



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL**

Informe sobre la calidad de un sistema de riego por aspersión en césped y propuesta de mejora

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARÍA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO: ELENA SÁNCHEZ LÓPEZ
TUTOR: DIEGO GÓMEZ DE BARREDA FERRAZ
COTUTOR: IBAN BALBASTRE PERALTA

Valencia, julio de 2021
Curso académico: 2020/2021

Título

Informe sobre la calidad de un sistema de riego por aspersión en césped y propuesta de mejora.

Resumen

Desde la aparición de la agricultura se ha progresado mucho en su tecnificación y con ello los sistemas de riego, en concreto los sistemas de riego por aspersión. La finalidad de este Trabajo Fin de Grado es realizar una evaluación de la calidad de un sistema de riego por aspersión que aporta el riego a tres parcelas distintas en las cuales están implantadas uniformemente especies cespitosas, además proponer mejoras en el caso de que sean ciertas las sospechas de que el sistema no funciona adecuadamente.

Para llevar a cabo esta evaluación se procede a la realización de un inventario o caracterización de la instalación de riego y posteriormente una evaluación inicial del estado del sistema mediante ensayos de uniformidad de distribución del agua. Se proponen una serie de mejoras que son implantadas y de nuevo evaluadas con el fin de ver la mejora que se ha conseguido en la instalación de riego.

La uniformidad de distribución del agua de riego aumentó con las propuestas de mejora implantadas, pero no en todas se llegó a un porcentaje de uniformidad elevado por lo que se proponen otras propuestas de mejora como líneas futuras.

Palabras clave: riego por aspersión; uniformidad del riego; césped; aspersores; caudal; presión.

Alumno: Elena Sánchez López

Tutor: Diego Gómez de Barreda Ferraz

Cotutor: Iban Balbastre Peralta

Valencia, julio de 2021.

Title

Report on the quality of a sprinkler irrigation system for turfgrass and an improvement proposal.

Summary

Since the emergence of agriculture, much progress has been made in its technification and with its irrigation systems, in particular sprinkler irrigation systems. The purpose of this Final Degree Work is to carry out an evaluation of the quality of a sprinkler irrigation system which provides irrigation to three different plots in which turfgrass species are uniformly implanted also propose improvements in the event that suspicions are true that the system is not working properly.

To carry out this evaluation, an inventory or characterization of the irrigation facility is carried out and then an initial assessment of the state of the system by means of water distribution uniformity tests. A series of improvements are proposed that are implemented and re-evaluated in order to see the improvement that has been achieved in the irrigation installation.

The uniformity of distribution of irrigation water increased with the improvement proposals implemented, but not in all of them a high percentage of uniformity was reached, so other proposals for improvement are proposed as future lines.

Keywords: sprinkler irrigation; irrigation uniformity; turfgrass; sprinklers; water flow; pressure.

Student: Elena Sánchez López

Tutor: Diego Gómez de Barreda Ferraz

Cotutor: Iban Balbastre Peralta

Valencia, July 2021.

Títol

Informe sobre la qualitat d'un sistema de reg per aspersió en gespa i proposta de millora.

Resum

Des de l'aparició de l'agricultura s'ha progressat molt en la seua tecnificació i amb això els sistemes de reg, en concret els sistemes de reg per aspersió. La finalitat d'aquest Treball Fi de Grau és realitzar una avaluació de la qualitat d'un sistema de reg per aspersió que aporta el reg a tres parcel·les diferents en les quals estan implantades uniformement espècies cespitoses, a més proposar millores en el cas que siguen certes les sospites que el sistema no funciona adequadament.

Per a dur a terme aquesta avaluació es procedeix a la realització d'un inventari o caracterització de la instal·lació de reg i posteriorment una avaluació inicial de l'estat del sistema mitjançant assajos d'uniformitat de distribució de l'aigua. Es proposen una sèrie de millores que són implantades i de nou avaluades amb la finalitat de veure la millora que s'ha aconseguit en la instal·lació de reg.

La uniformitat de distribució de l'aigua de reg va augmentar amb les propostes de millora implantades, però no en totes es va arribar a un percentatge d'uniformitat elevat pel que es proposen altres propostes de millora com a línies futures.

Paraules clau: reg per aspersió, uniformitat del reg, gespa, aspersors, cabal, pressió.

Alumne: Elena Sánchez López
Tutor: Diego Gómez de Barreda Ferraz
Cotutor: Iban Balbastre Peralta

València, juliol de 2021.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este Trabajo Fin de Grado ha sido para mi un aprendizaje intenso, no sólo en el campo académico sino también a nivel personal. Primero de todo, agradecer a la Universidad Politécnica de Valencia y a todos los profesores que han compartido sus conocimientos conmigo durante estos cuatro años, en especial a mi tutor D. Gómez de Barreda y cotutor I. Balbastre. También agradecer a mis compañeros que han amenizado en gran medida este proceso y, por último, pero no menos importante a mi familia que me ha dado en todo momento su apoyo, su cariño, los medios para poder llegar hasta aquí y para seguir con mi formación.

ÍNDICE GENERAL

- Parte I: Memoria
- Parte II: Anejos

2021

MEMORIA

ELENA SÁNCHEZ LÓPEZ

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.-Antecedentes	1
2.- Justificación y Objetivos.....	4
3.- El césped	5
3.1.- El riego en el cultivo del césped	7
3.1.1.- Necesidades del riego	7
3.1.2.-Elementos del riego por aspersión	9
3.1.3.- Uniformidad de riego	10
4.- Informe	12
4.1.-Sistema de información geográfica	12
4.2.- Situación	12
4.3.-Caracterización	13
4.3.1.- Caracterización del cabezal de riego.....	13
4.3.2.- Caracterización de la parcela 1	15
4.3.3.- Caracterización de la parcela 2	16
4.3.4.- Caracterización de la parcela 3	18
4.4.- Estado inicial de las parcelas.....	20
4.4.1.- Estado inicial de la parcela 1	20
4.4.2.- Estado inicial de la parcela 2	22
4.4.3.- Estado inicial de la parcela 3	23
4.4.4.- Resumen estado inicial de las parcelas	24
4.5.- Propuesta de mejora	24
4.5.1.- Propuesta 1	25
4.5.2.- Propuesta 2	28
4.5.3.- Mejoras en la parcela 3	29
4.6.- Valoración económica	30
4.7.- Estado final de las parcelas	32
4.7.1.- Estado final de la parcela 1	32
4.7.2.- Estado final de la parcela 2	33
4.7.3.- Estado final de la parcela 3	35
4.7.4.- Resumen estado final de las parcelas	36
4.8.- Conclusiones.....	37
5.- Bibliografía.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento de cultivos en regadío y secano en la Comunidad Valenciana. Fuente: MAPA (2021).....	3
Tabla 2. Datos meteorológicos de Moncada en 2010-2020. Fuente: SiAR (2021).....	7
Tabla 3. Cálculo de las Necesidades de Riego Medias. Fuente: SiAR (2021) y Meyer y col. (2020).	9
Tabla 4. Clasificación de la Uniformidad de Distribución. Fuente: Zoldoske (2003).	11
Tabla 5. Superficies de las parcelas.	12
Tabla 6. Inventario del cabezal de riego.	13
Tabla 7. Características de la bomba. Fuente: SAER Elettropompe.	15
Tabla 8. Caracterización de la Parcela 1 Sector 2.	15
Tabla 9. Caracterización de la Parcela 1 Sector 3.	15
Tabla 10. Caracterización de la Parcela 2 Sector 1.	17
Tabla 11. Caracterización de la Parcela 2 Sector 4.	17
Tabla 12. Caracterización de la Parcela 3 Sector 1.	18
Tabla 13. Caracterización Parcela 3 Sector 2.....	19
Tabla 14. Caracterización de la Parcela 3 Sector 3.	19
Tabla 15. Caracterización de la Parcela 3 Sector 4.	19
Tabla 16. Resumen del estado inicial DU.	24
Tabla 17. Caudal aportado por sector en las parcelas 1 y 2.	26
Tabla 18. Presupuesto de la propuesta 1.....	30
Tabla 19. Presupuesto de la propuesta 2.....	31
Tabla 20. Presupuesto de la parcela 3.	31
Tabla 21. Resumen del estado final DU.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tolerancia a la sequía en especies cespitosas. Fuente: Cirera (2010).....	5
Figura 2. Clasificación de los usos del césped.	6
Figura 3. Efecto de la presión de trabajo sobre la distribución del agua. Fuente: Pascual, 2018.	10
Figura 4. Localización de las parcelas y del cabezal.....	12
Figura 5. Distribución de las tuberías y aspersores en las parcelas 1 y 2.....	14
Figura 6. Distribución de las tuberías y aspersores de la parcela 3.	14
Figura 7. Curva motriz de la bomba. Fuente: SAER Elettropompe.....	14
Figura 8. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 1.....	16
Figura 9. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 2.....	18
Figura 10. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 3.....	19
Figura 11. Distribución de pluviómetros de la parcela 1.....	21
Figura 12. Pluviometría inicial de la parcela 1.	21
Figura 13. Distribución de pluviómetros de la parcela 2.....	22
Figura 14. Pluviometría inicial de la parcela 2.....	23
Figura 15. Distribución de pluviómetros en la parcela 3.....	23
Figura 16. Pluviometría inicial de la parcela 3.....	24
Figura 17. Aspersor Rain Bird 5004+PC30. Fuente: Rain Bird.	25
Figura 18. Datos de las boquillas 5000-MPR-25 (Rojo). Fuente: Rain Bird.	25
Figura 19. Distribución de los aspersores.	27
Figura 20. Ensayo de la propuesta 1.....	27
Figura 21. Pluviometría del ensayo de boquilla roja.....	27
Figura 22. Datos de las boquillas número 1.0 de ángulo bajo. Fuente: Rain Bird.....	28
Figura 23. Ensayo de la propuesta 2.....	29
Figura 24. Pluviometría del ensayo boquilla azul.	29
Figura 25. Ensayo Uniformidad de Distribución de la parcela 1.	32
Figura 26. Toma para medir presiones.	33
Figura 27. Pluviometría final de la parcela 1.....	33

<i>Figura 28. Ensayo Uniformidad de Distribución de la parcela 2.</i>	34
<i>Figura 29. Pluviometría final de la parcela 2.</i>	35
<i>Figura 30. Ensayo de Uniformidad de Distribución de la parcela 3.</i>	35
<i>Figura 31. Pluviometría final de la parcela 3.</i>	36

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo.</i>	8
<i>Ecuación 2. Precipitación efectiva en meses con precipitaciones superiores a 75mm.</i>	8
<i>Ecuación 3. Precipitación efectiva en meses con precipitaciones inferiores a 75mm.</i>	8
<i>Ecuación 4. Necesidades netas de riego.</i>	8
<i>Ecuación 5. Necesidades totales del riego por aspersión.</i>	8
<i>Ecuación 6. Uniformidad de Distribución.</i>	20
<i>Ecuación 7. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 1.</i>	21
<i>Ecuación 8. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 2.</i>	23
<i>Ecuación 9. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 3.</i>	24
<i>Ecuación 10. Uniformidad de Distribución inicial en la zona central de la parcela 3.</i>	24
<i>Ecuación 11. Uniformidad de Distribución en el ensayo de la propuesta 1.</i>	27
<i>Ecuación 12. Uniformidad de Distribución en el ensayo de la propuesta 2.</i>	29
<i>Ecuación 13. Uniformidad de Distribución final de la parcela 1.</i>	33
<i>Ecuación 14. Uniformidad de Distribución final de la parcela 2.</i>	34
<i>Ecuación 15. Uniformidad de Distribución final de la parcela 3.</i>	36
<i>Ecuación 16. Uniformidad de Distribución final en la zona central de la parcela 3.</i>	36

1.-Antecedentes

El nacimiento de la agricultura está rodeado de diversas hipótesis girando la gran mayoría entorno al fin de la glaciación que sufrió el planeta antes del neolítico, lo que pudo provocar la acumulación de diversos recursos en los márgenes de los ríos como agua en estado líquido, especies vegetales, especies animales, etc. Se puede suponer que los comienzos de la agricultura se encuentran en el Próximo Oriente, ya que la gran mayoría de las especies de plantas y animales que se domesticaron en un principio tienen su origen en dicha región geográfica. Los cereales fueron las primeras especies domesticadas y cultivadas debido a su alto valor nutricional y calórico, además de su buena conservación que conlleva un suministro de alimento durante mucho más tiempo, siendo muy interesante para las sociedades de esa época. La expansión de la agricultura fue iniciada en el Próximo Oriente hacia diversas direcciones. Hay hipótesis de que algunos pastores pudieron practicar algún tipo de cultivo periódicamente y que fueron ellos los que dieron paso a la expansión de la agricultura (Diamond, 2008).

Las primeras evidencias de la agricultura en España se conocen gracias a los yacimientos neolíticos que aparecen en el litoral mediterráneo, en el actual territorio de la Comunidad Valenciana como Casa de Lara (Villena), en Cataluña el yacimiento de Cova Bonica (Vallirana) o en Jumilla, Murcia. En la Edad Media la Península Ibérica estaba ocupada por diversas civilizaciones y culturas como los árabes, que jugaron un papel importante en la agricultura española al introducir gran cantidad de especies procedentes de Oriente Lejano o Próximo, entre las cuales fueron: el arroz (*Oryza sativa*), el algodón (*Gossypium arboreum* y *G. herbaceum*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el pepino (*Cucumis sativus*), la sandía (*Citrullus vulgaris*), el naranjo amargo (*Citrus aurantium*), el limonero (*Citrus limon*), etc, además de plantas ornamentales, aromáticas y medicinales, siendo muchos de estos cultivos cruciales para la sociedad. Con el descubrimiento de América en la Edad Moderna se realizaron importantes trasiegos de plantas cultivadas enriqueciendo de esta manera la agricultura de la Península Ibérica de la época, así como la agricultura del nuevo continente. Algunos de los cultivos incluidos en dichos trasiegos provenientes del nuevo continente fueron: la patata (*Solanum tuberosum*), la judía común (*Phaseolus vulgaris*), el maíz (*Zea mays*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), el cacao (*Theobroma cacao*), etc (Maroto, 2014).

En el siglo XIX se consiguió la consolidación de la agricultura, en parte gracias a los grandes avances científicos que hubo en la época. Algunos de ellos fueron la mejora de la maquinaria agrícola reduciendo de esta manera la mano de obra, descubrimientos en la fertilización con abonos químicos, el surgimiento o la creación de las primeras escuelas superiores de agricultura siendo de gran ayuda a la hora de la tecnificación del personal y con ello de la actividad agraria, los amplios avances del regadío contando con las mejoras en los sistemas de riego ya establecidos y el surgimiento de nuevos sistemas de riego.

En los siglos XX y XXI se consiguieron asimismo muchos avances en las distintas áreas mencionadas, en concreto con el conocimiento de las necesidades hídricas de las plantas se consiguió perfeccionar los sistemas de riego apareciendo los sistemas de riego a presión siendo estos sistemas más eficaces que los tradicionales, ya que con ellos es posible tener un mayor control sobre el riego en cuanto a la economía del agua y a la reducción de la mano de obra, siendo esto posible mediante automatismos. Los avances en la maquinaria para el riego llevaron sobre todo a los sistemas de riego por aspersión a ser de los más desarrollados (Maroto, 2014).

El riego ha permitido a diferentes civilizaciones a lo largo de la historia de la agricultura establecerse en zonas o regiones áridas o semiáridas. El regadío comenzó con la aportación de agua de los grandes ríos a las zonas de cultivo próximas a ellos, como ya se ha dicho anteriormente. Con el transcurso de los años y con la llegada de los árabes se perfeccionaron

antiguos sistemas de irrigación romanos, diseñando grandes redes de acequias y otros sistemas de reparto de las aguas. Uno de los más conocidos es el de la huerta de Valencia que aún sigue en uso, estando reglado por el Tribunal de las Aguas.

En la actualidad existen básicamente tres sistemas de riego diferentes: el riego por gravedad, el riego localizado y el riego por aspersión. El riego por gravedad no exige más que el agua de riego llegue a la parcela con la energía de su posición, utilizando la superficie del suelo como sistema de distribución. El riego localizado consiste en aportaciones de agua con bajo caudal en la zona de las raíces del cultivo, distribuyendo dicho caudal mediante una red de tuberías y puntos de emisión. Finalmente, el riego por aspersión se entiende como la aplicación o distribución del agua de riego en forma de lluvia mediante unos aparatos de aspersión que pulverizan el agua en forma de gotas pequeñas (Pascual, 2018). Los principales componentes de los sistemas de riego por aspersión serían los elementos de bombeo que facilitan el agua de riego a la presión y caudal deseada. Por otro lado, está la red de tuberías que se subdividen en tuberías principales, secundarias, terciarias y laterales siendo ellas las encargadas de la conducción del agua desde la bomba hasta los aspersores. Los aspersores son, finalmente, los encargados de la distribución uniforme del agua sobre el terreno satisfaciendo así las necesidades hídricas del cultivo.

El riego por aspersión tiene amplias ventajas sobre los demás tipos de riego, una de ellas sería que no se contempla la necesidad de nivelación del suelo como en los sistemas de riego por gravedad, por ello se evitará la realización de movimientos de tierra que son costosos. Es posible el aprovechamiento total de la superficie a cultivar y sin dificultar los pases de la maquinaria al no ser necesaria la realización de acequias o taludes. Otra ventaja es la posibilidad de instalar este sistema de riego independientemente del tipo de suelo que tenga el espacio a cultivar, ya que es posible regular la pluviometría. Para un suelo arenoso se requieren riegos de bajo caudal y una frecuencia más alta, por ello este sistema de riego para suelos arenosos es considerablemente más recomendado que el riego por gravedad. También se consigue un gran ahorro de mano de obra y de agua con instalaciones bien proyectadas en las que la uniformidad de distribución será elevada. Sin embargo, este sistema de riego tampoco es perfecto, ya que existen diversos inconvenientes. Es considerado un inconveniente el coste de la instalación, además del consumo energético que requieren los dispositivos cada vez que se pone en marcha el riego. A parte de las desventajas económicas existen desventajas como la pérdida de agua por evaporación cuando el riego se efectúa en horas del día con gran insolación o en ambientes secos y con un tamaño de gota reducido. Es imprescindible hacer una adecuada elección de los aspersores que realizarán el riego, debido a que una mala elección de estos podría acarrear problemas relacionados con el apelmazamiento del suelo y que podría llegar a agravarse con la formación de una costra de suelo a causa del golpeo de las gotas en la superficie del terreno. Otro problema que puede surgir es del efecto de desecación o quemadura en las hojas cuando la insolación es alta y las gotas de agua se mantienen en la superficie foliar. Sin dejar atrás los problemas ocasionados por el viento que producen una deriva de las gotas de agua perjudicando a la uniformidad del riego y los problemas de obturaciones que se pueden presentar en los aspersores (Pascual, 2018).

La distinción que existe entre cultivos de regadío y de secano, además de tener un cierto componente genético, no es más que la diferencia de las condiciones climáticas de cada zona. En España, pueden encontrarse zonas que necesitan del riego para poder ser cultivadas, este es el caso de casi todo el litoral mediterráneo, mientras que las condiciones climáticas en el litoral atlántico hacen que se pueda cultivar sin la necesidad de riego. Algunos de los cultivos con mayores necesidades hídricas son los frutales, hortícolas y especies ornamentales, sobre todo las especies cespitosas.

El rendimiento obtenido en regadío es bastante superior al rendimiento que se puede llegar a obtener en un cultivo en secano, como se puede observar en la Tabla 1. La importancia del riego no solo reside en el aumento del rendimiento de los cultivos, sino que también tiene mucha importancia en otros aspectos relacionados con este aumento del rendimiento. Por ejemplo, el riego es útil como vehículo de entrada de los fertilizantes en la planta, ya sea en la incorporación de fertilizantes al suelo y la dilución de estos por medio del riego o por la incorporación de los fertilizantes directamente al agua de riego, también conocida esta técnica como fertirrigación. De esta manera la absorción de los fertilizantes será más rápida, la aplicación será mucho más eficaz y económica por el hecho de poder ajustar la dosis de fertilización a los diferentes estados fenológicos del cultivo. Todo lo anteriormente mencionado para los fertilizantes no es únicamente aplicable para ellos, sino que también para otras sustancias como fungicidas, insecticidas u otros fitosanitarios. El riego da la posibilidad de poder cultivar en cualquier momento del año y no tener que depender de las precipitaciones o incluso poder cultivar en determinadas zonas áridas o semiáridas. El riego ha dado paso a una expansión de terrenos y de especies vegetales con posibilidad de ser cultivados en zonas áridas o semiáridas mencionadas anteriormente. Este aumento de terrenos cultivados ha incrementado el poder adquisitivo de los agricultores de estas zonas, por ello la agricultura es un sector que ha crecido mucho en los últimos años y seguirá tecnificándose con el paso del tiempo.

Tabla 1. Rendimiento de cultivos en regadío y secano en la Comunidad Valenciana. Fuente: MAPA (2021).

Cultivo	Rendimiento (kg/ha)	
	Regadío	Secano
Judías secas	1.400	400
Habas secas	2.000	500
Trigo	4.615	1.989
Cebada	3.717	1.611
Tomate	35.003	7.239
Sandía	49.251	10.200
Níspero	15.113	950
Manzano	19.744	4.458
Peral	15.312	4.135
Vid (uva de mesa)	17.361	3.197

Como ya se ha indicado antes, unos de los grupos de cultivos con mayores necesidades hídricas son los ornamentales y entre ellos el de las especies cespitosas, ya que la falta de riego les afecta gravemente a su desarrollo. El primer síntoma que aparece es el de deshidratación produciéndose la pérdida de turgencia y flexibilidad de las hojas, posteriormente pueden comenzar a amarillear las partes de la cubierta cespitosa más débiles, esto puede ser reversible con la aplicación de las necesidades hídricas necesarias, pero en casos extremos podrían llegar a morir (Hessayon, 1986).

2.- Justificación y Objetivos

Según los antecedentes descritos es entendible la gran repercusión que el riego ha tenido en la agricultura, teniendo gran importancia en la mayoría de los cultivos y en concreto en las especies cespitosas.

En la Universidad Politécnica de Valencia existen unas parcelas experimentales de variedades de especies cespitosas regadas mediante aspersión. El sistema de aspersión de estas parcelas se instaló entre 2007 y 2010 se sospecha del mal funcionamiento de la instalación, ya que el verano pasado los céspedes que son regados por dicho sistema de riego perdieron mucha calidad e incluso algunas variedades ensayadas murieron.

Dada la importancia del riego en el área mediterránea y la sospecha del mal funcionamiento de la mencionada instalación de riego por aspersión, se pretende en este Trabajo Fin de Grado realizar una evaluación de la calidad del sistema de riego. Para ello, se realizará una caracterización de los elementos de la instalación de riego por aspersión y del estado en el que se encuentran. A continuación, se llevará a cabo el estudio de la uniformidad de riego en cada una de las 3 parcelas de ensayo. Tras la obtención de los resultados del estado de la instalación de riego por aspersión se sugerirán una serie de soluciones para mejorar la eficiencia de la instalación y mejorar el estado del césped en las parcelas. Tras la propuesta de mejora de las instalaciones, se llevarán a cabo dichas mejoras y de nuevo su comprobación. La comprobación se realiza mediante una nueva determinación de la uniformidad de riego en las diversas parcelas, comparando los resultados obtenidos antes y después de la mejora realizada.

El objetivo pues de este Trabajo Fin de Grado es evaluar el funcionamiento de una instalación de riego por aspersión, proponer mejoras e implementarlas.

3.- El césped

Se denomina césped al terreno cubierto por especies pertenecientes en su gran mayoría a la familia de las Poáceas y que reúnen una serie de características como la de cubrir uniformemente un espacio como un tapiz verde, resistir al pisoteo y el arrancamiento, soportando siegas bajas y frecuentes.

Se conocen más de 7.500 especies dentro de la familia de las Poáceas de las cuales se cultivan solamente alrededor de 50 como especies cespitosas distribuidas por todo el mundo y en España unas 12. Una manera muy importante de clasificar a las especies cespitosas es diferenciándolas según si son especies que se adaptan mejor a clima frío (denominadas C3 por seguir este tipo de fotosíntesis) en las que su temperatura óptima de desarrollo oscila entre los 15-25 °C o las mejor adaptadas a clima cálido (denominadas C4) las cuales están acostumbradas a unas temperaturas de entre 27-35 °C. Las especies C3 están limitadas por la intensidad y duración del calor y la sequía, al contrario que las especies C4 que se ven perjudicadas por las bajas temperaturas entrando en un periodo de latencia en el que pierden la coloración verde y la parte aérea de la planta se seca durante parte del invierno. Los géneros más representativos de las especies cespitosas C3 son: *Agrostis*, *Festuca*, *Lolium* y *Poa*; y de las especies C4 son: *Cynodon*, *Paspalum*, *Pennisetum*, *Stenotaphrum* y *Zoysia*.

Se pueden observar distintos tipos de desarrollo en las especies cespitosas, especies que se desarrollan verticalmente (formando macollas) y especies de desarrollo horizontal. Sin embargo, dentro del desarrollo horizontal se puede distinguir entre un hábito de crecimiento rizomatoso donde el desarrollo se produce por medio de tallos subterráneos llamados rizomas generados en la planta madre y que forman una nueva planta; o un hábito de crecimiento horizontal estolonífero, que se trata de un desarrollo muy parecido al rizomatoso pero en este el crecimiento de los tallos no es subterráneo sino superficial y que surgen de igual manera de la planta madre y son capaces de formar nuevas plantas. Se conocen también especies que se desarrollan con ambos hábitos de crecimiento horizontal.

La tolerancia a la sequía depende del género y de la especie, una clasificación de dicha característica de las especies cespitosas podría ser la representada en la Figura 1 (Cirera, 2010).

Tolerancia a la sequía	
Alta	<i>Cynodon dactylon</i> X <i>Cynodon transvaalensis</i>
	<i>Zoysia</i> sp.
	<i>Cynodon dactylon</i>
	<i>Paspalum vaginatum</i>
	<i>Stenotaphrum secundatum</i>
	<i>Pennisetum clandestinum</i>
	<i>Festuca arundinacea</i>
	Festucas finas
	<i>Poa pratensis</i>
	<i>Lolium perenne</i>
	<i>Agrostis castellana</i>
	<i>Agrostis stolonifera</i>
	<i>Agrostis tenuis</i>
	<i>Puccinellia distans</i>
	Baja

Figura 1. Tolerancia a la sequía en especies cespitosas. Fuente: Cirera (2010).

Los céspedes son utilizados en zonas distintas y con usos muy diferentes. A grandes rasgos se puede clasificar los usos de las especies cespitosas en dos clases: céspedes ornamentales y céspedes deportivos (Figura 2). Los ornamentales son aquellos que cubren las superficies de jardines tanto públicos como privados. Un césped privado tiene unas características diferentes a las que puede tener un jardín público, serán especies de hoja fina, se debe de mantener verde durante todo el año y no será especialmente resistente al pisoteo. Un césped utilitario dedicado a zonas de parques públicos el cual admite más usos que el decorativo, como el juego de niños y es capaz de resistir ciertos errores de mantenimiento; este sería un césped utilitario de primera clase. Un césped utilitario de segunda clase es más utilizado en rotondas, medianeras, parques públicos; ya que se siembran especies más rústicas y tienen la capacidad de resistir muy bien el pisoteo sin un mantenimiento muy adecuado.

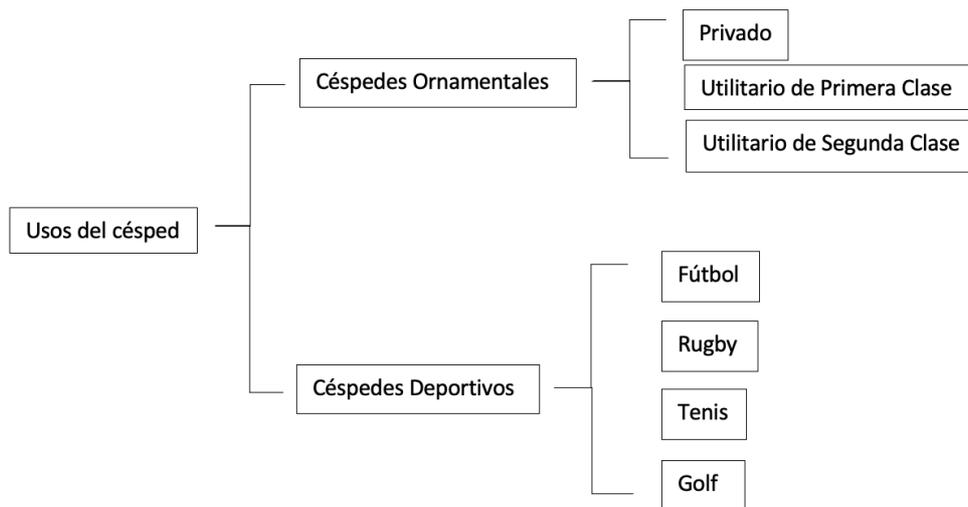


Figura 2. Clasificación de los usos del césped.

En cuanto a céspedes deportivos se observan unas características diferentes en función de las necesidades o prácticas de los deportes en los que son usados, siendo los aspectos más importantes la alta resistencia al pisoteo y una alta capacidad de regeneración. Los céspedes destinados a campos de fútbol o rugby como bien se ha mencionado anteriormente la resistencia al pisoteo es fundamental y la regeneración también lo será en zonas como las porterías que son más sufridas, además también será importante la altura, la densidad y otros parámetros que afectan al movimiento del balón por el suelo. El césped dedicado a las pistas de tenis suele tener especies muy resistentes al pisoteo y que permitan una siega muy baja, lo que conlleva un alto mantenimiento. En los campos de golf la cubrición no es uniforme en cuanto a especies cespitosas, sino que dentro de un hoyo del campo de golf se diferencian distintas partes. La salida (*tee*) es un área que suele verse muy perjudicada por el arrancamiento por lo que se deberá estar continuamente resembrándose, la calle (*fairway*) es la extensión continua más grande del hoyo. En los laterales de la calle (*rough*) el césped no se siega con tanta frecuencia como en la salida o en la calle, sino que se deja una altura del césped mayor, utilizándose en él especies más rústicas que puedan soportar un menor mantenimiento. Al final de la calle, se sitúa el denominado *green* y en el *antegreen* donde la precisión requerida para el juego es muy alta por lo que se requiere de una siega muy baja del césped, en el que se tendrá un alto nivel de mantenimiento (Merino y Ansorena, 1998).

3.1.- El riego en el cultivo del césped

3.1.1.- Necesidades del riego

España se encuentra en una localización geográfica privilegiada por el hecho de que se sitúa en una zona de transición entre la Europa fría y los países subtropicales por lo que en España se pueden cultivar la mayoría de las especies cespitosas usadas a nivel mundial ya sean especies C3 o especies C4, aunque cada una con sus limitaciones según en el lugar de España en el que se cultivan.

La Comunidad Valenciana posee un clima mediterráneo en el que se dan inviernos suaves y veranos calurosos, con temperaturas medias de 25°C en los meses de verano y temperaturas medias de 10°C en los meses de invierno. En cuanto a la precipitación es mayor durante los meses de otoño, en los meses de verano la precipitación es realmente baja siendo julio el mes de menor precipitación con un 6,5mm de media en los últimos 10 años (Tabla 2), dándose valores de evapotranspiración de referencia mucho mayores que los de precipitación. Debido a todas estas condiciones climáticas se precisa de riego en el cultivo de especies cespitosas para mantener un césped tupido, denso y en buenas condiciones ya que las precipitaciones en esta zona no cubren con las necesidades hídricas de las especies cespitosas, en algunos meses del año.

Tabla 2. Datos meteorológicos de Moncada en 2010-2020. Fuente: SiAR (2021).

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	ET ₀ (mm)
	Media	Máxima absoluta	Mínima absoluta		
Enero	10,0	23,8	-1,7	42,0	47,5
Febrero	10,8	24,6	-0,9	14,4	60,8
Marzo	12,9	27,7	1,3	47,8	89,6
Abril	15,4	29,1	4,4	31,5	107,9
Mayo	18,8	33,0	6,6	21,0	144,8
Junio	22,6	34,1	11,2	19,9	163,4
Julio	25,6	36,0	16,1	6,5	172,6
Agosto	25,7	38,1	15,8	20,2	150,0
Septiembre	22,7	34,4	12,2	37,3	110,2
Octubre	18,7	31,8	6,5	41,4	75,5
Noviembre	13,8	27,3	1,9	60,9	49,8
Diciembre	10,6	23,6	-0,6	25,0	38,5
Total	17,3	30,3	6,1	368,0	1210,6

Para conocer las necesidades hídricas de un césped se debe conocer las necesidades de agua de la especie o de las especies que se desarrollan en un terreno en cuestión para así conocer los volúmenes de agua necesarios a aportar con el riego (Merino y Ansorena, 1998). El consumo de agua generado por la cubierta cespitosa viene definido por el fenómeno de la evapotranspiración, que consiste en la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo, siendo procesos que ocurren simultáneamente. La evapotranspiración de referencia (ET₀) es la evapotranspiración en una superficie de referencia y puede ser calculada a partir de datos climáticos, puede relacionarse con la evapotranspiración del cultivo (ET_c) mediante el coeficiente de cultivo (K_c), (Ecuación 1). Para el cálculo de las necesidades de

riego (Ecuación 4) se trata de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva (Ecuación 2 o Ecuación 3) (Allen y col., 2006).

Tras el cálculo de las necesidades netas de riego será importante conocer la eficiencia del sistema de riego (Ef_r) que se define como la relación entre la cantidad de agua útil para las plantas y la cantidad de agua aportada por la instalación de riego, en riego por aspersión suele considerarse una eficiencia del 70%. Para la realización del cálculo de las necesidades totales de riego por aspersión se tendrán en cuenta las necesidades netas de riego y la eficiencia del sistema de riego por aspersión (Ecuación 5).

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo.

$$P_e(\text{meses} > 75\text{mm}) = (0,8 * P) - 25$$

Ecuación 2. Precipitación efectiva en meses con precipitaciones superiores a 75mm.

$$P_e(\text{meses} < 75\text{mm}) = (0,6 * P) - 10$$

Ecuación 3. Precipitación efectiva en meses con precipitaciones inferiores a 75mm.

$$N_n = ET_c - P_e$$

Ecuación 4. Necesidades netas de riego.

$$N_{Total} = \frac{N_n}{Ef_r} = \frac{N_n}{0,7}$$

Ecuación 5. Necesidades totales del riego por aspersión.

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm).

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm).

K_c : Coeficiente de cultivo.

P : Precipitación (mm).

N_n : Necesidades netas de riego (mm).

P_e : Precipitación efectiva (mm).

N_{Total} : Necesidades totales (mm).

Ef_r : Eficiencia del riego por aspersión (%).

En la Tabla 3 se pueden observar los valores de las necesidades netas de riego que pueden presentar las especies cespitosas C3 en función de los meses del año. Comprobado así que los meses con mayor precipitación y menor evapotranspiración como son enero, noviembre y diciembre se corresponden con unas necesidades de riego bajas, mientras que en los meses de verano cuando la precipitación no es alta y la evapotranspiración si lo es las necesidades de riego son considerables. Sin embargo, las precipitaciones pueden no ocurrir o ser menores o mayores que las medias históricas, o incluso ser poco efectivas al caer en poco tiempo, por lo que las necesidades de riego serán muy variantes por este factor.

Tabla 3. Cálculo de las Necesidades de Riego Medias. Fuente: SiAR (2021) y Meyer y col. (2020).

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	Precipitación (mm)	Pe (mm)	N _n (mm)	N _{total} (mm)
Enero	47,5	0,61	29,0	42,0	15,2	13,8	19,6
Febrero	60,8	0,64	38,9	14,4	0,0	38,9	55,6
Marzo	89,6	0,75	67,2	47,8	18,7	48,5	69,3
Abril	107,9	1,04	112,2	31,5	8,9	103,3	147,6
Mayo	144,8	0,95	137,6	21,0	2,6	135,0	192,8
Junio	163,4	0,88	143,8	19,9	2,0	141,9	202,7
Julio	172,6	0,94	162,2	6,5	0,0	162,2	231,7
Agosto	150,0	0,86	129,0	20,2	2,1	126,9	181,3
Septiembre	110,2	0,74	81,6	37,3	12,4	69,2	98,8
Octubre	75,5	0,75	56,6	41,4	14,9	41,8	59,7
Noviembre	49,8	0,69	34,4	60,9	26,5	7,9	11,2
Diciembre	38,5	0,60	23,1	25,0	5,0	18,1	25,9
Total	1210,6	-	1015,6	368,0	108,3	907,3	1296,2

Al cabo de un año las especies cespitosas C3 tienen unas necesidades netas de 907,3mm aproximadamente teniendo en cuenta la precipitación efectiva, pero como en muchos casos esta es poco fiable en cuanto a la cantidad que realmente puede ser usada por la planta podría no tenerse en consideración en el cálculo. Si realizamos el cálculo de las necesidades netas de riego sin tener en cuenta la precipitación necesitaremos aportar la misma cantidad de agua que la evapotranspiración de cultivo, decir, hasta 1015,6mm de agua. Sin embargo, las especies cespitosas C4 están adaptadas a regiones con temperaturas más altas y tienen mecanismos para controlar la evapotranspiración y que esta no sea excesiva, como el cierre de estomas en las horas de máxima insolación y altas temperaturas, por lo que la mayoría tienen unas necesidades netas de riego menores a las que podría llegar a tener una especie cespitosa C3 en una misma localización.

3.1.2.-Elementos del riego por aspersión

Los componentes de las instalaciones de riego por aspersión son el grupo de bombeo que consta de un motor y una bomba, las conducciones o tuberías, los programadores de riego, las electroválvulas, los aspersores y boquillas. La labor del grupo motobomba será impulsar el agua de un depósito a través de las tuberías hasta los aspersores. Deberá asegurar un caudal correspondiente al de todos los aspersores que estén en funcionamiento simultáneamente y además asegurar una presión correcta en los aspersores teniendo en cuenta las pérdidas de carga de las tuberías y la presión para contrarrestar las diferentes alturas. Las conducciones o tuberías pueden ser conducciones móviles o fijas, pero por lo general el riego por aspersión en zonas cubiertas por especies cespitosas se hará uso de conducciones fijas y enterradas, ya que son las más compatibles con los usos del césped, suelen estar fabricadas de material plástico como el policloruro de vinilo (PVC-U) o de polietileno (PE40 o PE100) al igual que los aspersores. Se podría decir que los aspersores son el elemento más importante de una instalación de riego por aspersión, por el hecho de que llevan acabo la aportación de agua de riego al suelo a un

ritmo que no sea perjudicial para dicho suelo, es decir, que no se formen escorrentías o costras y que si que se consiga una elevada uniformidad de riego. En el aspersor se coloca la boquilla que se ajusta a las necesidades de riego según la presión y caudal que se quiera arrojar, ya que dichas boquillas son la ranura del aspersor por donde sale el agua, y las ranuras pueden ser de distintas formas. Los más usados son los aspersores de boquilla fija y emergentes, lo que quiere decir que con el paso del agua a presión a través de él provoca la subida del vástago y cuando deja de pasar el agua el vástago baja hasta quedarse al ras del suelo, pudiendo ser regulados para abarcar cualquier ángulo necesario entre 0° y 360°.

3.1.3.- Uniformidad de riego

El coeficiente de uniformidad de distribución puede calcularse mediante diferentes métodos, uno de los que se utiliza es la Uniformidad de Distribución (DU) que se define como el método para caracterizar la uniformidad de aplicación de agua por aspersores para los datos de una distribución geométrica de pluviómetros o malla completa, mediante un coeficiente que utiliza el 25% de las muestras menores. Puede calcularse mediante la colocación de pluviómetros en la zona a considerar y en la activación del riego un tiempo determinado bajo las mismas condiciones de viento. La finalidad del riego por aspersión será la aportación de una lámina uniforme de agua sobre toda la superficie a cultivar, por lo que la uniformidad de aplicación dependerá de la presión de trabajo que es la presión de diseño indicada por el fabricante y la separación entre los aspersores, es decir, el solape que haya entre ellos. El efecto de la presión sobre la uniformidad no es más que a una presión de trabajo baja se producen grandes gotas que cae la mayoría alejadas del aspersor formando un modelo de aplicación en corona circular (Figura 3). Si la presión es demasiado alta se producirán gotas de pequeño tamaño que caerán cerca del aspersor, por lo que en ambos casos tanto si la presión es superior o inferior a la de trabajo el alcance o diámetro de riego disminuye. Además, las gotas de menor tamaño pueden ser arrastradas por el viento y las gotas de mayor tamaño pueden afectar a la estructura del suelo. El tamaño de las gotas también está influenciado por el diámetro del orificio de salida del agua presente en las boquillas, ya que cuando más grande es el diámetro mayor será el tamaño de las gotas (Pascual, 2018).

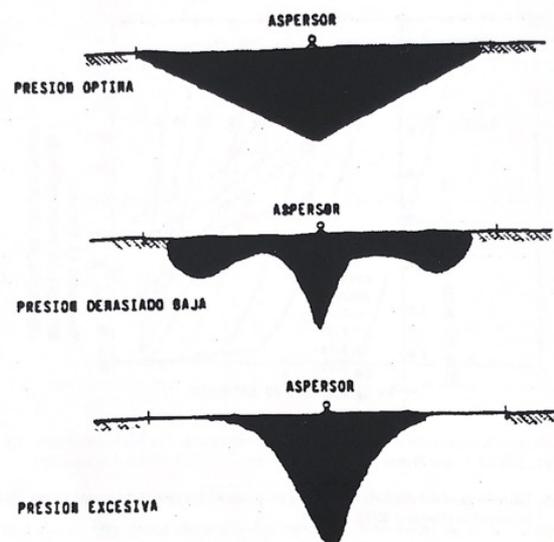


Figura 3. Efecto de la presión de trabajo sobre la distribución del agua. Fuente: Pascual, 2018.

Además del diseño del aspersor, el diámetro del orificio de la boquilla y la presión de trabajo otra manera de fracasar en el cálculo de la uniformidad de riego es debido a factores climáticos como el viento. El viento es capaz de alterar la distribución de la lámina de agua aportada por el aspersor teniendo en cuenta tanto la velocidad como la dirección del viento. La velocidad del viento aumenta progresivamente a medida que aumenta la altura por lo que cuanto más altura tenga la boquilla mayor podrá ser la desviación generada en la aplicación de la lámina de agua y del mismo modo a mayor altura a la que este instalado el aspersor mayor será la desviación. Se puede señalar que la velocidad del viento no es uniforme en las 24 horas del día, sino que en las horas de la noche y de la madrugada la velocidad del viento se reduce por lo que será conveniente programar el riego en estas horas del día para conseguir uniformidades de riego superiores. Si en las épocas de mayor riego se dan vientos con direcciones dominantes será de gran importancia a la hora de realizar el diseño de la instalación riego. Debido a todos estos aspectos que pueden alterar la uniformidad los coeficientes de uniformidad del riego por aspersión suelen clasificarse en diferentes rangos, como se expone en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de la Uniformidad de Distribución. Fuente: Zoldoske (2003).

Coefficiente de uniformidad (DU) (%)	Clasificación
>85	Excelente
80	Muy bueno
75	Bueno
70	Justo
<65	Pobre

Se considera que para especies cultivadas delicadas en cuanto a la cantidad de agua a regar es importante que el sistema de riego en este caso riego por aspersión llegue a un nivel del 70-80% de coeficiente uniformidad como es el caso de las especies cespitosas. No sería admisible un rango de uniformidad entre el 65-70% por el simple hecho de que la especie o especies que cubren el terreno podrían verse afectas, sobre todo en los meses de verano cuando las necesidades netas de riego son elevadas, el resultado sería una superficie irregular en cuando a recubrimiento de las especies.

4.- Informe

4.1.-Sistema de información geográfica

En la realización de este Trabajo Fin de Grado se ha utilizado un programa informático que se basa en un sistema de información geográfica, llamado QGIS. La utilización del programa en este informe va desde la localización de coordenadas y superficies de las parcelas donde se encuentra la instalación de riego hasta en la caracterización de la misa, tratamiento de datos de los ensayos realizados, la visualización de los resultados, así como de la ejecución de anejos a la memoria para dar más detalle a todo lo expuesto.

4.2.- Situación

En este Trabajo Fin de Grado se parte de tres parcelas (Figura 4) que se encuentran en la Universidad Politécnica de Valencia (Comunidad Valenciana), de coordenadas UTM conocidas X: 729.077,77 e Y: 4.373.842,99 y superficies expresadas en la Tabla 5. Se puede acceder desde el recinto de la universidad o desde el Camino de Vera, estando solamente a 4 km del puerto de Valencia y a 5 km del centro de la ciudad. La parcela 1 es limítrofe con la parcela 2, pero la parcela 3 se encuentra separada de las otras dos. Dichas parcelas están dedicadas a ensayos con especies cespitosas de clima templado, las cuales son sensibles a la sequía y sufren con las altas temperaturas, siendo regadas mediante un sistema de riego por aspersión controlado desde un cabezal de riego. El sistema de riego por aspersión de estas parcelas no parece funcionar de la manera correcta, ya que en los meses de verano coincidiendo con los meses de mayores necesidades de riego se observa como las especies de dichos ensayos no son capaces de soportar las condiciones climáticas que se dan en Valencia.

Tabla 5. Superficies de las parcelas.

Parcela	Superficie (m ²)
Parcela 1	497,66
Parcela 2	491,08
Parcela 3	563,25



Figura 4. Localización de las parcelas y del cabezal.

4.3.-Caracterización

4.3.1.- Caracterización del cabezal de riego

El cabezal de riego se encuentra en la parcela contigua a la parcela 1, está compuesto (Tabla 6) por un depósito de 3000 L de nivel constante a partir del cual se suministra el agua de riego a las tres parcelas y a otros sistemas de riego cercanos. El agua con la que se llena el depósito es tomada de la red de jardinería de la universidad. El cabezal consta también de un grupo motobomba que es el que hace posible la llegada del agua hasta los aspersores con una determinada presión. Se trata de una bomba de la marca comercial SAER Elettropompe de la serie OP modelo 40/4, las cuales son electrobombas centrífugas multietapas horizontales (Tabla 7), se conoce también la curva motriz de la bomba (Figura 7). La tubería que sale de la bomba hacia las electroválvulas es una tubería de polietileno de baja densidad de 63 mm de diámetro y una presión nominal de 10MPa. Las cuatro electroválvulas que se corresponden con las parcelas 1 y 2 son de 1" ½. La tubería que llega a los aspersores de la parcela 1 es de polietileno de baja densidad de diámetro 40mm y una presión nominal de 6MPa y de la parcela 2 la tubería es igual de polietileno de baja densidad, pero con un diámetro de 32mm y una presión nominal de 6MPa. La distribución de las conducciones que van desde la salida de las electroválvulas hasta los aspersores tanto de la parcela 1 como de la parcela 2 puede verse reflejadas en la Figura 5. Para el control de riego en las parcelas 1 y 2 se tienen un programador de la marca Galcon más concretamente de la serie AC 8000. Se trata de un controlador alimentado por red eléctrica, el cual permite la programación independiente de cada válvula controlando de 4 o 6 válvulas. Para la parcela 3 se tienen 4 electroválvulas de 1" ½. Las conducciones que llegan hasta los aspersores son tuberías de polietileno de baja densidad con un diámetro de 32 mm y una presión nominal de 6 MPa. En cuanto a programadores de riego para la parcela 3 consta de un programador de la misma marca Galcon de la serie DC-6100, siendo este capaz de controlar de 1 a 6 válvulas. La distribución de las tuberías que van desde las electroválvulas hasta los aspersores puede verse en la Figura 6. Puede verse con más detalle de la distribución de tuberías en el anejo de planos.

Tabla 6. Inventario del cabezal de riego.

Elementos
Depósito 300 L
Bomba OP 40/4
Programador Galcon serie AC 800
Programador Galcon serie DC-6100
Electroválvulas
Tubería PE40 Ø63 PN10
Tubería PE40 Ø40 PN6
Tubería PE40 Ø32 PN6

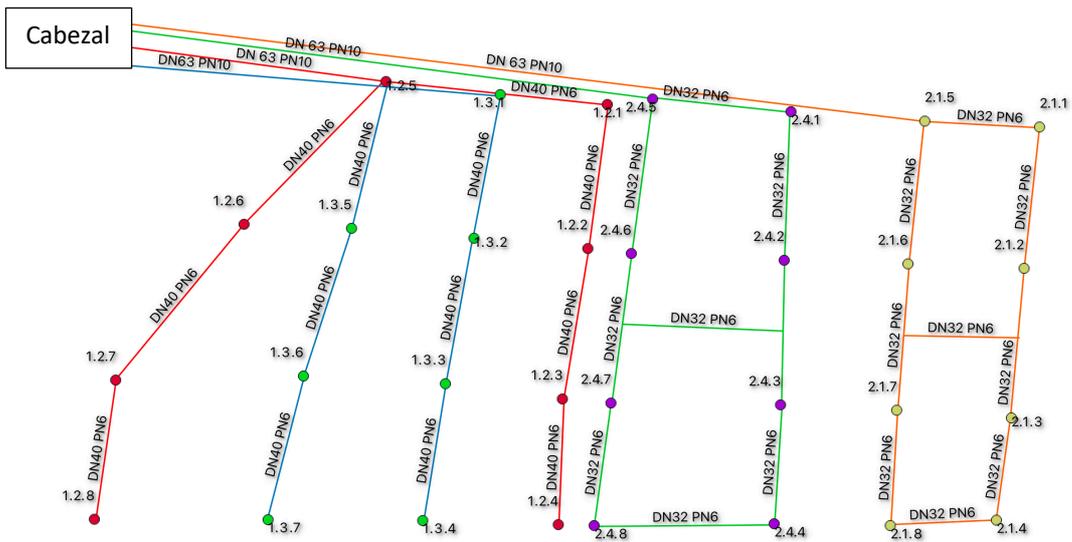


Figura 5. Distribución de las tuberías y aspersores en las parcelas 1 y 2.

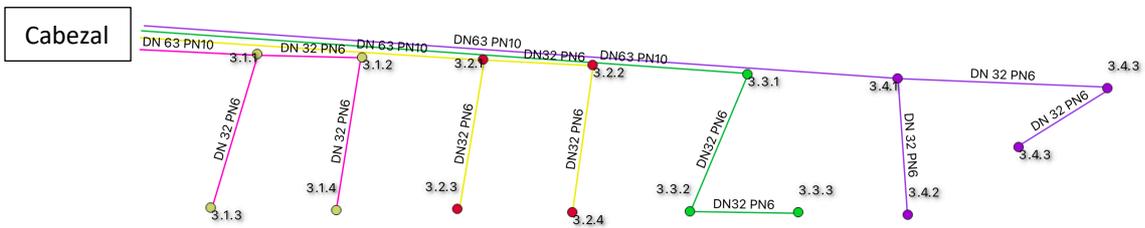


Figura 6. Distribución de las tuberías y aspersores de la parcela 3.

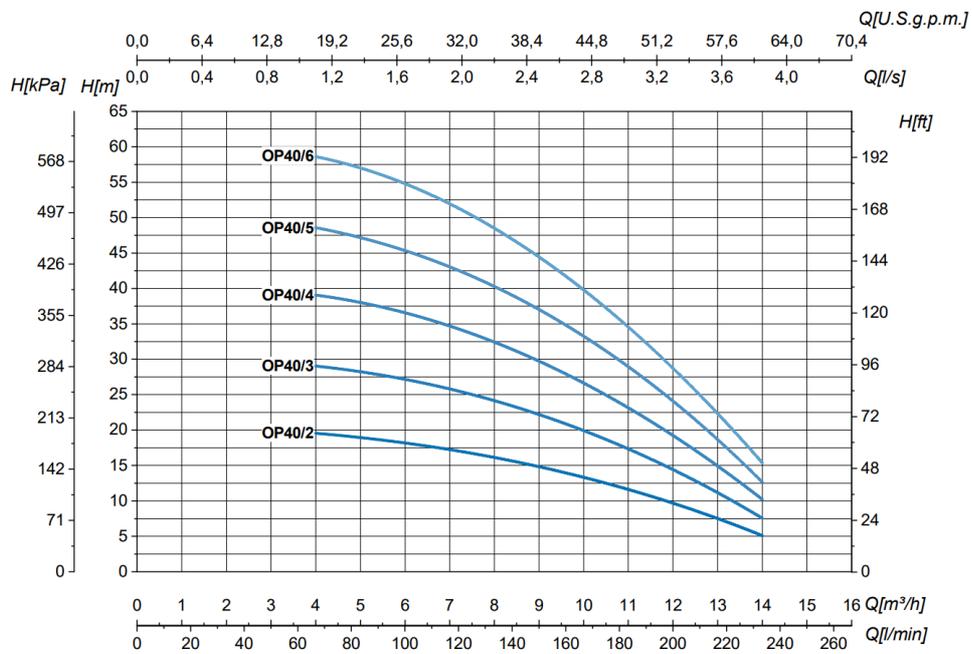


Figura 7. Curva motriz de la bomba. Fuente: SAER Elettropompe.

Tabla 7. Características de la bomba. Fuente: SAER Elettropompe.

Características	OP 40/4
Cuerpo Asp/Imp	Fundición
Cuerpo de etapa	Inox-304
Impulsor	Inox-304
Cierre mecánico	Oxido de alúmina
Eje	Inox-431
Aislamiento	F
Protección	IP 44/55
Tª Máx. Líquido (°C)	90
Tª Máx. Ambiente (°C)	40
Caudal máx. (m ³ /h)	14
Altura máx. (m)	101
Instalación	Horizontal
Diámetro de entrada	1"1/2
Diámetro de salida	1"1/2

4.3.2.- Caracterización de la parcela 1

La instalación del riego por aspersión en la parcela 1 se realizó en el año 2008 y se divide la superficie de riego en dos sectores (S2 y S3). El sector 2 se trata de un sector perimetral que consta de 8 aspersores, mientras que el sector 3 es el sector central y cuenta con 7 aspersores, cubriendo así toda la superficie de la parcela con su riego. Con un total de 15 aspersores, se muestra gran disparidad de modelos, boquillas (concluido por el color y la numeración de las mismas), etc, que hay entre ellos las cuales se enumeran en la Tabla 8 y Tabla 9. En la Figura 8 se puede ver con más detalle la distribución de los mismos igual que en el anejo de planos.

Tabla 8. Caracterización de la Parcela 1 Sector 2.

Parcela 1 -Sector 2												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
1.2.1	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	8	8	0	37	7,80	200	200	90
1.2.2	Rain Bird 3500	Azul	3	½	10	10	5	25	7,65	185	180	180
1.2.3	Rain Bird 3500	Azul	3	½	10	10	3	25	8,23	185	180	180
1.2.4	K-Rain Mini Pro	Roja	1	½	10	14	2	27	7,33	100	90	90
1.2.5	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	11	13	0	27	10,45	205	195	180
1.2.6	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	10	10	10	30	9,70	175	170	180
1.2.7	Super pro	Roja	-	¾	13	13	0	60	10,30	190	180	180
1.2.8	Super pro	Verde	2,5	¾	13	23	5	65	8,10	190	180	180

-: no se pudo identificar. Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

Tabla 9. Caracterización de la Parcela 1 Sector 3.

Parcela 1 -Sector 3												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
1.3.1	*Rain Bird 3500*	Azul	2	½	11,5	15	5	30	7	210	200	180
1.3.2	Rain Bird 3500	Azul	2	½	7	7	0	40	6,8	365	360	360
1.3.3	Rain Bird 3500	Azul	2	½	8	8	0	50	8,10	360	360	360
1.3.4	Rain Bird 3500	Azul	2	½	12	18	10	26	8,10	190	180	180
1.3.5	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	2	¾	13	13	0	65	8	360	360	360
1.3.6	Rain Bird 3500	Azul	2	½	10	10	0	45	6,8	360	360	360
1.3.7	Rain Bird 3500	Azul	2	½	12	12	5	25	6,8	185	180	180

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

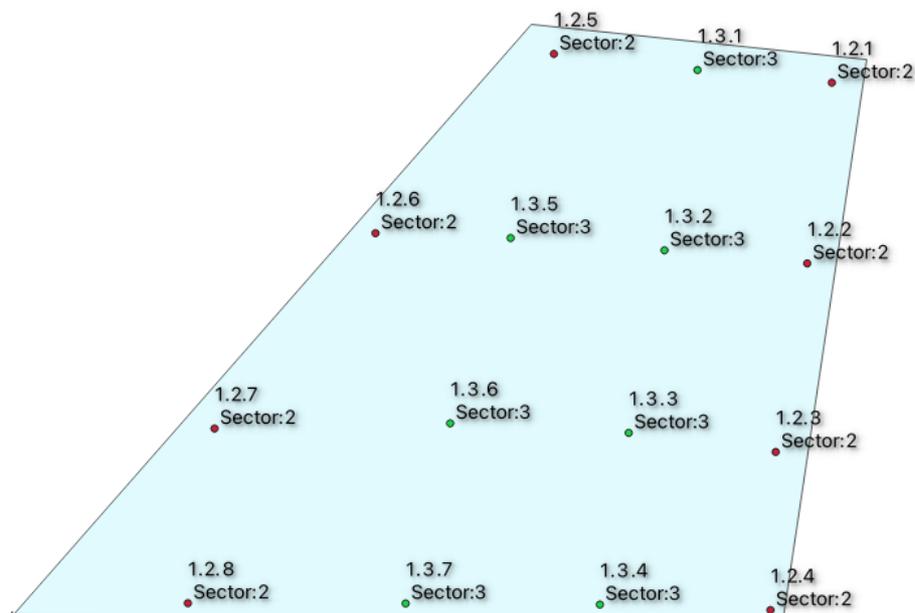


Figura 8. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 1.

4.3.3.- Caracterización de la parcela 2

El sistema de riego de esta parcela se realizó un año antes que la parcela 1, es decir que se realizó en 2009. De igual manera se divide en dos sectores nombrados como sector 1 y sector 4, con 8 aspersores cada uno. Existen diferencias entre los elementos, mostrados en la Tabla 10 y Tabla 11 lo cual puede ser uno de los motivos por los que se sospecha que la uniformidad del riego no es elevada. En la Figura 9 puede observarse de manera más clara la distribución de los aspersores, con más detalle en el anejo de planos.

Tabla 10. Caracterización de la Parcela 2 Sector 1.

Parcela 2 - Sector 1												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
2.1.1	Rain Bird 3500	Azul	2	½	11	11	0	15	7,30	130	120	90
2.1.2	*Rain Bird 3500*	Azul	4	½	11	11	0	70	7,75	175	180	180
2.1.3	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	11	11	0	40	7,97	210	180	180
2.1.4	*Rain Bird 3500*	Azul	3	½	12	18	5	13	7,8	90	100	90
2.1.5	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	12	12	0	43	5,86	260	260	180
2.1.6	*Rain Bird 3500*	Azul	2	½	11	11	0	45	6,30	360	360	360
2.1.7	Rain Bird 3500	Azul	3	½	12	12	10	50	5,7	355	360	360
2.1.8	*Rain Bird 3500*	Azul	4	½	12	12	0	30	7,8	170	180	180

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

Tabla 11. Caracterización de la Parcela 2 Sector 4.

Parcela 2 - Sector 4												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
2.4.1	Rain Bird 5000 plus	Azul oscuro	3	¾	12	16	0	50	92	260	260	180
2.4.2	Mini Pro	Roja	2	½	10	10	0	107	7,77	360	360	360
2.4.3	Rain Bird 3500	Azul	2	½	10	10	0	45	6,6	340	360	360
2.4.4	K-Rain Mini Pro	Roja	2	½	10	15	5	60	7,5	200	180	180
2.4.5	K-Rain Mini Pro	Roja	2	½	10	14	3	55	7,44	175	180	90
2.4.6	K-Rain Mini Pro	Roja	2	½	11	11	0	55	7,70	170	180	180
2.4.7	K-Rain Mini Pro	Roja	2	½	11	11	0	50	6,45	120	180	180
2.4.8	K-Rain Super Pro	Verde	2,5	¾	10	20	0	30	9,20	95	90	90

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

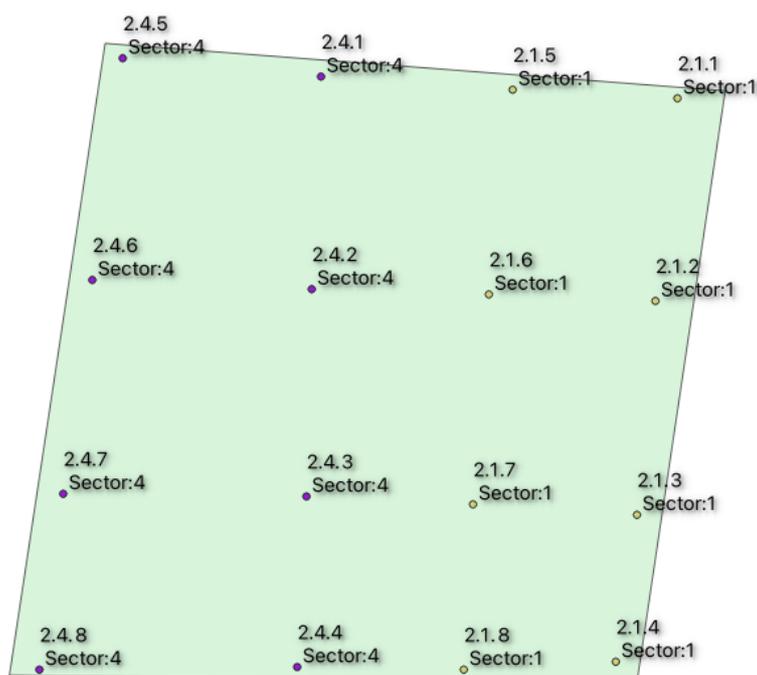


Figura 9. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 2.

4.3.4.- Caracterización de la parcela 3

En la parcela 3 la instalación se llevo a cabo unos años más tarde que las otras parcelas, más concretamente en el año 2010. Dicha parcela consta de 4 sectores de riego, en cada sector figuran 4 aspersores salvo en el sector 3 que únicamente consta de 3 aspersores. Un total de 15 aspersores en toda la parcela, siendo todos ellos el mismo modelo. Sin embargo, existen algunas diferencias como las boquillas y otros caracteres a tener en cuenta, todos ellos recopilados en tablas de la Tabla 12 a la Tabla 15. En la Figura 10 se muestra con más claridad la distribución de los aspersores, más detalle de ellos en el anejo de planos.

Tabla 12. Caracterización de la Parcela 3 Sector 1.

Parcela 3 - Sector 1												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
3.1.1	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	21	0	20	8,35	120	110	90
3.1.2	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	4	¾	12	21	3	40	9,60	170	180	180
3.1.3	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	11	14	0	15	9,60	95	90	90
3.1.4	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	11	24	5	30	9,30	175	180	180

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

Tabla 13. Caracterización Parcela 3 Sector 2.

Parcela 3 - Sector 2												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
3.2.1	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	4	¾	12	28	0	30	7,25	180	180	180
3.2.2	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	20	3	30	8,70	185	180	180
3.2.3	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	4	¾	12	22	10	35	9,40	195	180	180
3.2.4	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	14	3	32	9,70	185	180	180

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

Tabla 14. Caracterización de la Parcela 3 Sector 3.

Parcela 3 - Sector 3												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
3.3.1	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	20	10	30	8,85	180	180	180
3.3.2	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	11	14	3	40	9,80	195	180	180
3.3.3	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	12	0	30	9,40	190	190	180

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.

Tabla 15. Caracterización de la Parcela 3 Sector 4.

Parcela 3 - Sector 4												
Asp	Mod	Col boq	Nº boq	Conex (")	Alt Vast (cm)	Alt Sue (cm)	Incli (°)	Tiem Reco (seg)	Alc (m)	Reco Real (°C)	Reco Teo Apli (°C)	Reco Teo (°C)
3.4.1	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	12	0	0	30	6,43	180	180	180
3.4.2	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	11	0	0	30	11,40	165	160	160
3.4.3	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	1,5	¾	11	0	0	38	6,50	185	180	180
3.4.4	Rain Bird 500 plus	Azul oscuro	3	¾	11	0	0	10	7,20	30	20	90

Asp: aspersor; Mod: modelo; Col boq: Color de la boquilla; Nº Boq: Numeración de la boquilla; Alt vast: altura del vástago; Alt sue: altura desde el suelo; Incli: inclinación; Tiem reco: tiempo en hacer el recorrido; Alc: alcance; Reco teo real: recorrido teórico real; Reco teo apli: recorrido teórico de aplicación; Reco teo: recorrido teórico.



Figura 10. Distribución de sectores y aspersores de la parcela 3.

4.4.- Estado inicial de las parcelas

Se llevó a cabo la determinación de la uniformidad del riego en las diferentes parcelas para conocer el estado en el que se encontraban y de este modo verificar si es necesaria una propuesta de mejora o no, así como la magnitud de la propuesta, ya que se sospechaba que podían existir problemas en la instalación original y en las posteriores reparaciones realizadas durante sus aproximadamente 10 años de vida. El cálculo de la uniformidad de riego se realizó con el método de malla completa, la que consiste en cubrir el espacio de las parcelas de ensayo con pluviómetros y cuantificar el agua de riego aportada en cada uno de ellos (Lloréns, 2006). Conociendo de esta manera la uniformidad con la que se aplica la lámina de agua aportada por los aspersores. En este apartado también ha sido utilizado un sistema de información geográfica (QGIS) para conocer las zonas en las que la pluviometría es mayor o menor. Una vez conocido el peso en gramos de agua aportado en cada uno de los pluviómetros con una báscula se tiene en cuenta el área del pluviómetro y el tiempo de riego transformando así los datos en unidades de caudal (mm/h) para proceder al cálculo de una uniformidad de riego (Ecuación 6).

$$DU (\%) = \frac{Q_{25}}{Q_{med}} * 100$$

Ecuación 6. Uniformidad de Distribución.

Donde:

DU : Uniformidad de distribución (%).

Q_{25} : Caudal del 25 % inferior (mm/h).

Q_{med} : Caudal medio (mm/h).

4.4.1.- Estado inicial de la parcela 1

La distribución de pluviómetros en la parcela 1 fue de 14 filas separadas unas de otras por una distancia de 2 m y una separación entre los pluviómetros de 1,5 m. La separación con respecto al linde de las parcelas era de 0,8 m alrededor de todo el perímetro. Como la parcela no se asemeja a una figura geométrica habrá filas que tengan más pluviómetros que otras, por ejemplo, las primeras 7 filas tienen 16 pluviómetros, la fila 8 tiene 15 pluviómetros, la fila 9 tiene 13 pluviómetros y así sucesivamente cada fila va teniendo menos pluviómetros (Figura 11). Utilizando un total 175 pluviómetros para la medición de la uniformidad de riego. Se mantuvo el riego durante 30 minutos cada uno de los sectores.

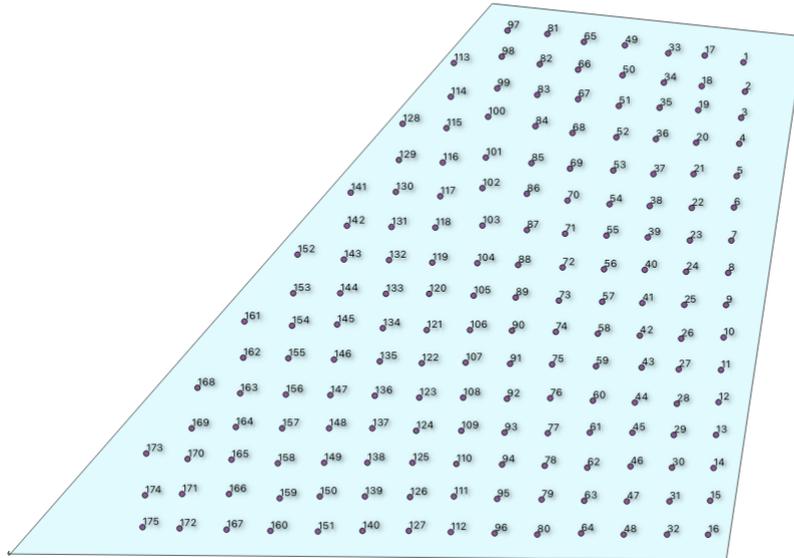


Figura 11. Distribución de pluviómetros de la parcela 1.

El resultado obtenido en cuanto a uniformidad de distribución del riego por aspersión es del 63% (Ecuación 7), en la Figura 12 se pueden observar las zonas donde la pluviometría fue más alta (zonas de color rojo) y donde la pluviometría era más baja (zonas de color azul), pudiendo verse con más claridad en el anejo planos.

$$DU (\%) = \frac{7,87}{12,51} * 100 = 63\%$$

Ecuación 7. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 1.

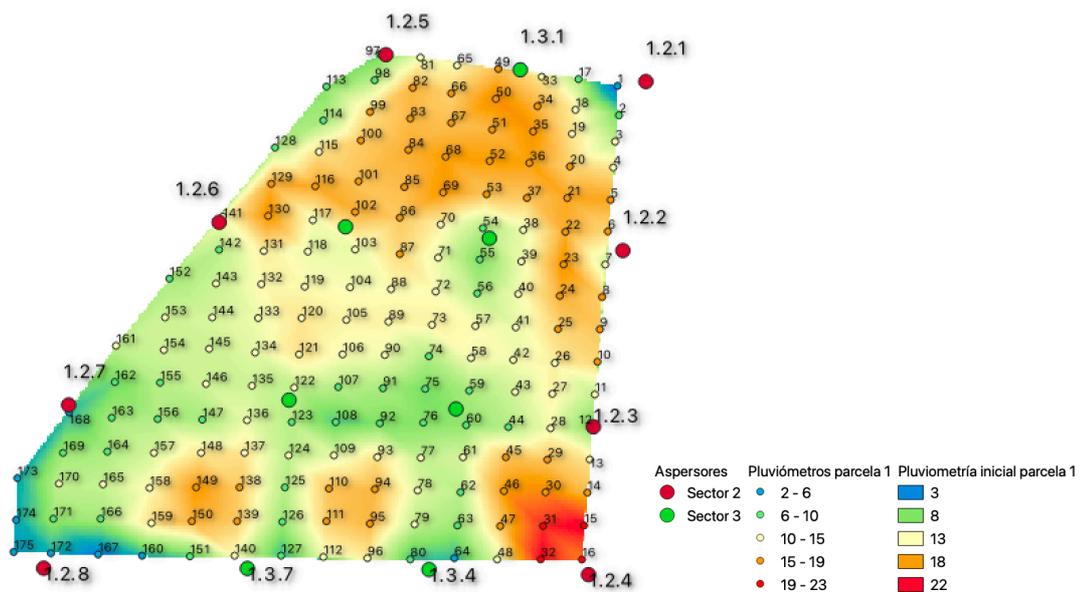


Figura 12. Pluviometría inicial de la parcela 1.

4.4.2.- Estado inicial de la parcela 2

Los pluviómetros están distribuidos en la parcela 2 en 13 filas las que están separadas 1,6 m excepto la primera que se encuentra separada 1,65 m. Cada una de las filas consta de 16 pluviómetros separados por una distancia de 1,2 m. En el linde de la parcela no se colocan pluviómetros, sino que son colocados a partir de la posición de los aspersores, separados de estos 0,8 m. Se utilizaron un total de 208 pluviómetros para cubrir la parcela, con el fin de calcular la uniformidad de riego (Figura 13). El tiempo de riego fue de 30 minutos cada sector.

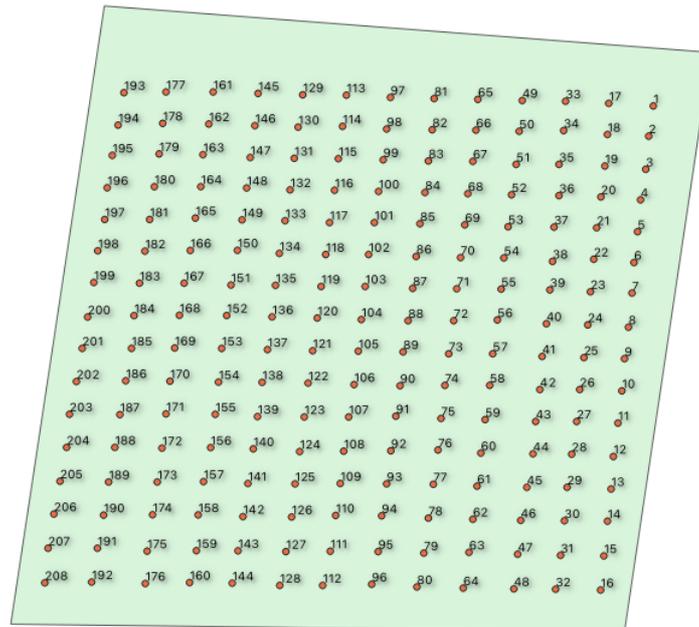


Figura 13. Distribución de pluviómetros de la parcela 2.

La medición de la uniformidad de distribución del riego en la parcela 2 se llevo a cabo tres veces. La primera de ellas se obtuvo un resultado del 44 % de uniformidad de distribución, la segunda vez se obtuvo un 59% y la tercera vez un 57%. En esta parcela se realizó tres veces la uniformidad de distribución por el hecho de que la primera vez se comenzó el ensayo con 0 km/h de velocidad del viento, pero en el transcurso del ensayo se registraron vientos de hasta 14 km/h, conociendo estos datos gracias a un anemómetro portátil. Por lo que el valor de 44% de uniformidad de distribución no se trata de un dato fiable o que se asemeje a la calidad de la instalación de riego que se está caracterizando. La segunda vez que se realizó el ensayo se recogieron datos de rachas de viento de 6km/h y comparando las uniformidades de distribución del primer ensayo y la del segundo se ve la influencia que tiene el viento en la aportación de la lámina de agua en riego por aspersión. No siendo suficiente los resultados obtenidos en ambos ensayos porque se dieron rachas de viento se decidió realizar un tercer ensayo para conocer realmente la uniformidad de distribución de dicha parcela, en este último ensayo se volvieron a dar rachas de viento de 8 a 10 km/h lo cual también influyó en el resultado. Como conclusión de lo sucedido, se constata los problemas que ocasiona el viento en cuanto a la uniformidad de distribución del agua de riego y la importancia de regar en horas del día que no haya viento cuando se tienen un sistema de riego por aspersión; Se tomará el dato de uniformidad de distribución del segundo ensayo (Ecuación 8) como el representativo de los tres realizados por ser el que menor influencia del viento tuvo y por ser la uniformidad más elevada obtenida. En la Figura 14 se puede ver que en algunos de los márgenes de la parcela la pluviometría es mucho mayor y en el centro de esta la pluviometría es algo más baja.

$$DU (\%) = \frac{8,24}{13,86} * 100 = 59\%$$

Ecuación 8. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 2.

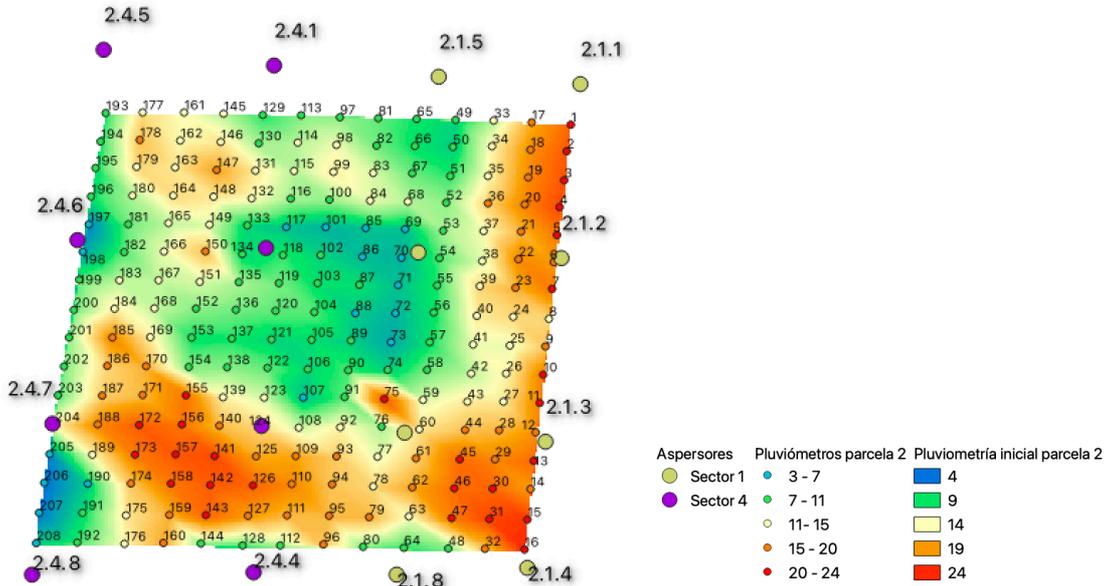


Figura 14. Pluviometría inicial de la parcela 2

4.4.3.- Estado inicial de la parcela 3

La distribución de los pluviosímetros en la parcela 3 es en 7 filas separadas unas de otras 1,5 m, con la distancia entre los pluviosímetros también de 1,5 m, la separación con el linde de la parcela es de 0,5 m en todo el perímetro. De la misma forma que en la parcela 1 al no ser una figura geométrica las filas tendrán distinto número de pluviosímetros, la fila 1 contiene 38 pluviosímetros, la fila 2 tienen otros 38 pluviosímetros, la fila 3 consta de 36 y así sucesivamente (Figura 15). Se utilizaron un total de 235 pluviosímetros para realizar el cálculo de la uniformidad. De igual manera en la que se procedió en las parcelas 1 y 2 el riego de la parcela 3 tuvo una duración de 30 minutos en cada sector.

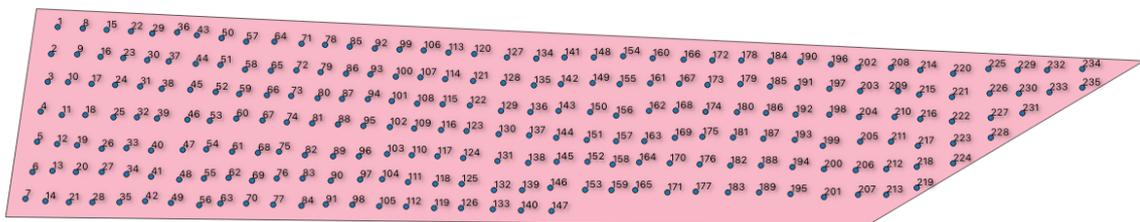


Figura 15. Distribución de pluviosímetros en la parcela 3.

La uniformidad de distribución del riego que se obtuvo en la parcela 3 fue del 61 % (Ecuación 9). Se dan pluviosimetrías más altas en la zona del sector 4 por la concentración de 4 aspersores en un espacio más pequeño que el de los sectores restantes y también se observan zonas de color rojizo en el sector 1, pudiéndose observar todo esto en la Figura 16. No obstante, en la parcela 3 no hay especies cespitosas implantadas en los extremos de la parcela por lo que la necesidad de una buena distribución del agua de riego es principalmente en la parte central. Si solo se

considerará la zona central con 125 pluviómetros la uniformidad de distribución aumentaría de un 61% hasta un 77% (Ecuación 10).

$$DU (\%) = \frac{8,34}{13,73} * 100 = 61\%$$

Ecuación 9. Uniformidad de Distribución inicial de la parcela 3.

$$DU (\%) = \frac{10,81}{14,03} * 100 = 77\%$$

Ecuación 10. Uniformidad de Distribución inicial en la zona central de la parcela 3.

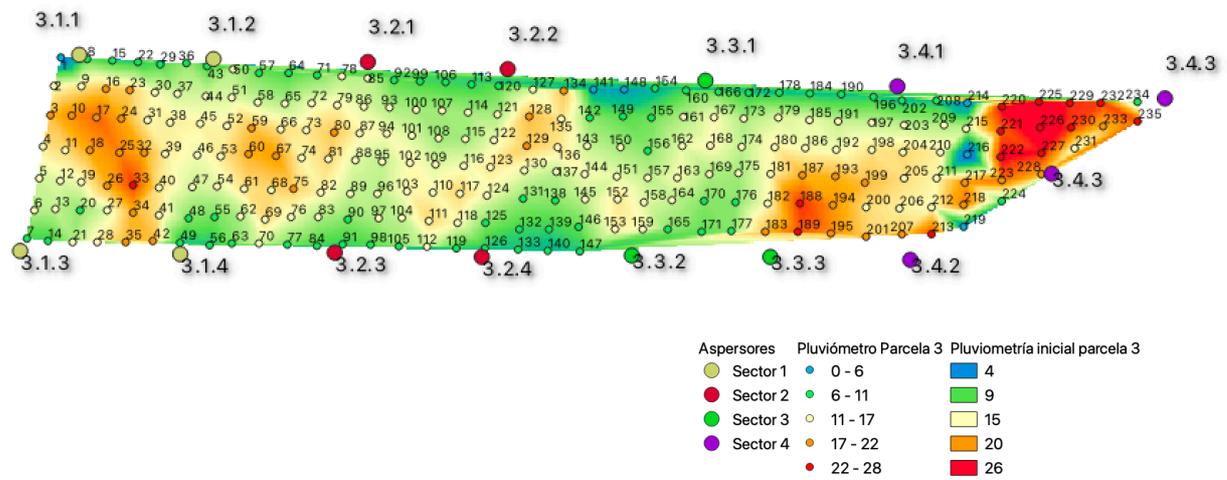


Figura 16. Pluvimetría inicial de la parcela 3.

4.4.4.- Resumen estado inicial de las parcelas

Tras la realización de los ensayos de uniformidad se llegan a los datos representados en la Tabla 16, en la que se concluye que todas las parcelas pertenecientes a este trabajo tenían una uniformidad de distribución del agua de riego inferior al 65% por lo que se les clasifica con una uniformidad de distribución pobre.

Tabla 16. Resumen del estado inicial DU.

Parcela	DU (%)	Clasificación
1	63	Pobre
2	59	Pobre
3	61	Pobre

4.5.- Propuesta de mejora

Como se ha visto en el apartado anterior se parte de tres parcelas en las que la uniformidad de distribución del riego por aspersión es pobre por lo que se pretende conseguir una mayor uniformidad de distribución del agua de riego. Se presentan diversas propuestas de mejora para la instalación de riego por aspersión, teniendo en cuenta los diferentes factores que afectan a la uniformidad de cada una de las tres parcelas y a las peculiaridades de cada una; como puede ser la combinación de diferentes modelos de aspersores y boquillas, sobre todo reflejan esto las

parcelas 1 y 2. Sin quitarle peso al mal estado de los aspersores por falta de piezas y de limpieza que producen obturaciones en ellos. Otros factores que afectan a la uniformidad de estas parcelas es la inclinación en la que están situados los aspersores y el mal ajuste de ángulos que en ellas se puede apreciar.

4.5.1.- Propuesta 1

Esta propuesta de mejora que se propone exclusivamente en las parcelas 1 y 2 consiste en remplazar la totalidad de los aspersores por un único modelo, siendo elegido el modelo Rain Bird 5004+PC30 (círculo parcial 5004 Plus con boquilla 3.0) de la marca Rain Bird (Figura 17) con una conexión a la tubería de ¾". Este aspersor presenta una junta limpiadora sobredimensionada que impide filtraciones y protege a los componentes internos, además de un puerto ajustable de arco autolimpiante que evita la acumulación de residuos y con ello posibles obturaciones. Se cambian las boquillas que vienen de serie con el modelo por las boquillas de la serie 5000 MPR, las cuales son capaces de aportar el agua de riego de forma uniforme en todo el radio con gotas de mayor tamaño resistentes al viento. Se distinguen tres modelos cada uno de ellos con más alcance que el anterior por lo que se opta por las toberas 5000-MPR-25 (Rojo) que tienen un radio de alcance de 7 m a 7,6 m con diferentes presiones (Figura 18), en la Tabla 17 se refleja el caudal que sería aportado por sector en las parcelas 1 y 2 con las boquillas anteriormente mencionadas. Se colocarán una salida de la tubería con un codo en todos los aspersores para poder medir la presión a la que llega el agua en cada uno de los aspersores. La mayor funcionalidad de estas boquillas es que pueden funcionar a la vez todos los aspersores del sector sin depender del ángulo de recorrido que tengan ya que cada boquilla si es de un cuarto de recorrido, de tercio, de medio o de completo tiene un tamaño de orificio proporcional al ángulo que realizan y de esta manera arrojar la misma lámina de agua.



Figura 17. Aspersor Rain Bird 5004+PC30. Fuente: Rain Bird.

5000-MPR-25 (Rojo)				SIST. MÉTRICO		
Presión	Boquilla bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h
Cuarto	1.7	7.0	0.17	3.0	13.7	15.8
	2.4	7.3	0.20	3.6	14.9	17.3
	3.1	7.6	0.23	3.6	15.6	18.1
	3.8	7.6	0.25	4.2	17.4	20.1
	4.5	7.6	0.27	4.8	18.9	21.9
Tercio	1.7	7.0	0.23	3.6	13.9	16.0
	2.4	7.3	0.27	4.8	15.4	17.8
	3.1	7.6	0.31	5.4	16.2	18.7
	3.8	7.6	0.35	6.0	18.0	20.7
	4.5	7.6	0.38	6.6	19.6	22.6
Medio	1.7	7.0	0.33	5.4	13.3	15.4
	2.4	7.3	0.39	6.6	14.7	17.0
	3.1	7.6	0.45	7.2	15.5	17.9
	3.8	7.6	0.50	8.4	17.3	20.0
	4.5	7.6	0.55	9.0	18.9	21.8
Completo	1.7	7.0	0.63	10.8	12.8	14.8
	2.4	7.3	0.76	12.6	14.2	16.4
	3.1	7.6	0.87	14.4	14.9	17.3
	3.8	7.6	0.97	16.2	16.6	19.2
	4.5	7.6	1.05	17.4	18.1	20.9

Figura 18. Datos de las boquillas 5000-MPR-25 (Rojo). Fuente: Rain Bird.

Tabla 17. Caudal aportado por sector en las parcelas 1 y 2.

		Sector 2			
	Aspersores	Caudal arrojado (m3/h)	Nº Aspersores	Caudal por sector (m3/h)	
Parcela 1	Aspersores 90°	0,20	4		
	Aspersores 180°	0,39	4	2,36	
	Aspersores 360°	0,76	0		
		Sector 3			
	Aspersores	Caudal arrojado (m3/h)	Nº Aspersores	Caudal por sector (m3/h)	
Parcela 1	Aspersores 90°	0,20	0		
	Aspersores 180°	0,39	3	4,21	
	Aspersores 360°	0,76	4		
		Sector 1			
	Aspersores	Caudal arrojado (m3/h)	Nº Aspersores	Caudal por sector (m3/h)	
Parcela 2	Aspersores 90°	0,20	2		
	Aspersores 180°	0,39	4	3,48	
	Aspersores 360°	0,76	2		
		Sector 4			
	Aspersores	Caudal arrojado (m3/h)	Nº Aspersores	Caudal por sector (m3/h)	
Parcela 2	Aspersores 90°	0,20	2		
	Aspersores 180°	0,39	4	3,48	
	Aspersores 360°	0,76	2		

Se realizó un ensayo para comprobar la propuesta de mejora y así garantizarla. La comprobación se llevó a cabo construyendo una estructura cuadrada de 7x7m en la que cada una de las esquinas del cuadrado se colocaba un aspersor descrito con anterioridad y con las boquillas también mencionadas. Se colocó un aspersor con la boquilla y con un recorrido de 90°, dos de 180° y uno de 360° (Figura 19 y Figura 20), simulando de esta manera lo que podría ser una cuadrícula de las parcelas para poder extrapolarlo a toda la parcela. Este ensayo de comprobación consistió en la medición de la uniformidad de distribución del agua de riego en dicha cuadrícula. Con un tiempo de riego de 30 minutos y una presión de 320 kPa con lo que se conseguiría un radio de alcance de 7,6 m (Figura 18) y un caudal distinto según el recorrido del aspersor. La medición de la presión se pudo llevar a cabo gracias a la colocación de manómetros digitales en cada uno de los cuatro aspersores. La distribución de los pluviómetros fue en 13 filas y 13 columnas, es decir 169 pluviómetros en total con una separación de 0,5 m tanto entre filas como entre pluviómetros de una misma fila. Tras el tratamiento de datos de la uniformidad de distribución que se consiguió fue del 84 % (Ecuación 11). En la Figura 21Figura 19 se observa que en la parte central de la parcela la pluviometría es mayor y en el extremo correspondiente al aspersor de 360°.

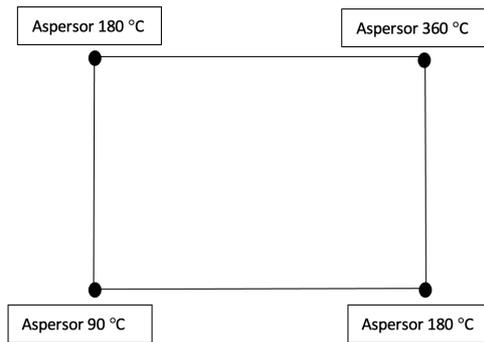


Figura 19. Distribución de los aspersores.



Figura 20. Ensayo de la propuesta 1.

$$DU (\%) = \frac{13,22}{15,73} * 100 = 84\%$$

Ecuación 11. Uniformidad de Distribución en el ensayo de la propuesta 1.

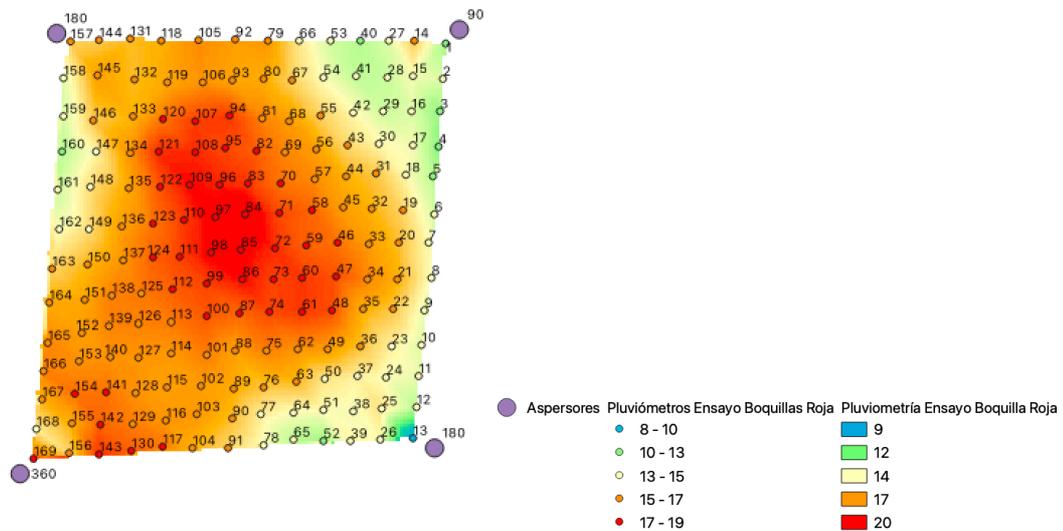


Figura 21. Pluviometría del ensayo de boquilla roja.

4.5.2.- Propuesta 2

La propuesta 2 de mejora se considera de mayores magnitudes con respecto a la propuesta 1. La propuesta 2 consistiría en cambiar toda la instalación y comenzar un diseño de la instalación de nuevo, partiendo de la idea de organizar los sectores en función del ángulo que debe recorrer cada aspersor, nuevamente esta propuesta es exclusivamente para las parcelas 1 y 2. Por lo que se quedaría un sector en el que regaran todos los aspersores de 90°, otro sector con los aspersores de 180° y otro sector con aspersores de 360°. Cada uno de los sectores regará diferentes tiempos para que el caudal arrojado sea uniforme y así también lo sea la uniformidad de distribución de riego. El tiempo del sector dedicado a los aspersores de 90° regaría unos 15 minutos, el sector con aspersores de 180° se regaría 30 minutos y por último el sector con aspersores de 360° se mantendría regando 60 minutos. Para esta propuesta se vuelven a elegir el mismo modelo de aspersor (Rain Bird 5004+PC30) con las mismas características que para la primera propuesta expuesta. Se cambiarán las boquillas colocadas, se tratan de las boquillas del número 1.0 LA de ángulo bajo que tiene un alcance y diferentes caudales según la presión de trabajo (Figura 22). De igual manera que en la propuesta 1 sería conveniente colocar salidas para poder medir la presión en los puntos de aportación de agua a la parcela.

Rendimiento de boquillas de ángulo bajo Serie 5000				SIST. MÉTRICO		
Presión bares	Boquilla	Radio m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	■ Precip mm/h	▲ Precip mm/h
1.7	1.0 LA	7.6	0.17	3.0	6	7
	1.5 LA	8.2	0.26	4.2	8	9
	2.0 LA	8.8	0.33	5.4	9	10
	3.0 LA	8.8	0.51	8.4	13	15
2.0	1.0 LA	8.0	0.18	3.0	6	6
	1.5 LA	8.6	0.28	4.8	8	9
	2.0 LA	9.1	0.36	6.0	9	10
	3.0 LA	9.3	0.55	9.0	13	15
2.5	1.0 LA	8.2	0.20	3.6	6	8
	1.5 LA	8.5	0.32	5.4	9	11
	2.0 LA	8.8	0.41	6.6	11	13
	3.0 LA	9.7	0.62	10.2	14	17
3.0	1.0 LA	8.8	0.22	3.6	6	7
	1.5 LA	9.4	0.35	6.0	8	9
	2.0 LA	9.7	0.45	7.8	10	11
	3.0 LA	10.6	0.68	11.4	12	14
3.5	1.0 LA	8.8	0.24	4.2	6	7
	1.5 LA	9.4	0.38	6.6	9	10
	2.0 LA	9.9	0.49	8.4	10	11
	3.0 LA	10.8	0.74	12.6	13	15
4.0	1.0 LA	8.8	0.26	4.2	7	8
	1.5 LA	9.4	0.41	6.6	9	11
	2.0 LA	10.1	0.52	9.0	10	12
	3.0 LA	11.0	0.80	13.2	13	15
4.5	1.0 LA	8.8	0.27	4.8	7	8
	1.5 LA	9.4	0.44	7.2	10	11
	2.0 LA	10.1	0.56	9.0	11	13
	3.0 LA	11.0	0.84	13.8	14	16

Figura 22. Datos de las boquillas número 1.0 de ángulo bajo. Fuente: Rain Bird.

Para ser conscientes de la mejora que supondría esta propuesta se realizó un ensayo muy parecido al de la propuesta 1. Se realizó con la misma cuadrícula de 7x7m, con 4 aspersores y con el mismo ángulo de recorrido cada uno, con manómetros digitales para cada aspersor, con un mismo número de pluviómetros y con la misma separación entre ellos (Figura 23). Lo que se diferencia es el tipo de boquilla colocada y el tiempo de funcionamiento de cada uno de los aspersores. La distribución de los sectores se realizaría según el ángulo recorrido por el aspersor, de modo que en este caso el aspersor de 90° tuvo una duración del riego de 15min siendo este el primero en regar. Se midió una presión constante de 293kPa por lo que el radio de alcance sería aproximadamente de 8,8m y estaría arrojando un caudal de 0,22 m³/h, según la Figura 22. Al terminar el riego del aspersor de 90° los dos aspersores que recorren un ángulo de 180° estuvieron regando 30min ambos con una presión de 290kPa, por lo que se conseguiría un radio de alcance de 8,8m y aportarían un caudal de 0,22 m³/h. Por último, tras el riego de los aspersores de 180 °C el aspersor de 360° estuvo regando durante 60min a una presión de 293kPa por lo que se vuelve a tener el mismo radio de alcance y el mismo caudal arrojado. Consiguiendo con esta opción una uniformidad de distribución del 89 % (Ecuación 12). En la Figura 24 puede verse la distribución del agua, con más detalle en el anejo planos.

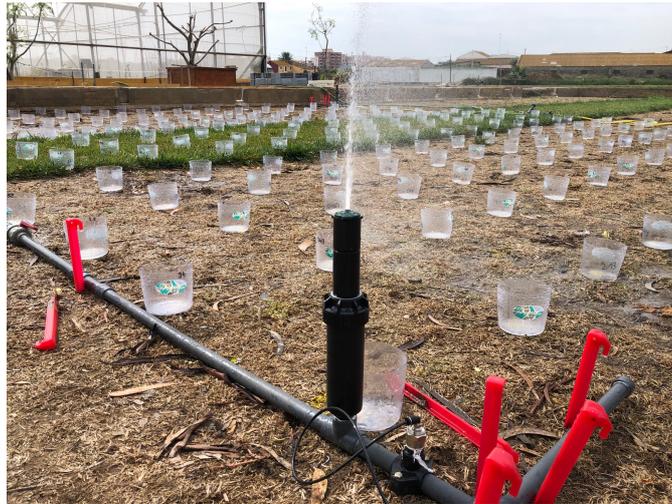


Figura 23. Ensayo de la propuesta 2.

$$DU (\%) = \frac{19,89}{22,35} * 100 = 89\%$$

Ecuación 12. Uniformidad de Distribución en el ensayo de la propuesta 2.

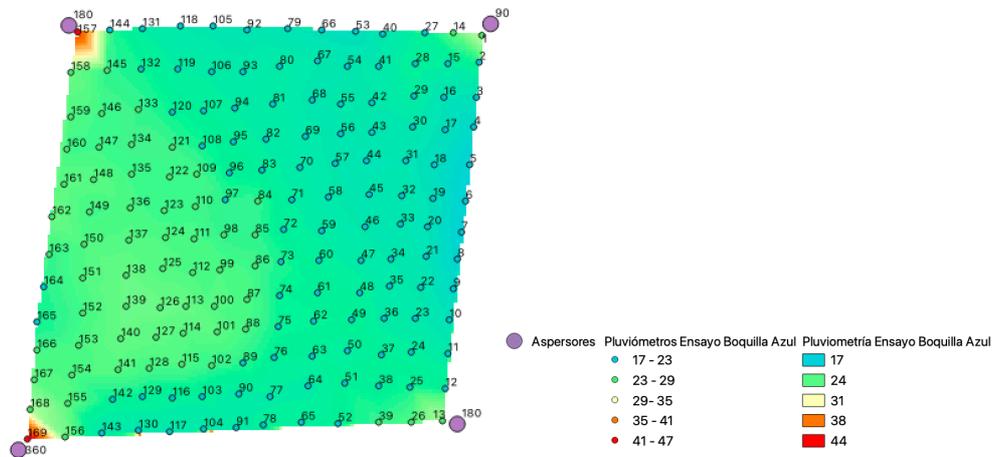


Figura 24. Pluviometría del ensayo boquilla azul.

4.5.3.- Mejoras en la parcela 3

La propuesta de mejora que se pretende implantar en la parcela 3 no implican la remodelación o el cambio completo de la instalación, ya que la instalación de la parcela 3 es la más reciente. Anteriormente estaba dividida únicamente en 2 sectores y se realizó en 2010 un cambio de la instalación pasando a tener 4 sectores, por lo que no se considera que necesite un gran cambio como ese el caso de la parcela 1 y 2. Una ventaja de esta parcela es que partimos de que todos sus aspersores son del mismo modelo Rain Bird 5004+PC30. Sin embargo, no quita se pueda mejorar su uniformidad de distribución del agua de riego ya que se deben ajustar ángulos, corregir la inclinación de los aspersores, realizar una limpieza de los aspersores ya que algunos presentan obturaciones, además de tener boquillas diferentes que arrojaran caudales distintos.

Se propone mejorar la uniformidad de toda la parcela, pero sobre todo en los extremos que es donde la uniformidad baja, ya que en la parte central la uniformidad de riego es del 77%.

Las mejoras que se llevaron a cabo en esta parcela son la elevación y corrección de la inclinación de los aspersores 3.2.4, 3.3.2 y 3.3.3 para que todos tuvieran la misma altura e inclinación. Se corregirá la inclinación de la del aspersor 3.2.3, además se sospecha que a este aspersor no le llegaba una presión adecuada o esta obturado por lo que el alcance era inferior al de los demás por lo que se le cambio la boquilla a la del número 4.0 para compensar esa pérdida de alcance. El aspersor 3.1.1 en el momento de la mejora y no en el de la caracterización estaba totalmente obturado y se decidió cambiar por un aspersor nuevo del mismo modelo y con la misma boquilla. El ajuste de los ángulos de los aspersores también se realizó en la parcela 3. Se colocaron dos arquetas con una llave de paso y un codo junto con los aspersores 3.1.3 y 3.3.3 que se corresponden con el inicio de la parcela y con el final del sector tres, con el fin de poder conectar en cada uno manómetros o algún dispositivo para tener un registro de la presión que llega a estos puntos.

4.6.- Valoración económica

Para poder llevar a cabo una valoración económica entre las diferentes propuestas de mejoras ofrecidas se realiza un presupuesto de cada una de las propuestas, siguiendo los valores económicos de empresas representativas del sector. Además, también se presupuestan las mejoras y cambios realizados en la Parcela 3, la cual no está incluida ni en la propuesta 1 ni en la propuesta dos (Tabla 18 a Tabla 20).

Tabla 18. Presupuesto de la propuesta 1.

Propuesta 1						
	Gastos	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio (€)	Total (€)
Parcela 1		Aspersor	15	ud.	11,18	167,7
		Arquetas	2	ud.	7,4	14,8
	Materiales	Llaves de paso	2	ud.	13,17	26,34
		Codos	15	ud.	0,59	8,85
	Mano de obra	Boquillas	1	pack	5	5
		Fontanero	14	h	13	182
Gasto (€)				404,69		
	Gastos	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio (€)	Total (€)
Parcela 2		Aspersor	16	ud.	11,18	178,88
		Arquetas	2	ud.	7,4	14,8
	Materiales	Llaves de paso	2	ud.	13,17	26,34
		Boquillas	1	pack	5	5
	Mano de obra	Codos	16	ud.	0,59	9,44
		Fontanero	14	h	13	182
Gasto (€)				416,46		
GASTO TOTAL (€)			821,15			

Tabla 19. Presupuesto de la propuesta 2.

Propuesta 2						
	Gastos	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio (€)	Total (€)
Cabezal		Programador	1	unidad	92,08	92,08
	Materiales	Tubería PE BD Ø63 PN10	50	metros	11,38	569
	Mano de obra	Fontanero	10	horas	13	130
	Gasto (€)				791,08	
Parcela 1		Tubería PE BD Ø40 PN6	130	m	4,47	581,1
	Materiales	Electroválvulas	3	ud.	19,7	59,1
		Aspersor	15	ud.	11,18	167,7
		Arquetas	2	ud.	7,4	14,8
		Llaves de paso	2	ud.	13,17	26,34
	Mano de obra	Codos	15	ud.	0,59	8,85
		Fontanero	42	h	13	546
		Gasto (€)				1403,89
Parcela 2		Tubería PE BD Ø40 PN6	140	m	4,47	625,8
	Materiales	Electroválvulas	3	ud.	19,7	59,1
		Aspersor	16	ud.	11,18	178,88
		Arquetas	2	ud.	7,4	14,8
		Llaves de paso	2	ud.	13,17	26,34
		Codos	16	ud.	0,59	9,44
	Mano de obra	Fontanero	42	h	13	546
	Gasto (€)				1460,36	
GASTO TOTAL (€)			3655,33			

Tabla 20. Presupuesto de la parcela 3.

Mejoras en la parcela 3						
	Gastos	Concepto	Cantidad	Unidad	Precio (€)	Total (€)
Parcela 3	Materiales	Aspersor	1	ud.	11,18	11,18
		Arquetas	2	ud.	7,4	14,8
		Llaves de paso	2	ud.	13,17	26,34
		Codos	2	ud.	0,59	1,18
	Mano de obra	Fontanero	8	h	13	104
	Gasto (€)				157,5	

4.7.- Estado final de las parcelas

Se toma la decisión de instalar la propuesta 1 en las parcelas 1 y 2 por el hecho de que la propuesta 1 tienen un valor económico más reducido que el de la propuesta 2. Otro motivo por el que se ha seleccionado la propuesta 1 es por el tiempo o la rapidez con la que se puede instalar en comparación a la propuesta 2. Siendo este motivo de gran importancia para las especies cespitosas allí implantadas, por el hecho de que el cambio de la instalación de la propuesta 1 se empieza y acaba en el mes de junio. A partir de junio (inclusive) vienen los meses con mayores valores de evapotranspiración con lo cual necesitamos que la instalación de riego funcione lo mejor posible para que las especies cespitosas no se vean afectadas como ya ha ocurrido en años posteriores. Se implementan también las mejoras propuestas para la parcela 3. Tras las modificaciones de las instalaciones se vuelven a efectuar los análisis de uniformidad de distribución del agua de riego.

4.7.1.- Estado final de la parcela 1

El estado final de la parcela 1 tras haber instalado la propuesta 1 de mejora se corrobora con un ensayo de uniformidad de distribución del agua de riego (Figura 25). El tiempo de riego y la colocación de los pluviómetros en la parcela 1 fue la misma que en el ensayo del estado inicial de la parcela, para así poder comprar los resultados con el ensayo inicial y ver realmente la mejora en el sistema de riego. Además, se colocaron dos manómetros digitales para medir la presión uno en cada sector de riego. En el sector 2 se colocó en el aspersor 1.2.4 que es el que se encuentra más alejado del cabezal, la presión medida al inicio del ensayo fue de 341 kPa y al final de 339 kPa. Mientras que en el sector 3 se colocó el manómetro en el aspersor 1.3.4 siendo este también el aspersor más alejado del cabezal de dicho sector, en el inicio del riego la presión medida fue de 264 kPa y al final 261 kPa. La medición de la presión pudo realizarse gracias a las tomas que se colocaron en cada uno de los aspersores como se hace referencia en la propuesta de mejora 1 (Figura 26).



Figura 25. Ensayo Uniformidad de Distribución de la parcela 1.



Figura 26. Toma para medir presiones.

Tras el tratamiento de los datos de los 175 pluviómetros que se distribuyeron en la parcela se obtuvo una uniformidad de riego del 80% (Ecuación 13). En la Figura 27 se puede ver que aunque la uniformidad haya sido de 80%, la cual es una uniformidad muy elevada siguen haciendo zonas en las que la pluviometría es mayor y en otras donde es menor.

$$DU (\%) = \frac{21,57}{26,99} * 100 = 80\%$$

Ecuación 13. Uniformidad de Distribución final de la parcela 1.

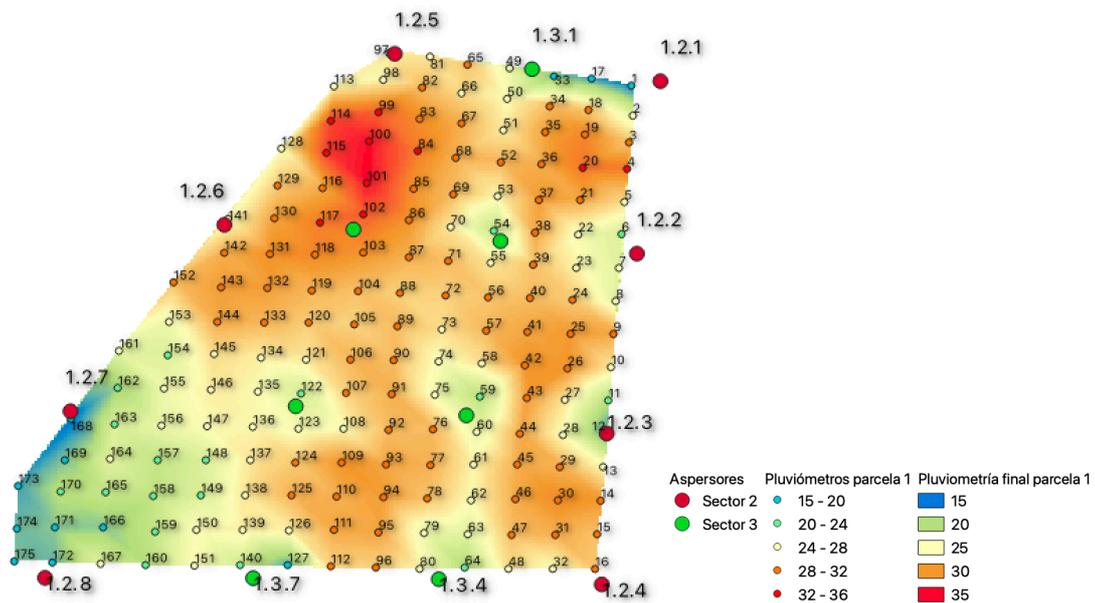


Figura 27. Pluviometría final de la parcela 1

4.7.2.- Estado final de la parcela 2

En la parcela 2 se implantó la propuesta 1 y tras su instalación se comprobó la mejora que se había conseguido realizando de nuevo el ensayo de uniformidad de distribución, en el que la distribución de los pluviómetros fue exactamente la misma que en el ensayo para conocer la uniformidad de distribución inicial de la parcela, al igual que el tiempo de riego (Figura 28). Se

colocó un medidor de presión (manómetro digital) en cada sector de riego uno de ellos en el aspersor 2.1.4 (sector 1) del cual se obtuvo que la presión era estable en 235 kPa, sin embargo, la presión que le llegaba al aspersor 2.4.4 (sector 4) no era estable, al inicio del riego la presión estaba a 276 kPa y al final a 273kPa. Esa diferencia de presión entre un aspersor y otro podría ser la causa de no haber conseguido llegar a la uniformidad deseada o al menos a la que si se obtuvo en el ensayo de comprobación de la propuesta de mejora 1.



Figura 28. Ensayo Uniformidad de Distribución de la parcela 2.

El resultado obtenido de esta parcela fue de un 74% (Ecuación 14) de uniformidad de distribución del agua de riego sobre la superficie de dicha parcela. Se puede apreciar que la uniformidad de la parcela es superior de a la uniformidad de la que se partía, sin embargo, se ve claro (Figura 29) que en el pluviómetro número 70 la pluviometría era mucho mayor que en los demás pluviómetros y esto se debe a que la posición de dicho pluviómetro era demasiado próxima a un aspersor de 360°, con lo que se puede certificar que en la superficie cercana que rodea a los aspersores la pluviometría es superior con respecto a la pluviometría del resto de la superficie de la parcela.

$$DU (\%) = \frac{11,17}{15,07} * 100 = 74\%$$

Ecuación 14. Uniformidad de Distribución final de la parcela 2.

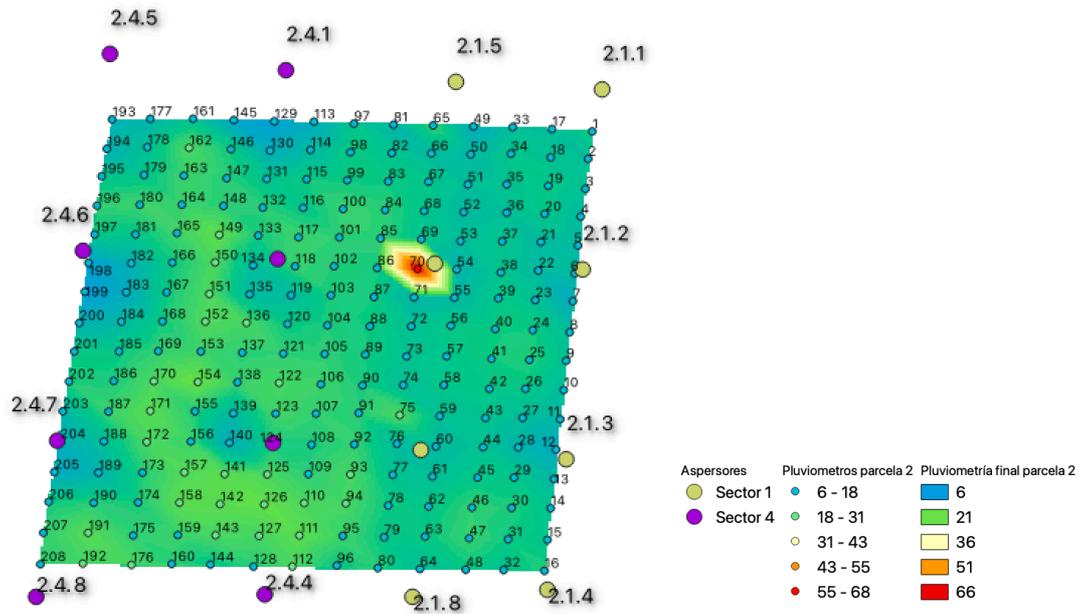


Figura 29. Pluviometría final de la parcela 2.

4.7.3.- Estado final de la parcela 3

Con los cambios realizados en la parcela 3 mencionados en el apartado de propuesta de mejora, se vuelve a realizar el ensayo de uniformidad de distribución siguiendo el que se realizó previo a la mejora, es decir, con la misma colocación de los pluviómetros, la separación entre ellos y el mismo tiempo de riego (Figura 30). De igual manera que en los otros ensayos de comprobación del estado final de las parcelas se colocaron medidores de presión para tener datos de presión a la salida de los aspersores. Se instalaron dos manómetros el primero en el sector 1 en el aspersor 3.1.3 del cual pudimos obtener unos datos de presión de 222 kPa estables a lo largo de todo el riego. En el sector 3 en el aspersor 3.3.3 se situó el otro manómetro el cual midió una presión al inicio de 262 kPa y al final del riego de 265 kPa a lo largo de los 30 minutos de riego.



Figura 30. Ensayo de Uniformidad de Distribución de la parcela 3.

Tras la realización de los cálculos se obtuvo una uniformidad de riego del 68% (Ecuación 15). En la Figura 31 podemos ver claramente que la pluviometría sigue siendo mayor en el sector 1 y en

el sector 4, pero mejorando la uniformidad que representa a toda la parcela. Sin embargo, en la parte central de la parcela la uniformidad se quedó con el mismo valor de uniformidad de distribución del agua que en estado inicial de las parcelas, un 77% (Ecuación 16).

$$DU (\%) = \frac{9,96}{14,56} * 100 = 68\%$$

Ecuación 15. Uniformidad de Distribución final de la parcela 3.

$$DU (\%) = \frac{10,81}{14,03} * 100 = 77\%$$

Ecuación 16. Uniformidad de Distribución final en la zona central de la parcela 3.

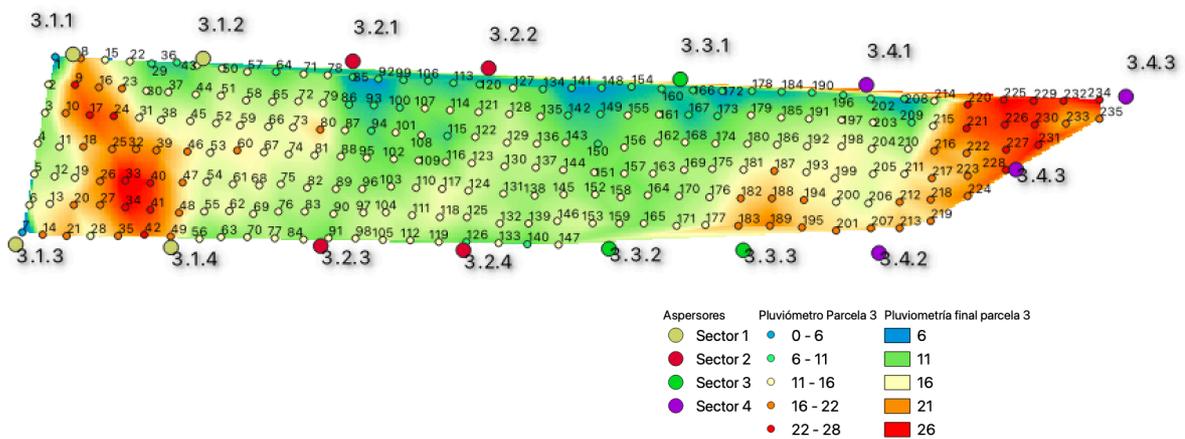


Figura 31. Pluviometría final de la parcela 3.

4.7.4.- Resumen estado final de las parcelas

Tras la realización de los ensayos de uniformidad se llegan a los datos representados en la Tabla 21, en la que se concluye que todas las parcelas pertenecientes a este trabajo han aumentado la uniformidad de distribución del agua de riego.

Tabla 21. Resumen del estado final DU.

Parcela	DU (%)	Clasificación
1	80	Muy bueno
2	74	Justo
3	68	Justo

4.8.- Conclusiones

En resumen, tras la realización del inventario, caracterización y ensayos de la uniformidad inicial de la distribución del agua de riego en toda la superficie de cada una de las parcelas se corrobora que el sistema de riego no funciona adecuadamente, por lo que no es capaz de aportar el agua que necesitan las especies cespitosas allí implantadas de manera uniforme, confirmando así el motivo por el cual años anteriores en los meses de máxima evapotranspiración se veían perjudicadas. Tras la implantación de las propuestas de mejora y la realización de nuevos ensayos de uniformidad se concluye una mejora en las tres parcelas en las que se realiza.

En la parcela 1 la uniformidad aumentó de un 63% a un 80%, es decir, la uniformidad del riego aumento en un 17% partiendo de una uniformidad de distribución que se considera pobre a una uniformidad considerada como muy buena.

En la parcela 2 la uniformidad de distribución aumento en un 15%, pasando de 59% a 74% considerándose una mejora de uniformidad de pobre a buena.

En la parcela 3 la mejora no fue como en las parcelas anteriores ya que no se cambiaron elementos como tal de la instalación, sino que se probó con la mejora de ángulos e inclinaciones de los aspersores, entre otras y por ello la mejora en cuanto a uniformidad no fue tan llamativa como en las otras parcelas ya que la uniformidad de distribución aumento en un 7%, de un 61% de uniformidad antes de la mejora y un 68% tras la mejora. Pero si tenemos en cuenta la uniformidad de la zona de la parcela 3 en la que se encuentran las especies cespitosas (zona central), la uniformidad de distribución ha sido de un 77% tanto en el estado inicial como en el final, siendo esta una uniformidad buena.

Con los resultados obtenidos se podrían plantear otros problemas de funcionamiento en dicha instalación y con ello diferentes mejoras. Uno de los problemas que se presenta es la obturación de los aspersores, una mejora para esto podría ser la colocación de un equipo de filtrado o realizar una limpieza anual de todos los aspersores de la instalación. Otro problema podrían ser las diferencias de presión obtenidas en sectores de una misma parcela por lo que sería conveniente realizar un estudio de presiones para conocer más en profundidad el posible problema. También se debería comprobar la programación del riego por si esto tuviera algo que ver con los problemas sucedidos en los años anteriores.

5.- Bibliografía

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M., 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Ed. FAO. Roma. 322 pp.
- CIRERA, J., 2010. *El césped y su cultivo. Guía técnica*. Ed. Semillas Fito S.A.U. Lleida. 205 pp.
- DIAMOND, J., 2008. *Armas, gérmenes y acero*. Ed. Random House Mondadori S.A. Barcelona. 538 pp.
- GALCON, 2021. Programadores de riego. Visto el 10 de junio de 2021. <https://es.galconc.com/irrigation-controllers/>
- HESSAYON, D.G., 1986. *The Lawn Expert*. Ed. Blume, S.A. Barcelona. 104 pp.
- LLORÉNS, J., 2006. Guía para determinar la uniformidad de riego en el Green de un campo de golf. *Greenkeepers*, 42-47 pp.
- MAROTO, J.V., 2014. *Historia de la agronomía*. 2ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 442 pp.
- MERINO, D. y ANSORENA, J., 1998, *Césped deportivo*. Ed. Mudi-Prensa. Madrid. 386 pp.
- MEYER y col., 1985. Irrigation of turfgrass below replacement of evapotranspiration as a means of water conservation: determining crop coefficient of turfgrasses. Ed. F. Lemaire, Proc. 5^o Intl. Turfgrass Research Conf. Avignon, Francia. 357-364 pp.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2021. *Anuario de estadística del MAPA (2019)*, visto el 20 de mayo de 2021. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2019/default.aspx?parte=3&capitulo=07>
- PASCUAL, B., 2018. *Regs de gravetat i de pressió*. 3ª Ed. Universitat Politècnica de València. Valencia. 386pp.
- RAIN BIRD, 2021. Aspersores. Visto el 12 de junio de 2021. <https://www.rainbird.com/es/products/5000-series>
- SAER ELETTRPMPE, 2021. Bombas. Visto el 9 de junio de 2021. <https://www.saerelettropompe.com/es/productos/superficie/50-hz/alta-presion/op-bombas-multietapas-horizontales>
- SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA EL RIEGO, 2021. Datos meteorológicos. Visto el 2 de mayo de 2021. <https://eportal.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>
- TUBERPLAS, 2021. Tarifa de precios. Visto el 17 de junio de 2021. <http://tuberplas.com/pdf/catalogo/INDCATWEB.pdf>
- VISOR SIGPAC V 4.5,2021, Coordenadas UTM. Visto el 6 de junio de 2021. <https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>

- ZOLDOSKE, D.F. 2003. Improving Golf Course Uniformity: A California Case Study. CATI. Publicación N°: 030901. Center for Irrigation Technology, Fresno, CA. 19 pp.