los datos de campo, permitiendo la valoración de la biodiversidad a través de los parámetros de estudio.

Palabras clave: "Jardinería sostenible"; "Biodiversidad"; "Praderas"; "automatización de datos"

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



©2018 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

El aumento de la población junto al cambio climático son dos de los principales problemas a los que nos enfrentamos. El cambio climático provocará una disminución de las precipitaciones y por tanto del agua disponible (Vörösmarty et al., 2000), (Arnell y Lloyd-Hughes, 2014). Por otro lado, con el aumento de la población, serán necesarios más recursos, de entre los cuales destacan el agua y alimentos. En la agricultura se están aplicando distintas tecnologías para minimizar el impacto de la producción de alimentos (Aubert, Schroeder, Grimaudo, 2012), (Anisi, Abdul-Salaam, y Abdullah, 2015). Estos esfuerzos son especialmente importantes en el ahorro hídrico ya que el agua es un bien escaso (Gago et al., 2015). Sin embargo, en otros sectores con una alta demanda de agua, como puede ser el riego de praderas urbanas, se están realizando pocas acciones para mejorar su sostenibilidad.

Mientras que en la agricultura en general se está trabajando en la inclusión de nuevas tecnologías para la monitorización y para el ahorro hídrico (Reche et al., 2014), (Stehr, 2015). En el mantenimiento de praderas urbanas existe poca tecnología para la monitorización. Además, en la agricultura se ha realizado durante muchos años mejoras en el cultivo, como selección de especies y variedades. Por otro lado, en el mantenimiento de las praderas urbanas, estos esfuerzos no han sido tan importantes. Posiblemente, esto se deba a que el cultivo y mantenimiento de las praderas urbanas es un cultivo nuevo. Existe, por tanto, una gran capacidad de trabajo y mejora. Sin embargo existen algunas propuestas de monitorización específicas para las praderas urbanas (Marín et al., 2017).

Existe una combinación de especies, comúnmente conocida como “mezcla patrón” que es la más utilizada, la cual requiere de mayor cantidad de agua que otras posibles opciones. Sin embargo, para esta mezcla no se tiene en cuenta ni la inclusión de especies autóctonas ni las condiciones climáticas del área. Existen distintas mezclas patrones para distintos climas. Por tanto la misma mezcla puede usarse en toda la geografía española. El resultado es que en distintas zonas climáticas encontramos la misma combinación de especies. Por lo tanto, la cantidad de riego requerida es muy distinta.

El resto del artículo se estructura de la siguiente forma, en la sección 2 mostramos los objetivos del experimento realizado. En la sección 3 presentamos la metodología llevada a cabo. Los resultados se muestran en la sección 4. Finalmente en la Sección 5 detallamos las conclusiones y futuros trabajos.

2. Objetivos

En esta sección presentamos los objetivos del presente trabajo. Los objetivos principales son los siguientes:

- Encontrar una combinación de especies de gramíneas autóctonas (C3) y de climas cálidos (C4) que presente calidades del cultivo similares o superiores a la muestra patrón.
- Evaluar la calidad del cultivo de las distintas combinaciones bajo distintas condiciones de riego, incluyendo distintos regímenes de evapotranspiración potencial (ETP).
- Mostrar las ventajas de muestras alternativas en escenarios de restricción hídrica para impulsar su uso en praderas urbanas y así reducir las necesidades de riego y conseguir unas praderas más sostenibles.

Por otro lado, hay una serie de objetivos secundarios:

- Comparar el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), que presentan las distintas combinaciones utilizadas a lo largo del año con distintos regímenes hídricos base para para criterios comparativos dentro del desarrollo de la monitorización autónoma de céspedes en ciudades inteligentes (Marin et al. 2017).

3. Metodología

Para la obtención de los resultados mencionados en la sección anterior se desarrolló el siguiente experimento.

Primero, detallaremos las especies utilizadas en las combinaciones. Se realizaron un total de 12 combinaciones incluyendo entre ellas la muestra patrón que será utilizada como referencia. Las tres primeras mezclas son las combinaciones de *Cynodon dactylon* con *Vulpia myuros*, *Agropyron cristatum* o con *Brachypodium distachyon*. Las tres segundas mezclas están compuestas con *Zoysia sp.* con *Vulpia myuros*, *Agropyron cristatum* o con *Brachypodium distachyon*. Las mezclas 7 a 9 están compuestas por *Buchloe dactyloides* con *Vulpia myuros*, *Agropyron cristatum* o con *Brachypodium distachyon*. Las últimas 3 mezclas se corresponden a mezclas distintas, en primer lugar a una mezcla de *Cynodon dactylon* con *Poa bulbosa*. La penúltima mezcla es una combinación de *Vulpia myuros*, *Agropyron cristatum* o con *Brachypodium distachyon*. Por último, tenemos la mezcla patrón con *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Poa pratensis*. Cada una de estas mezclas se sembró en una pequeña parcela de 1.5m². Las parcelas están separadas por una lona negra. Todas las mezclas se combinan en partes iguales.

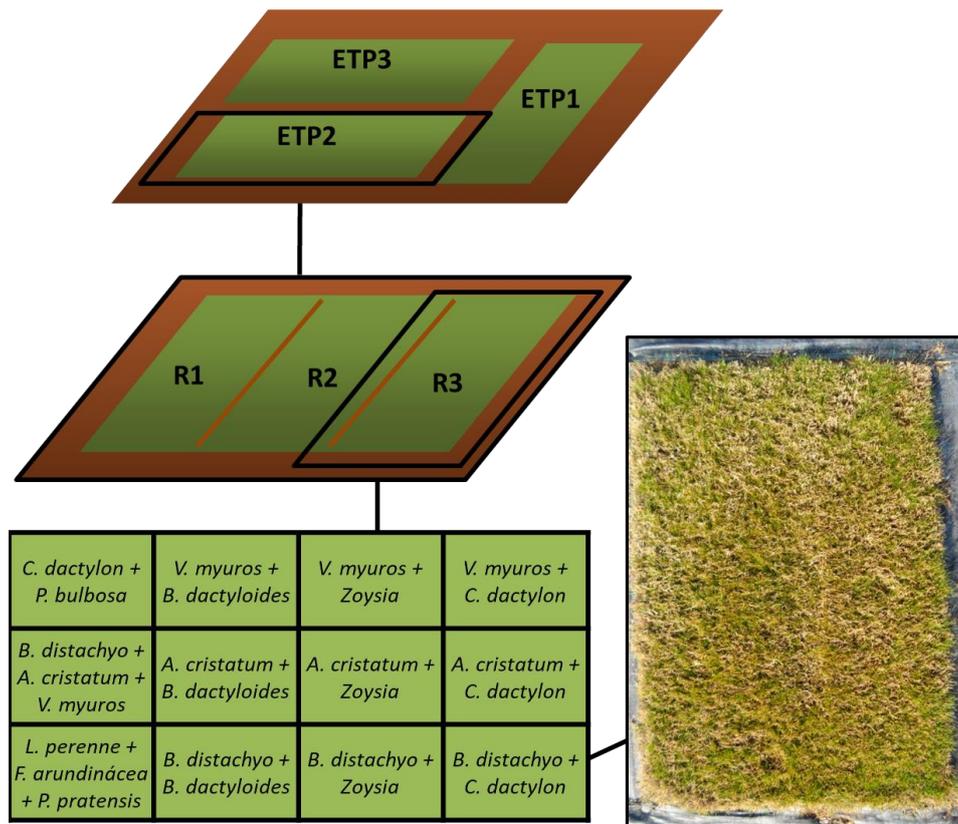
Cada una de estas mezclas se sembró por triplicado dando como resultado tres repeticiones (R1, R2 y R3). Estas tres repeticiones, se han sembraron tal como se ve en la Figura 1. En ella podemos ver las 3 repeticiones de las 12 mezclas, y la lona negra que separa cada una de las parcelas.

Figura 1. Sembrado de césped



En la Figura 1 hemos visto las R1, R2 y R3 con un régimen de ETP. Para evaluar el efecto de los distintos ETP, fueron sembradas cada una de las repeticiones 3 veces para someterlos a distintos regímenes de ETP. Esto ha dado como resultado el esquema que podemos ver en la Figura 2. Los ETP estudiados son los siguientes: ETP al 100%, ETP al 75% y ETP al 50%. El césped se dejó crecer por un año en condiciones de ETP 100% antes de iniciar las restricciones hídricas. Las restricciones hídricas se iniciaron con el comienzo del verano para simular las condiciones de un posible escenario en el que se limitó el riego en la época del año más desfavorable. Ya que es en verano cuando mayores son las temperaturas y mayor es la necesidad de riego.

Figura 2. Esquema de las parcelas utilizadas



Para la obtención de muestras se realizaron los siguientes seguimientos. Se tomaron medidas del índice NDVI en distintos momentos del año. En cada parcela se registraron tres medidas de NDVI. Las medidas se realizaban cuando comenzaron las restricciones en el riego. Tenemos un total de 4 momento de toma de muestras en los meses de Julio, Agosto, Setiembre y Octubre, momento en el cual finalizó el experimento.

Mediante los valores obtenidos de NDVI se puede valorar la calidad y desarrollo de la vegetación, su actividad o estado fitosanitario, y en definitiva su salud, observando diferencias entre las parcelas y relacionando la manera en que el estrés hídrico, provocado por las condiciones de riego (distintas condiciones de ETP consideradas), afecta a las diferentes combinaciones sometidas a ensayos.

La diferente ETP a la que sometemos a los céspedes provocando estrés hídrico hace que el agua que la planta recoge desde su sistema radicular, con nutrientes y minerales disueltos,

y que transporta hacia las hojas en donde se pierde por transpiración disminuya, limitando el crecimiento por ser parte de esa agua la necesaria para el metabolismo y mantenimiento de sus funciones vitales (Jack Fry y Bingru Huang, 2004).

La fisiología del césped está directamente influenciada por grado de estrés hídrico que la planta registra, (Huang and Gao, 1999), lo cual afecta directamente a su crecimiento al provocar la pérdida de turgencia en sus células, este efecto es incluso anterior a los dependientes de mecanismos genéticos o bioquímicos (Hsiao, 1973), el estrés hídrico provoca el cierre de los estomas de las hojas y hace que se detenga la actividad fotosintética y por tanto el metabolismo de la planta (Stephen T. Cockerham, Bernd Leinauer, 2011).

4. Resultados

En esta sección mostramos los resultados obtenidos de los muestreos descritos en la sección anterior. Mostraremos los resultados y el análisis de los mismos comparando para cada especie cuál es su comportamiento bajo los distintos regímenes de ETP

Primero vamos a mostrar primero el tratamiento de los datos. Los datos que mostramos en las siguientes figuras. Como hemos mencionado anteriormente tenemos 3 repeticiones de cada mezcla en cada ETP. En cada parcela tomamos 3 muestras. Realizamos la media de las 3 muestras y con ello obtenemos un valor promedio de cada parcela. Posteriormente, promediamos la media de las parcelas de R1, R2 y R3. Con esto, tenemos un valor promedio de cada mezcla para cada ETP.

Lo primero que debemos destacar es que todas las mezclas con *Agropyron cristatum* no han prosperado. Se sembraron en diversas ocasiones pero se descartó su seguimiento.

Empezaremos con el análisis del índice NDVI. Para simplificar la nomenclatura de las 9 mezclas que han prosperado se numeraron de 1 al 9 en los gráficos. En la Tabla 1 se puede ver la equivalencia entre las especies de cada mezcla y la numeración.

Tabla 1. Numeración de las mezclas para su análisis

Especies en la mezcla	Numeración
C. dactylon + B. distachyon	1
C. dactylon + V. myuros	2
Z. japonica + B. distachyon	3
Z. japonica + V. myuros	4
B. dactyloides + B. distachyon	5
B. dactyloides + Vulpia myuros	6
C. dactylon + P. pratensis	7
B. distachyon + A. cristatum + V. myuros	8
L. perenne + F. arundinacea + P. bulbosa	9

En la Figura 3 podemos ver los valores de NDVI en Julio. El NDVI puede tomar valores entre 1 y -1. Los valores más altos indican un estado del cultivo mejor. Lo primero que podemos destacar es que la muestra patrón, o 9 en la numeración empleada, no presenta el mayor

NDVI en ninguno de los 3 escenarios de ETP. En el ETP1 la mezcla que presenta un mayor valor NDVI es la mezcla 7. En los otros ETP, de nuevo la mezcla 7 es la que mayor NDVI. Las mezclas 1 a 7 dan como resultado un valor de NDVI superior en el ETP2 que en el ETP1. La mezcla 8 es la que peor resultados está ofreciendo.

En la Figura 4 se muestran los valores NDVI de las parcelas en el mes de Agosto. En este muestro, de nuevo la mezcla 7 vuelve a presentar los mayores valores de NDVI. Sin embargo, en esta ocasión los valores de NDVI son mayores en el ETP1. Las mezclas 2 y 5 también ofrecieron valores de NDVI altos en el ETP1, seguidos de las mezclas 1, 4 y 9. La mezcla 8 es la que peores resultados ofrecen en los tres ETPs. En el ETP2 los mejores resultados los presentan las mezclas 1 y 7, seguidos de las mezclas 2, 4, 5 y 6. Por último, en el ETP3 todas las mezclas presentan resultados de NDVI muy bajos, inferiores a 0.52. Comparando los datos de Agosto con los de Julio podemos destacar que en la mayoría de los casos los valores NDVI en el ETP1 son superiores a los valores NDVI en el ETP2 y el ETP3. Solo en la mezcla 1, 3 y 6 el NDVI de las parcelas bajo ETP2 es superior al de las parcelas bajo ETP1.

Figura 3. NDVI de las parcelas en Julio

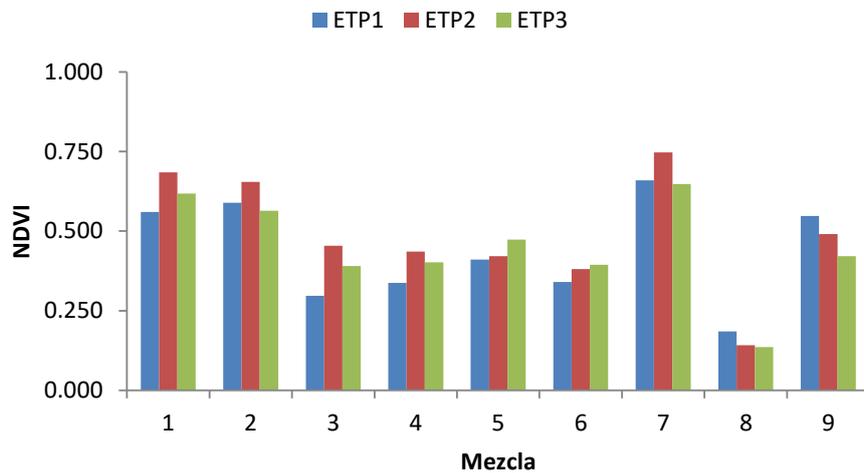
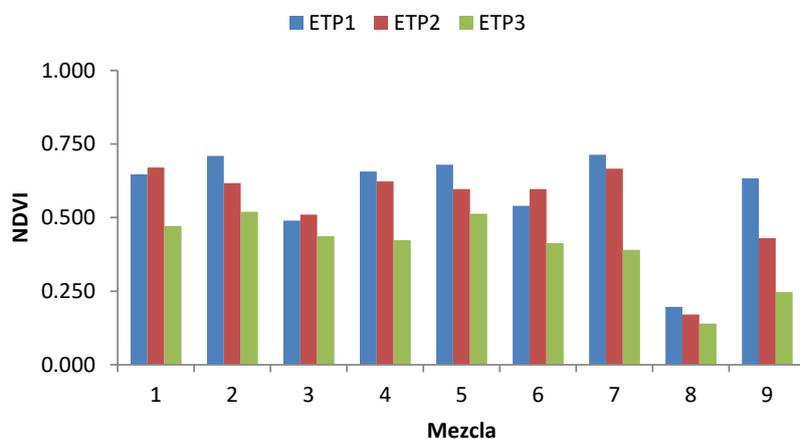


Figura 4. NDVI de las parcelas en Agosto



En la Figura 5 se pueden observar los datos de NDVI en el mes de Setiembre. Durante este mes todas las parcelas sometidas a ETP1 han aumentado su NDVI. Los mejores resultados se encuentran en las parcelas 1, 3 y 7, las cuales presentan valores superiores a la mezcla patrón. La parcela con peor índice NDVI sigue siendo la parcela con la mezcla 8. En las parcelas bajo ETP2 los mejores resultados de NDVI están en la mezcla 7. Llegados a este punto, cuando las mezclas ya llevan un largo periodo de tiempo en restricción hídrica, todas las mezclas presentan mayores resultados de NDVI en el ETP1 que en el ETP2 o ETP3. En el régimen de ETP2 la mezcla 7 presenta el mayor índice NDVI de todas. En general, salvo en la mezcla 3, los valores de NDVI en el ETP3 son inferiores que los presentados en el mes anterior.

Por último, en la Figura 6 vemos los valores de NDVI de las mezclas en el mes de Octubre. Lo más destacable es el hecho de que en todas las mezclas el valor NDVI bajo ETP2 y bajo ETP3 es superior al valor NDVI bajo ETP1. Es decir las mezclas tienen mejor calidad en los escenarios de restricción hídrica. Ha habido una bajada general en la calidad de todas las mezclas en el ETP1. En el ETP1 los mejores resultados de NDVI son en la mezcla 9, la mezcla patrón. En el ETP2 y ETP3, el mejor resultado vuelve a coincidir con la mezcla 9.

Figura 5. NDVI de las parcelas en Setiembre

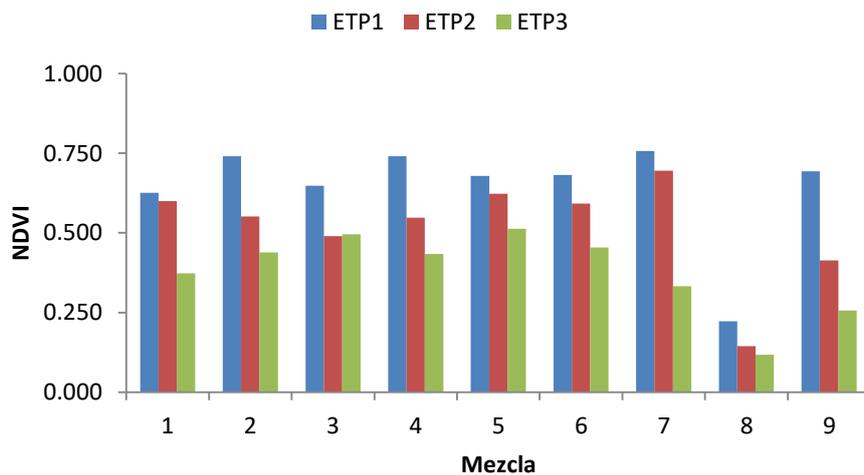
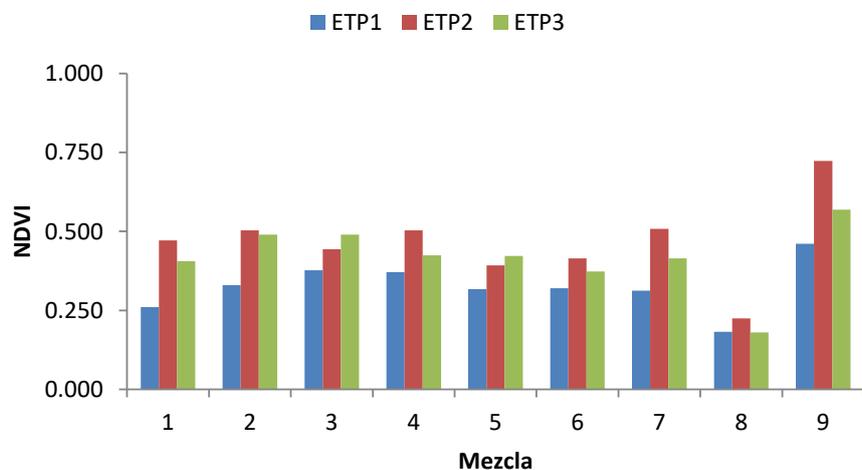


Figura 6. NDVI de las parcelas en Octubre



Tras analizar los resultados de los índices NDVI en distintos meses bajo diferentes regímenes de ETP podemos afirmar lo siguiente.

- La mezcla patrón, comúnmente utilizada en jardinería no es la que mejor calidad muestra en los meses de verano. La mezcla que mejor resultado ofrece en los meses más calurosos es la mezcla 7, *C. dactylon* + *P. pratensis*. El mayor valor de NDVI alcanzado en todo el experimento es de 0.757. Dicho valor ha sido obtenido por la mezcla 7 en el mes de Septiembre con un ETP2.
- También podemos afirmar que la mezcla que peor ha funcionado es la mezcla 8, compuesta por *B. distachyon* + *A. cristatum* + *V. myuros*. Esta muestra presenta en todos los casos el mejor índice NDVI. Presentando valores de entre 0.2 y 0.1.
- Hemos podido observar que en dos momentos del experimento los índices NDVI en el ETP2 son mayores que en el ETP1. Esto ha sucedido en dos ocasiones, la primera vez en el mes de Julio y la segunda en el mes de Octubre. En el mes de Julio, esta diferencia es mínima y solo sucede en algunas mezclas. Sin embargo, en Octubre, esto sucede en todas las mezclas. Serán necesarios otros análisis para encontrar la razón por la que esto sucedió. Una posible explicación es que las parcelas de los experimentos, al estar al aire libre, podían recibir agua con la lluvia y el rocío. Al final del verano es común que la precipitación aumente. Este extra de agua recibida puede afectar al experimento. Las gramíneas de todas las mezclas que han pasado todo el verano en restricción hídrica con el inicio de las lluvias pueden expresar un mayor crecimiento y mostrar un mejor aspecto.

5. Conclusiones

En el presente trabajo hemos mostrado los resultados de un ensayo en el que hemos sometido a distintas combinaciones de césped a tres regímenes de ETP. Hemos analizado las diferencias en el índice NDVI de 9 combinaciones en 4 meses, de julio a octubre. Primero tenemos que destacar que las mezclas que contenían *A. cristatum* con otra especie no han crecido bien y por tanto se tuvo que excluir del análisis de resultados.

Los resultados muestran que la mezcla con un NDVI más alto no se trata de la mezcla patrón, sino de la mezcla de *C. dactylon* + *P. pratensis*. De las mezclas que han crecido, la que peor índice NDVI es la *B. distachyon* + *A. cristatum* + *V. myuros*. Por tanto, podemos confirmar que aparentemente existen mezclas de césped que soportan mejor la restricción hídrica en verano que la muestra patrón. Serán necesarios más estudios y testear otras combinaciones en diferentes porcentajes con el fin de mejorar los resultados obtenidos.

En futuros trabajos, seguiremos trabajando con las mezclas que han mostrado unos resultados prometedores en este estudio. Las mezclas con las que seguiremos trabajando son: *C. dactylon* + *B. distachyon*, *C. dactylon* + *V. myuros*, *Z. japonica* + *V. myuros*, *B. dactyloides* + *B. distachyon* y *C. dactylon* + *P. pratensis*. Otras consideraciones que tomaremos para posteriores experimentos es cambiar las condiciones de la zona de sembrado. Debemos realizar los experimentos en una zona cubierta para que la precipitación no afecte al césped. De esa forma la única agua que le llegará al césped será la subministrada con el riego. La otra opción, si no podemos tener las parcelas a cubierto, será incluir un pequeño pluviómetro para registrar la lluvia y modificar el riego en los días de lluvia. Podemos utilizar el trabajo desarrollado anteriormente desarrollando sensores de bajo coste para crear nuevos sensores para monitorizar el clima en las parcelas (Sendra et al. 2015).

Bibliografía

- Anisi, M. H., Abdul-Salaam, G., & Abdullah, A. H. (2015). A survey of wireless sensor network approaches and their energy consumption for monitoring farm fields in precision agriculture. *Precision Agriculture*, 16(2), 216-238.
- Arnell, N. W., & Lloyd-Hughes, B. (2014). The global-scale impacts of climate change on water resources and flooding under new climate and socio-economic scenarios. *Climatic change*, 122(1-2), 127-140.
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision support systems*, 54(1), 510-520.
- Gago, J., Douthe C., Coopman R.E., Gallego P.P., Ribas-Carbo M., Flexas J., Escalona J. and Medrano H.. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural water management*, 153, 9-19.
- Marín, J., Rocher J., Parra L., Sendra S., Lloret J., Mauri P.V. (2017, October). Autonomous WSN for Lawns Monitoring in Smart Cities. In 2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), Hammamet, Tunisia, Oct 30 – Nov 03, 2017, pp. 501-508.
- Reche, A., Sendra, S., Díaz, J. R., & Lloret, J. (2014, June). A smart M2M deployment to control the agriculture irrigation. In International conference on ad-hoc networks and Wireless, Benidorm, Spain, 22-27 June, pp. 139-151.
- Sendra, S., Parra, L., Lloret, J., & Jiménez, J. M. (2015). Oceanographic multisensor buoy based on low cost sensors for Posidonia meadows monitoring in Mediterranean Sea. *Journal of Sensors*, 2015.
- Stehr, N. J. (2015). Drones: The newest technology for precision agriculture. *Natural Sciences Education*, 44(1), 89-91.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289(5477), 284-288.
- Jack Fry, Bingru Huang.. Aug 2004. *Applied Turfgrass Science and Physiology* ISBN: 978-0-471-47270-4.
- Huang B. and Gao H. (1999) Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. *Horticultural Science* 34, 897-901.
- Theodore C. Hsiao (Volume publication date June 1973) *Plant Responses to Water Stress. Annual Review of Plant Physiology*. Vol. 24:519-570
- Stephen T. Cockerham, Bernd Leinauer - 2011 *Turfgrass Water Conservation*. ISBN-13: 978-1-60107-663-2

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con fondos propios de IMIDRA dentro del proyecto FP16-JARD.