

JORNADA DE EVALUACIÓN DE LA PRIMERA CAMPAÑA DE RIEGO

En el siguiente documento se lleva a cabo la presentación de los resultados de la primera campaña de riego efectuada en el proyecto GesRiego. Además, en este documento se explica todo el ensayo realizado cuya finalidad fue evaluar la utilidad de sensores de humedad para determinar si una gestión del riego en maíz asociada a la información que aportaban dichas sondas tenía efectos en la productividad final de la parcela en comparación a la gestión del riego tradicional que se lleva a cabo normalmente en la zona de estudio. Para ello se determinaron los siguientes objetivos:

- Realizar un seguimiento de los niveles de humedad en el suelo.
- Realizar un seguimiento del desarrollo del cultivo.
- Evaluar si existen diferencias entre los distintos tratamientos analizados.
- Realizar una valoración de si las sondas resultan de utilidad en la gestión del riego del cultivo.

1. Localización del estudio

La zona de estudio de este trabajo se sitúa en la comarca V de Navarra, concretamente en el municipio de Artajona, a una distancia de 25 kilómetros al sur de Pamplona. La parcela en la que se llevó a cabo la experimentación se encuentra a una distancia de 2,5 km al suroeste de la localidad anteriormente mencionada y ésta es propiedad de la cooperativa de Artajona.



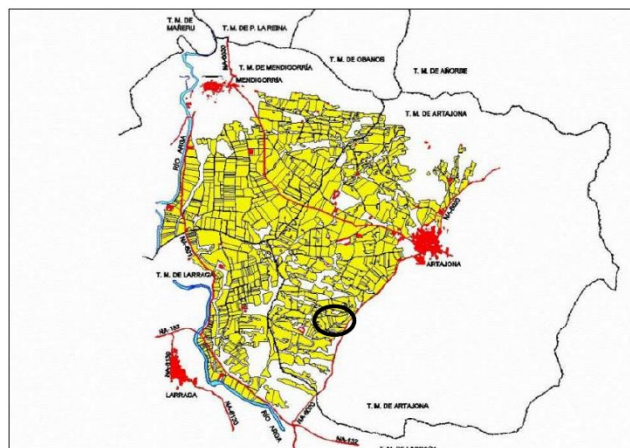
Las parcelas de interés, como se ha dicho anteriormente, se encuentran ubicadas en la localidad de Artajona, polígono 12, parcelas 524, 525, 527 y 528, conformando una superficie de 10,16 hectáreas (ha) que están catalogadas en su totalidad como tierra arable.

En concreto, estas parcelas están destinadas a la producción de cultivos herbáceos. Toda la parcela cuenta con una instalación de riego por aspersión, lo que garantiza el suministro de agua a la planta incluso en épocas en las que la falta de lluvia puede suponer un problema para los cultivos presentes en las parcelas.



Dichas parcelas son propiedad de la Cooperativa de Artajona, aunque las labores que se realizan las lleva a cabo un agricultor de la zona. En cambio, el riego de la parcela lo lleva una persona que está al cargo de la gestión de los riegos de las parcelas de la cooperativa.

Los hidrantes presentes en la parcela están alimentados por agua proveniente del Canal de Navarra. La zona donde se va llevar a cabo el estudio, como ya se ha dicho anteriormente, se encuentra en el sector II.2, correspondiente a los términos de Artajona, Larraga y Mendigorriá.



2. Diseño experimental

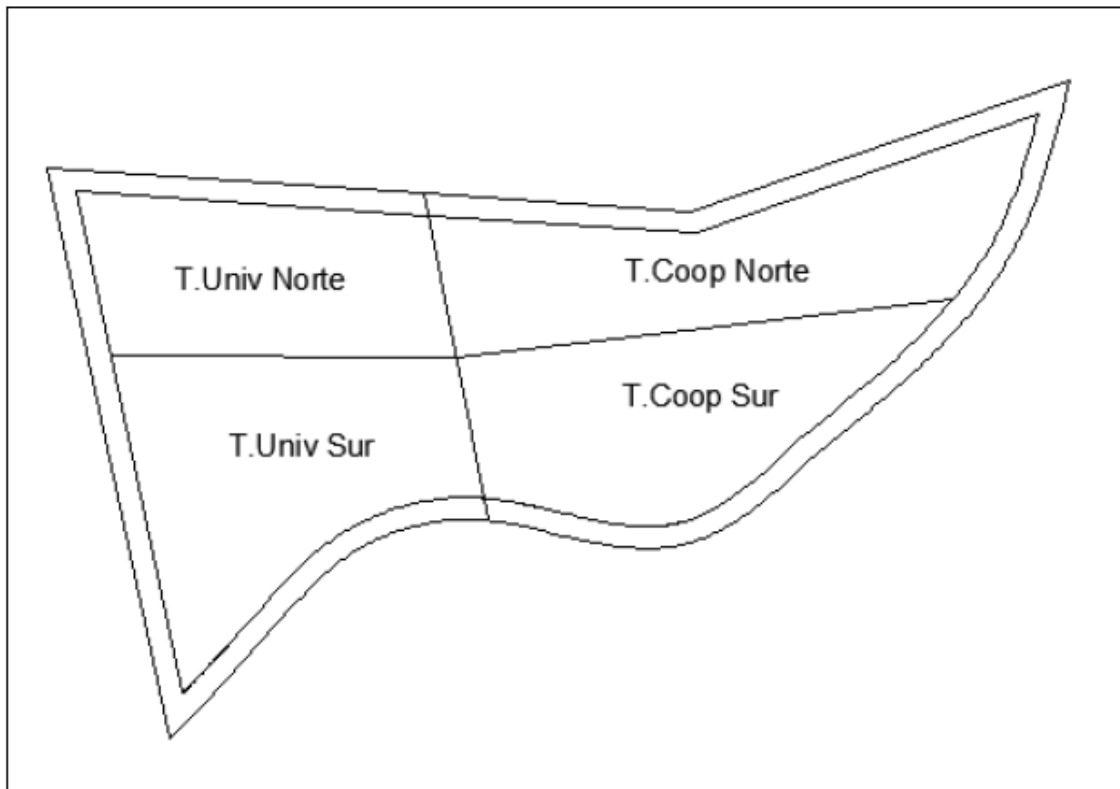
El tipo de diseño que siguió este trabajo es del tipo parcelas divididas o split plot, dónde hay un único factor y dos repeticiones. Estos diseños son usados cuando alguna de las características de un factor de la experimentación es más difícil de modificar que otras, lo que condicionaría el desarrollo de la experimentación. Son muy útiles ya que permiten realizar varias repeticiones de un tratamiento introduciendo varios niveles de aleatoriedad. Se caracterizan por ser muy comunes en el ámbito de los estudios agrícolas.

En este caso se ha dividido la parcela en dos zonas que se van a caracterizar cada una de ellas por tener una gestión del riego, o tratamiento, distintos. Por ello, para diferenciarlas se denominará a la zona gestionada por la cooperativa T.Coop, que se correspondió con la zona este de la parcela y con una superficie de 5,3 ha. A la zona gestionada por la universidad se le denominó T.Univ, que fue la zona oeste de dicha parcela y se correspondía con una superficie de 4,8 ha. Además, dentro de la división que se hace se dividieron los tratamientos para obtener dos repeticiones y así poder validar la información obtenida en ambos tratamientos.

Para poder determinar los niveles de humedad en cada una de las repeticiones de los distintos tratamientos se colocaron sondas de capacitancia capaces de determinar la humedad volumétrica del suelo contenido en la zona de influencia de los sensores.

La ventaja que presenta esta parcela es que al tener dos hidrantes, ambas zonas disponen del suyo propio, lo que posibilitó la determinación de la cantidad de agua consumida por los riegos para cada uno de los tratamientos.

Las sondas colocadas en la parte de la T.Univ sirvieron para gestionar el riego en base a los valores de humedad que presentó el suelo en cada momento y las sondas colocadas en el tratamiento T.Coop sirvieron para evaluar el nivel de humedad del suelo y así poder conocer la evolución de la humedad de dicho tratamiento a lo largo de la experimentación.



3. Material vegetal

La variedad de maíz sembrada es la Waxy LG 3540, ésta posee un almidón ramificado completamente, constituido 100% por amilopectina, mientras que un almidón clásico está constituido por un 70-75% de amilopectina y un 25-30% de amilosa, lo que le otorga una estructura más dúctil y fluida, a la par que viscosa y estable. Además, esta variedad es capaz de mantener sus propiedades estables incluso después de someterlo a procesos de congelación y descongelación (*Maïsadour Semences*).

Dicha variedad tiene un ciclo FAO 500, lo que quiere decir que requiere 2.001 a 2.075 grados día para alcanzar la madurez fisiológica, lo que hace que su desarrollo tenga una duración aproximada de unos seis meses. Estos grados día son la acumulación de temperaturas medias diarias que se encuentran por encima de 6 y por debajo de 30 grados.

4. Estudio de la zona

La zona tiene un clima del tipo mediterráneo templando seco según la clasificación de Papadakis, según el estudio agroclimático de Navarra para la estación de Artajona.

Datos de Papadakis	
Número Térmico	8 (Algodón)
Tipo de Invierno	E De avena
Tipo de Verano	8V Algodón (g)
Régimen Hídrico	me Mediterráneo Seco
Grupo Climático	Estepario
Fórmula Climática Breve	E8Vwh9

El tener un clima mediterráneo templado seco quiere decir que nos encontramos ante una un clima con veranos secos y cálidos, junto con un régimen hídrico mediterráneo seco. Además, tiene un verano del tipo G o de algodón, ello lo clasifica cómo un clima con veranos lo suficientemente cálidos y con una duración de temperaturas adecuadas los suficientemente prolongadas en el tiempo como para cultivar algodón. Al ser un tipo de verano más cálido que el mínimo necesario para poder llevar a cabo el cultivo del maíz, se considera que la zona es apta para el cultivo de dicha especie vegetal.

La pluviometría de la zona fue un factor de cierta importancia, ya que determinó los momentos de riego y labores que se realizaron en la parcela. Climatológicamente hablando, la parcela se encuentra en una zona con veranos secos, lo que implica una pluviometría escasa durante el periodo de tiempo que el cultivo está implantado en la parcela.

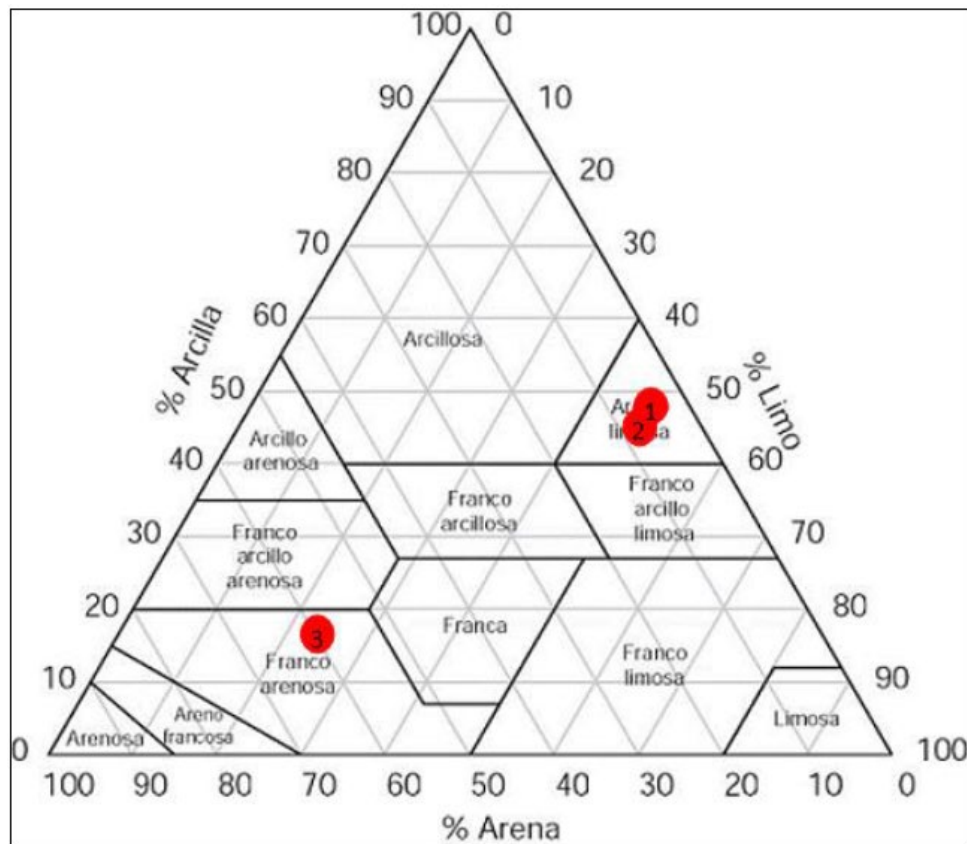
5. Clase textural del suelo

Para poder establecer un adecuado manejo del riego, lo principal es conocer la relación que existe entre el agua y el tipo de suelo con el que contamos, ya que la textura del suelo va a condicionar la movilidad del agua y la capacidad de almacenamiento en éste.

Por ello lo primero será identificar la textura del suelo que hay en la parcela, con ese fin se ha tomado un análisis de suelos que se había hecho con anterioridad. Éste tenía en cuenta fracciones de suelo cada 30 cm hasta una profundidad de 90 cm.

En el siguiente diagrama de texturas se puede observar que las secciones de 0 a 60 centímetros tienen una textura arcillo limosa. También hay un indicador en la zona correspondiente a la textura franco arenosa, pero esta es la correspondiente a la franja

presente entre los 60 y los 90 centímetros de profundidad, por lo que para el caso de estudio resulta irrelevante.



Aunque se ha determinado la textura de las tres secciones de suelo, únicamente resultaron de interés para el estudio las dos primeras, ya que la profundidad máxima con la que se va a trabajar son 50 cm.

6. Instrumentos de medida

Para poder conocer en todo momento la humedad presente en el suelo se han utilizado una serie de sondas de capacitancia (o también denominadas de Reflectometría en el Dominio de Frecuencias, FDR) que permiten medir de forma continua el parámetro de la humedad del suelo mediante la medición de la conductividad eléctrica que posee el propio suelo en cada momento.

6.1. Funcionamiento de las sondas de capacitancia

Las sondas de capacitancia son elementos que permiten determinar el contenido de humedad del suelo de manera indirecta y no destructiva. Estas sondas estiman la variación de la conductividad eléctrica del suelo en cada momento y la relacionan con la variación de la cantidad de agua presente en los alrededores de la sonda en esos mismos instantes.

Para lograr dicha relación, la sonda hace uso de la ecuación de transformación dónde la sonda transforma las lecturas de conductividad eléctrica a valores de humedad volumétrica. La ecuación habitualmente utilizada es la siguiente:

$$\theta_v = a SF^b + c$$

Dónde:

a , b y c son parámetros de ajuste que varían en base al tipo de suelo en el que se instala la sonda.

La parte crítica en el uso de estas sondas es la instalación, ya que una mala instalación puede propiciar errores de lectura por parte de la sonda, o pueden producirse eventos durante la instalación que compacten el suelo, modificando así la densidad del suelo y haciendo inservible la calibración realizada para la sonda en el tipo de suelo donde se iba instalar.

6.2. Sondas instaladas

En la parcela se han instalado dos tipos de sondas, las Drill&Drop y las EasyAG, ambas de la casa comercial Sentek®. Estas sondas permiten tener una lectura de humedad del suelo de forma continua, por lo que permiten conocer el estado de humedad del suelo en todo momento. Aunque las sondas son distintos modelos, ambas son capaces de realizar las mediciones de humedad de igual manera.

Las sondas instaladas en T.Coop son las correspondientes al modelo EasyAG®. Dicho modelo alcanza una profundidad de 50 cm con sensores cada 10 cm, lo que permite analizar el perfil de humedad desde la superficie hasta la profundidad de enraizamiento esperada.



En cambio, las sondas presentes en la parte de T.Univ son las que se corresponden con el modelo Drill&Drop®. Este modelo de sonda tiene una longitud de 60 cm con sensores dispuestos cada 10 cm, al igual que la anterior. El tener un sensor a una profundidad inferior nos da la posibilidad de analizar si está circulando el agua hacia las partes inferiores del suelo, por lo que los riegos podrían no estar siendo todo lo eficientes que se desearía. En caso de necesitarlo, estas sondas cuentan además con sensores de temperatura.



Las sondas fueron instaladas a pocos centímetros de las hileras para que así el sistema radicular del cultivo las rodeara lo antes posible. Una vez las sondas fueron instaladas, se procedió a configurarlas y a conectarlas a los dataloggers.

7. Gestión del riego

En T.Coop, la persona designada para llevar a cabo el riego de la parcela se valió de su propia experiencia y de las recomendaciones que realiza el SAR (INTIA). En cambio, en T.Univ se trabajó con la información que aportaban diariamente las sondas, concretamente se determinó la fracción del agua en el suelo denominada nivel de agotamiento permisible (NAP).

Para poder gestionar el riego de manera adecuada se estableció el rango de gestión en

el que debía situarse el nivel de humedad del suelo en todo momento. El límite superior lo marcó la capacidad de campo (CC), dicho valor representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, o sea, la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente.

El valor superior, como se ha dicho, hace referencia a los valores de CC, éstos se tomaron del documento FAO 56 y se compararon con los valores de humedad reflejados por las sondas para comprobar su veracidad. Para poder obtener estos valores se realizó un riego excedentario para asegurar que en dicho momento el suelo se encontraba en CC. En cuanto al límite inferior, éste es determinado el punto de marchitez (PM), tomando como referencia los valores indicados en el documento anteriormente nombrado. Este valor indica el nivel de humedad a partir del cual las plantas ya no son capaces de extraerla del suelo.

Por último se indicó el NAP. Éste es el límite que se va a marcar como valor mínimo del rango de humedad en el que debe estar el suelo en todo momento. Este término hace referencia a la cantidad de agua que hay presente en el suelo aprovechable fácilmente por el cultivo.

El nivel de agotamiento permisible, como ya se ha dicho es la fracción de agua disponible que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico. Habitualmente este valor está considerado entre el 50 y 60% del agua disponible.

Por lo tanto, conociendo los valores de capacidad de campo y de punto de marchitez para el tipo de suelo presente en la parcela de estudio, es posible determinar la cantidad de agua disponible para dicho suelo, y de allí obtener el valor del NAP aplicando un coeficiente del 55%:

$$\textit{Agua disponible} = CC - PM$$

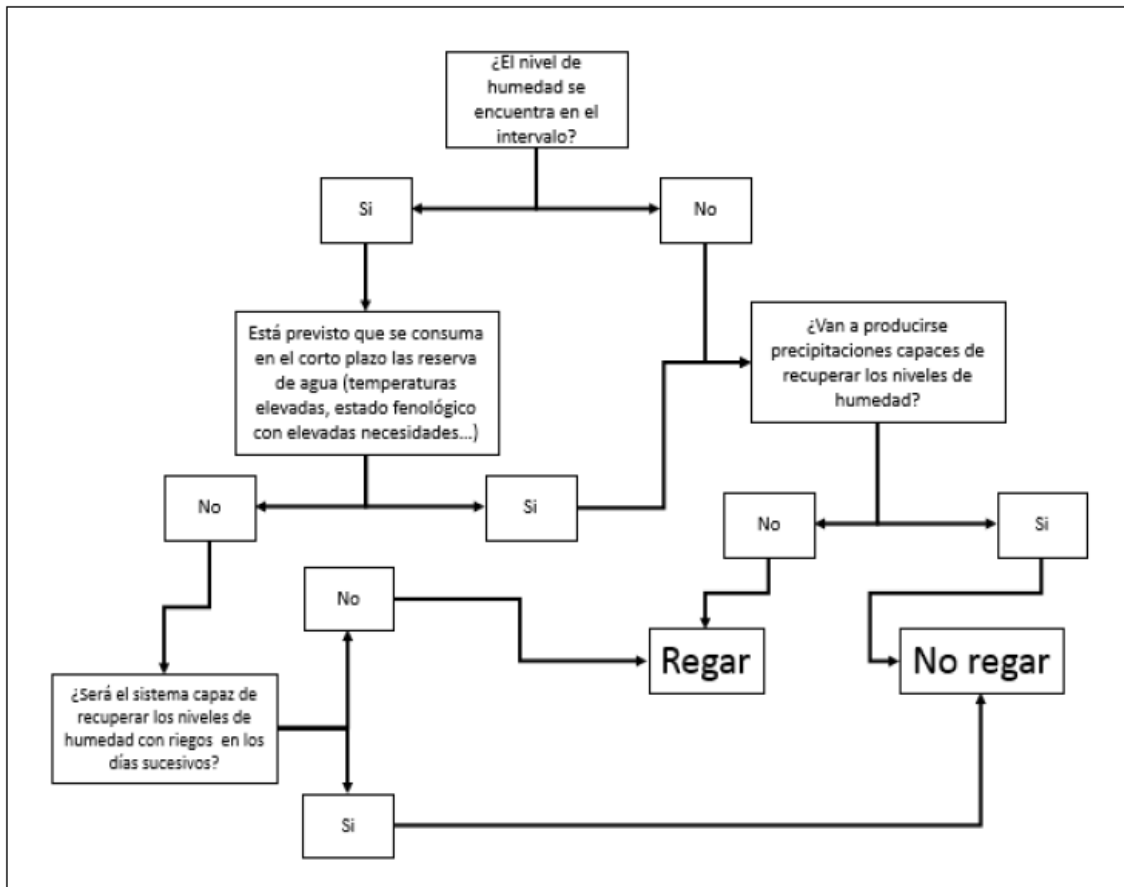
$$NAP = \textit{Agua disponible} \times 0,55$$

Por último, para determinar el límite inferior del intervalo de humedad en el que ha de intentar mantener los niveles de humedad del suelo, se restará el valor del NAP al de CC:

$$\textit{Límite inferior del intervalo de humedad} = CC - NAP$$

8. Criterios de riego

Se realizó el siguiente diagrama para la toma de decisiones diarias del riego.



9. Valores de comparación

Con el fin de valorar si se ha realizado una buena gestión del riego, se han tomado los datos de los riegos realizados en la zona de estudio y se han comparado con otros valores.

9.1.Recomendaciones SAR

Semanalmente, el servicio de asesoramiento al regante realiza una serie de recomendaciones en base a las precipitaciones de la semana y del cálculo de la ETc que realiza el propio INTIA. Por ello se comprobó si los riegos que se realizaron en base a la información que proporcionaban las sondas iban en sintonía a las recomendaciones que realizaban o si diferían de estas.

9.2.Riegos de T. Coop

Otro de los valores con el que comparar los riegos aplicados, son las dosis de riego que realiza en T.Coop. Las dosis de riego son determinadas por la persona encargada de gestionar el riego de las parcelas de la cooperativa. La obtención de los valores de las

dosis de riego permitió evaluar la metodología de riego que sigue la cooperativa en relación a lo recomendado por INTIA y a la gestión realizada en el T.Univ.

Los valores de referencia que toma el encargado de realizar los riegos en T.Coop son las recomendaciones que realiza el SAR de INTIA junto con el criterio propio, fruto de la experiencia adquirida con el paso de los años.

10. Recolección

Para llevar a cabo la cosecha se tomaron 90 mazorcas en cada una de las repeticiones de los tratamientos. Concretamente, en cada muestreo se realizaron 3 repeticiones en las que se tomaron 30 mazorcas, y dichas repeticiones que realizaron en las zonas circundantes, cuatro hileras por encima y por debajo con respecto a la hilera más próxima al punto de instalación de las sondas, obteniendo así un total de 360 mazorcas.

Una vez en la parcela se recolectaron las mazorcas y éstas se colocaron en sacos de rafia para posteriormente ser trasladados a la cooperativa. Allí se desgranaron las mazorcas y se evaluaron los siguientes parámetros del cultivo con el fin de valorar la productividad de las distintas zonas de la parcela: número de granos por hilera, rendimiento, el peso de mil granos (PMG), la humedad y el peso específico (PE) de las distintas muestras.

10.1 Análisis estadístico

Para poder determinar si los resultados obtenidos presentan diferencias significativas con respecto al testigo, se realizaron una serie de análisis de la varianza. Éste, es un tipo de análisis que se utiliza cuando se quieren comparar dos o más valores medios.

11. Resultados y discusión

11.1 Determinación del almacenamiento de agua en el suelo

Inicialmente, para poder configurar los límites de las gráficas del programa de gestión, fue necesario determinar una serie de valores relacionados con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

Para determinar la CC se utilizó el concepto teórico de CC y se llevó a cabo a la práctica. Para ello se regó hasta saturación y cuando se estabilizaron los niveles de humedad se tomaron los valores indicados por las sondas para este parámetro. Posteriormente este

valor se comparó con los valores indicados en Allen *et al.* (1998) y se vio que se estaba trabajando con los valores más altos del intervalo recomendado para este parámetro.

A continuación, se muestra una tabla con los valores de Capacidad de campo para los distintos tramos de profundidad (mm):

Profundidad (cm)	T.Univ Norte	T.Univ Sur	T.Coop Norte	T.Coop Sur
10	39	38	30	30
20	41	40	36	42,
30	41	41	40	39,
40	39	42	40	41
50	42	42	42	41

Una vez obtenidos los valores de CC lo siguiente fue determinar los valores de PM. Viendo que la tendencia del suelo para los valores de CC había sido relativamente alta, se adoptaron valores altos en el intervalo del PM determinado para este suelo:

Profundidad (cm)	T. Univ Norte	T. Univ Sur	T. Coop Norte	T. Coop Sur
10	23,0	23,0	17,0	13,0
20	27,0	25,0	22,0	28,0
30	28,0	27,0	25,0	24,0
40	26,0	29,0	25,0	28,0
50	28,0	29,0	28,0	29,0

Una vez se determinan ambos valores, CC y PM, se puede proceder a calcular el agua disponible. Este valor es la cantidad total de agua que va a estar disponible para la planta. Dicho valor resulta de calcular la diferencia de los valores anteriormente determinados (CC y PM):

Profundidad (cm)	T.Univ Norte	T.Univ Sur	T.Coop Norte	T.Coop Sur
10	19	19	12	12
20	20	19	17	20
30	20	20	19	19
40	19	20	19	20
50	21	20	20	20

Con el agua total que va a estar disponible en el suelo se procede a determinar el NAP. Este NAP es la cantidad de agua de la que la planta dispone con mayor facilidad. Como se ha determinado con anterioridad, el NAP va a ser el 55% del agua total disponible (Allen *et al.*,1998), lo que resulta:

Profundidad (cm)	T.Univ	T.Univ Sur	T.Coop Norte	T.Coop Sur
10	10	10	7	7
20	11	10	9	11
30	11	11	10	10
40	10	11	10	11
50	12	11	11	11

Para determinar el NAP en los 50 cm de suelo que se ha determinado como profundidad de exploración de las raíces, basta con sumar los valores del NAP para cada una de las fracciones de profundidad que se han establecido, todas ellas coincidentes con las profundidades a las que se encuentran los distintos sensores de las sondas. Como resultado final se obtuvieron los siguientes valores:

	T.Univ Norte	T.Univ Sur	T.Coop Norte	T.Coop Sur
NAP Total	54	54	47	50

Los valores de NAP calculados se restaron a los valores de CC que se establecieron en un principio y de esta manera se obtuvo el contenido de humedad del suelo por el que había que estar en todo momento por encima. Con lo que finalmente, los niveles de humedad que indicaban el intervalo de humedad en el que se pretendía mantener los niveles de humedad fueron:

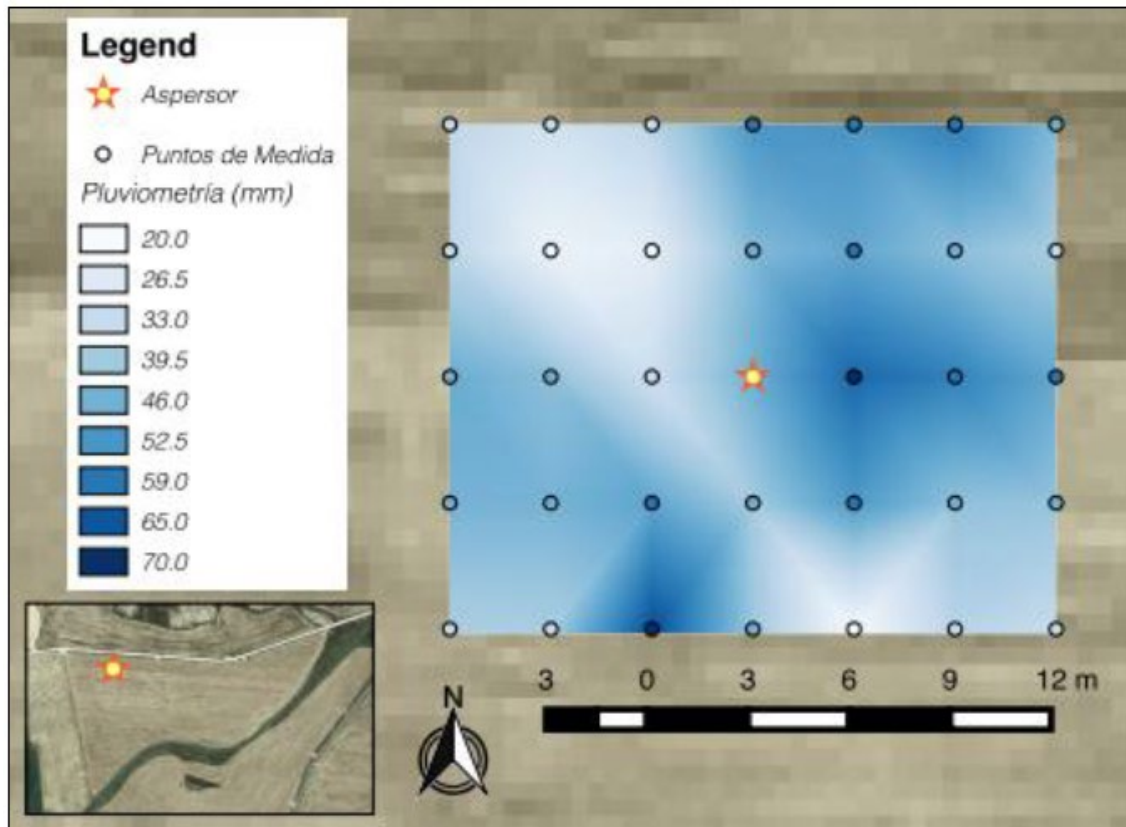
	T.Univ Norte	T.Univ Sur	T.Coop Norte	T.Coop Sur
Intervalo de humedad	202 - 148	203 - 149	188 - 140	193 - 143

11.2 Distribución espacial del riego

El agua que se aporta al cultivo viene dada por un sistema de riego por aspersión, lo habitual en este tipo de cultivo en la zona en la que nos encontramos. Dicho sistema de aspersión tienen un marco de 15x18 metros además de tener una precipitación de 6.63 l/m² por hora y una presión de trabajo de 35 metros de columna de agua (m.c.a.).

La distribución del sistema de riego se supone uniforme, aunque se llevaron a cabo una serie de comprobaciones mediante las que se evidenció que esto no era así. Se realizó un muestreo en uno de los aspersores de manera aleatoria y se pudo observar que existían variaciones en la aplicación de agua. Para ello se distribuyeron una serie de latas creando

una red que cubría el marco de aspersión y se pesaron cada una de las latas tras los riegos. Así se pudo comprobar la cantidad de agua que caía en cada punto de la zona que cubre el aspersor. Tras realizar tres comprobaciones de la lluvia se llegó al siguiente diagrama:



Cómo se puede apreciar, existen diferencias evidentes en lo que a la distribución del riego se refiere, habiendo un punto en concreto en el que se produce un pico en la cantidad de agua aplicada, además de una zona en la que la cantidad de agua aplicada también es ligeramente inferior al resto del área regada.

Aunque se realizó esta experimentación únicamente en uno de los aspersores, es posible que este caso se de en más, por lo que la gestión del riego puede ser ineficaz en la parcela si, como se ve, la distribución de la lluvia generada por los aspersores no es uniforme.

11.3 Calibración de las sondas de humedad

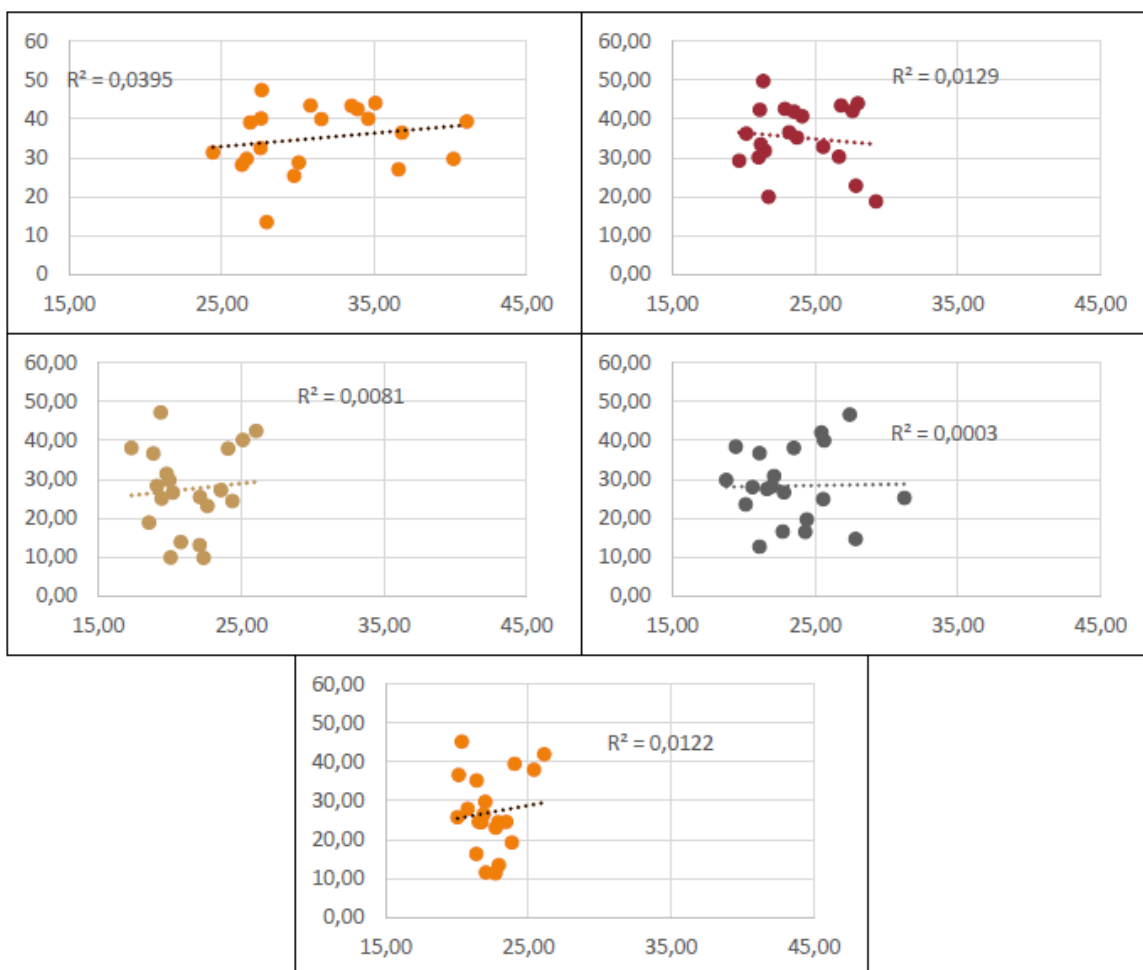
Es importante conocer si los valores que determinan las sondas son valores fiables, ya que dichos valores son los que van a determinar los momentos de riego del cultivo, por ello se han comparado los valores de la humedad real del suelo obtenida de manera experimental con los valores de humedad que otorgan las sondas.

11.3.1 Valores de humedad del suelo

Lo primero que hubo que realizar para poder evaluar si las sondas estaban llevando a cabo una buena determinación de la humedad en el suelo fue determinar la humedad real que había presente en el propio suelo durante ciertos momentos.

Por ello, se fue a campo cinco veces en las que se tomaron repetidas muestras de suelo con el que medir la humedad volumétrica a las mismas profundidades a las que las sondas tenían localizados los sensores. Con ello se obtuvieron un total de cien valores de humedad gravimétrica tras multiplicar los valores de humedad gravimétrica por la densidad aparente correspondiente a cada profundidad.

Con los datos de humedad volumétrica ya obtenidos, se procedió a compararlos con los valores de humedad volumétrica que daban cada una de las sondas para las distintas zonas:



Si se comparan los valores dados por las sondas con los datos aportados obtenidos de forma experimental se puede ver que existen ciertas discrepancias. Dichas discrepancias muestran valores de correlación bajos en todos los casos, por lo que se llegó a la conclusión de que las sondas debían de tener una calibración inadecuada.

Estas diferencias que se dan entre los valores obtenidos de forma experimental y los valores determinados por las sondas pueden ser debidos a distintas causas:

- Una incorrecta normalización del sensor
- Errores en el muestreo (p. ej: tomando muestras fuera de la esfera de influencia del sensor)
- Espacios de tiempo muy grandes entre el momento de muestreo y su pesado en el laboratorio
- Errores derivados de la medida de humedad volumétrica (derivados del pesado o de la determinación de la densidad de las distintas zonas y profundidades)
- Diferentes valores de humedad en los alrededores de la sonda
- Uso de densidades aparentes medias o aproximadas en lugar de utilizar las de cada punto en concreto
- Errores derivados del proceso de secado de las muestras (p. ej: tiempos de secado insuficientes en la estufa)
- Toma insuficiente de muestras
- Errores de identificación de las muestras
- Uso de escalas de medida diferentes en varios instrumentos de medida
- Problemas durante la instalación de las sondas (presencia de flujos preferenciales o compactación del suelo)
- Errores en los cálculos matemáticos
- Uso de datos imprecisos
- Muestras de suelo con elevado contenido de raíces

Una vez se vio que las sondas tenían una calibración que no se ajustaba adecuadamente a las características del terreno, se procedió a recalibrarlas. Para ello, ya que las sondas realizan una medición indirecta de la humedad, lo primero de todo fue conocer las lecturas de frecuencia que realiza la sonda, ya que este va a ser el dato real de lectura que realiza el instrumento.

Cuando se obtuvieron las lecturas de frecuencia, se procedió a recalcular los valores de humedad, pero esta vez variando los valores de los parámetros a, b y c para que se ajustaran lo máximo posible a los valores reales de humedad. Para ello se llevó a cabo el cálculo de los errores medios cuadráticos de las sondas en comparación a los valores de humedad determinada de forma experimental y la correlación entre dichos valores.

Finalmente, cuando se llevaron a cabo las recalibraciones de las sondas y se introdujeron los parámetros que aportaban un resultado más ajustado a la realidad del cultivo, ya fuesen resultado de minimizar el error medio cuadrático o de maximizar el coeficiente de determinación.

11.4 Gestión del riego

Aunque inicialmente la gestión del riego fue llevada de manera conjunta por parte de la persona encargada de la gestión del riego. A partir del momento en que las sondas comenzaron a reflejar cierta actividad por parte de la planta (hacia el 10 de junio), lo que implicaba un consumo de agua por parte de la planta y por lo tanto presencia de raíces en los alrededores de las sondas, la gestión del riego se llevó a cabo de forma distinta en cada una de las zonas.

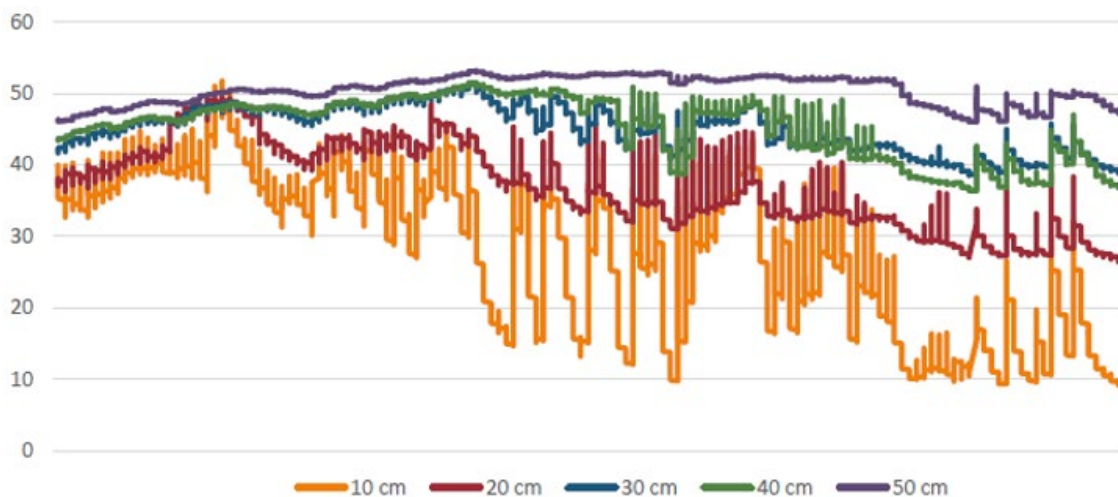
Una vez se establecieron los límites en los que debía permanecer la humedad en el suelo, se comenzaron a gestionar los riegos de tal forma que la humedad de este permaneciera siempre dentro de dichos límites. Dicha gestión del riego venía condicionada también por los criterios de riego que se explicaban anteriormente, como eran la probabilidad de lluvias o la capacidad de aporte del sistema de riego entre otros.

Inicialmente el cultivo se desarrolló sin evidencias de problemas y de manera homogénea. Tras el transcurso de unas pocas semanas, se dio el caso de que en una parte de la zona SO se produjo un encharcamiento a poca profundidad, lo que obligó a gestionar el riego de tal forma que la zona T.Univ Norte no sufriese estrés hídrico, pero que la zona T.Univ Sur no tuviera los horizontes en saturación. Este problema se solventó una vez la zona T.Univ Sur alcanzó estadios de desarrollo avanzados en los que el consumo de agua era mayor, lo que aproximó las necesidades hídricas de esta zona a las de la zona T.Univ Norte.

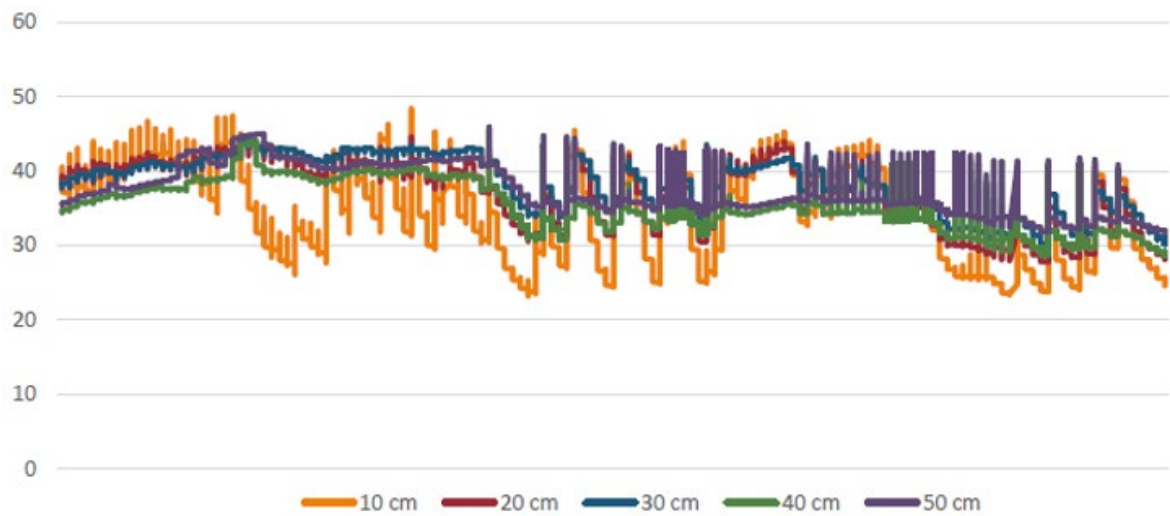
Otro momento en el que fue importante la gestión del riego fue el momento de la polinización. Durante los días del 1 al 7 de agosto, momento en el que ocurrió dicho evento, se planteó alterar la programación habitual de riego para mejorar la viabilidad del polen y mejorar la efectividad de la polinización, pero debido a que no se pudo determinar si verdaderamente existía una mejora con respecto a la práctica habitual, se optó por continuar con la metodología habitual.

Pasada la fase de la polinización, el cultivo se situaba en la fase de formación del grano y de llenado. Durante estas fases resultó imprescindible que el cultivo no sufriese ningún tipo de estrés hídrico, ya que esto condicionaría la productividad final del cultivo. Por esto, sumado a las condiciones meteorológicas de elevadas temperaturas que se dieron, se produjeron durante un tiempo riegos prácticamente a diario.

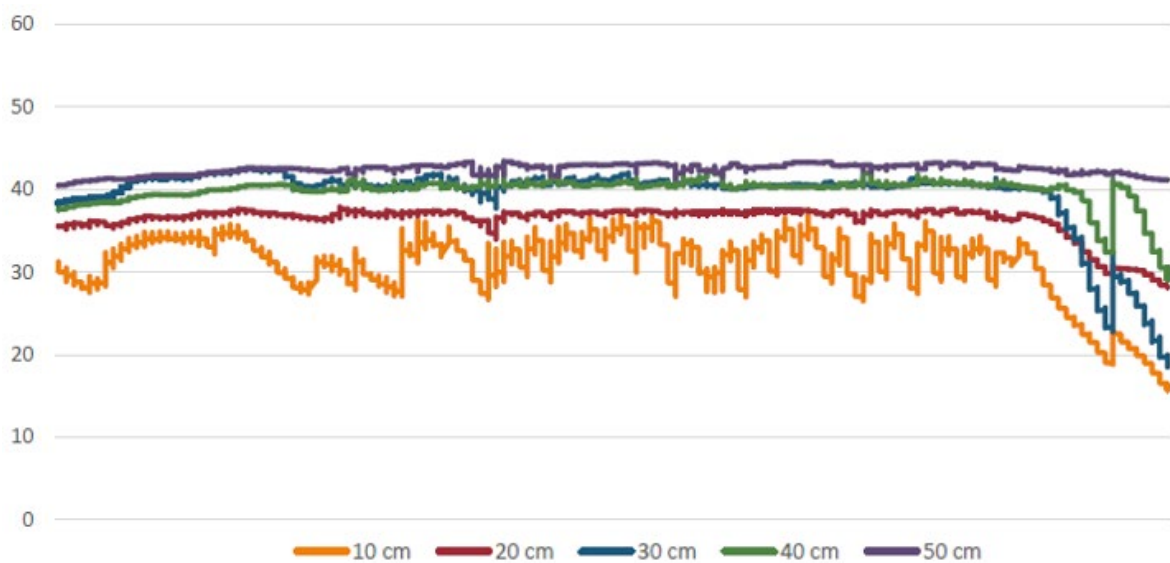
A continuación, se muestra la evolución de los niveles de humedad (mm) en T.Univ Sur a distintos niveles de profundidad durante el ciclo del cultivo (16/05 – 03/10):



A continuación, se muestra la evolución de los niveles de humedad (mm) en T.Univ Norte a distintos niveles de profundidad durante el ciclo del cultivo (16/05 – 03/10):



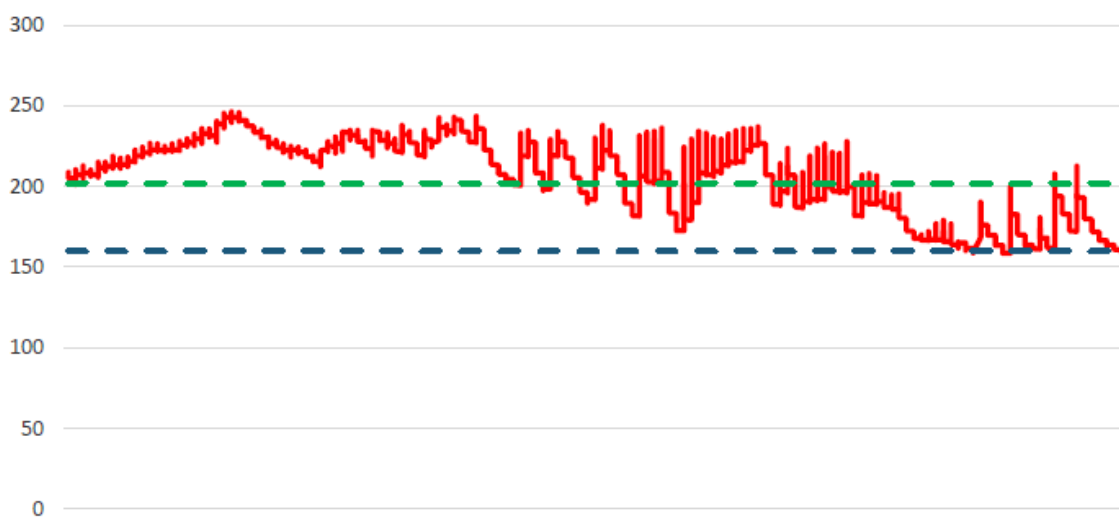
A continuación, se muestra la evolución de los niveles de humedad (mm) en T.Coop Norte a distintos niveles de profundidad durante el ciclo del cultivo (16/05 – 03/10):



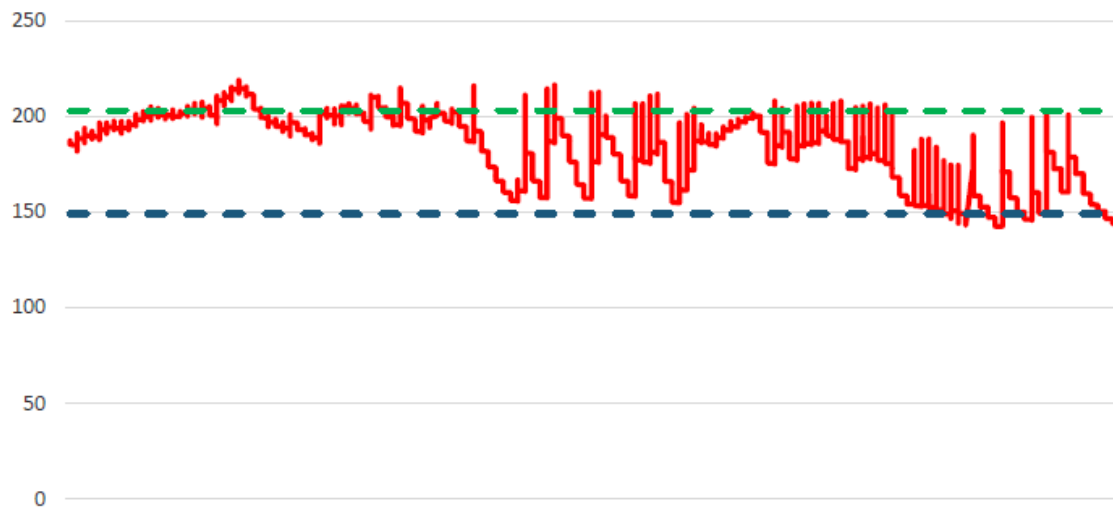
A continuación, se muestra la evolución de los niveles de humedad (mm) en T.Coop Sur a distintos niveles de profundidad durante el ciclo del cultivo (16/05 – 03/10):



Seguidamente, se muestra la evolución de la reserva de agua (mm) en T.Univ Sur acumulados durante el ciclo del cultivo (Línea discontinua superior: Capacidad de Campo; Línea discontinua inferior: Límite del intervalo de humedad) desde el 16/05 – 03/10.



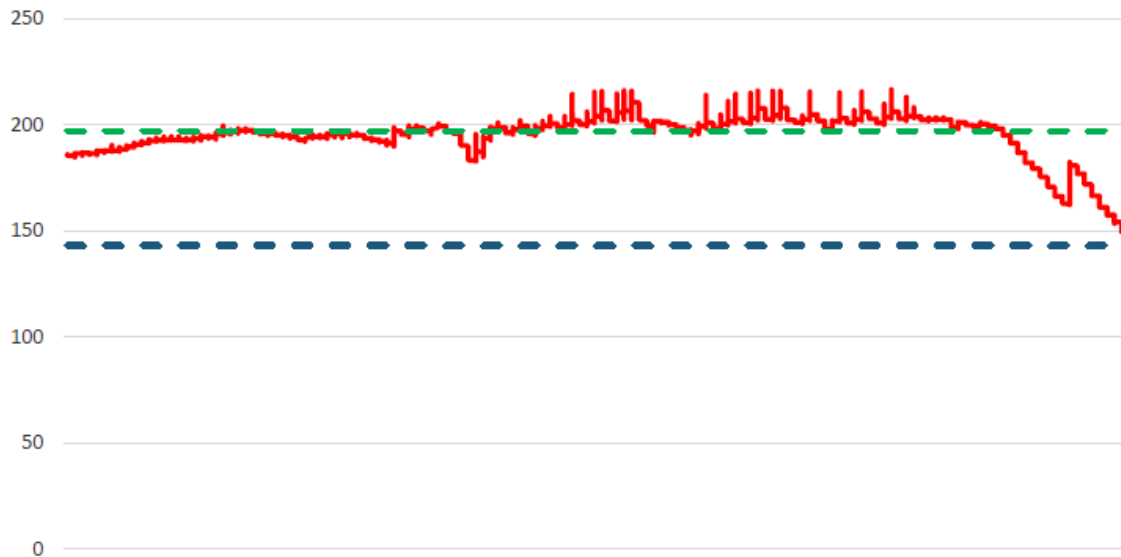
Seguidamente, se muestra la evolución de la reserva de agua (mm) en T.Univ Norte acumulados durante el ciclo del cultivo (Línea discontinua superior: Capacidad de Campo; Línea discontinua inferior: Límite del intervalo de humedad) desde el 16/05 – 03/10.



Seguidamente, se muestra la evolución de la reserva de agua (mm) en T.Coop Norte acumulados durante el ciclo del cultivo (Línea discontinua superior: Capacidad de Campo; Línea discontinua inferior: Límite del intervalo de humedad) desde el 16/05 – 03/10.



Seguidamente, se muestra la evolución de la reserva de agua (mm) en T.Coop Sur acumulados durante el ciclo del cultivo (Línea discontinua superior: Capacidad de Campo; Línea discontinua inferior: Límite del intervalo de humedad) desde el 16/05 – 03/10.



Como se puede observar en las gráficas de humedad de T.Coop Norte y T.Coop Sur acumulados durante el ciclo del cultivo, trabajaba continuamente con valores elevados de humedad, manteniendo prácticamente a lo largo de todo el tiempo dicha humedad en valores cercanos a la CC. Aunque aparentemente pueda parecer que existía mucha variación, ésta se da principalmente en los primeros 10 centímetros de suelo, que es la parte que sufre mayores variaciones debido a que es la parte del terreno que más sufre las inclemencias del tiempo.

En cambio, en las gráficas correspondientes a T.Univ Norte y T.Univ Sur pueden verse claramente ciclos de consumo de agua y de riego. Estas fluctuaciones son debidas al aprovechamiento de la humedad presente en el suelo que se hacía en cada momento.

11.5 Seguimiento del cultivo

Como ya se ha mencionado en el apartado dónde se describen las tareas realizadas en la parcela, el cultivo se sembró el 1 de mayo y durante las primeras semanas de vida, éste tuvo un desarrollo homogéneo en toda la parcela.

A medida fueron pasando las semanas, se pudo apreciar cómo en la parte gestionada por la universidad, una de las zonas sufría un cierto retraso en el desarrollo con respecto al resto de la parcela, por ello se procedió a determinar lo ocurrido en dicha zona.

Tras revisar la información ofrecida por las sondas, se pudo comprobar que el retraso no se debía a una falta de agua en el suelo, ya que mediante las sondas se pudo comprobar

que los niveles eran adecuados. Por lo que se procedió a comprobar in situ el estado del suelo en profundidad.

Una vez en la parcela, tras comprobar que en la zona deprimida no había elementos ni vegetación que pudiesen retrasar el desarrollo del cultivo, se procedió a cavar para ver que estaba ocurriendo en profundidad en dicha zona. En ese instante se pudo observar que, en el suelo, a una profundidad menor de 30 cm, había encharcamiento, lo que limitaba el desarrollo normal de la zona radicular y, en consecuencia, de toda la planta.

A continuación, se muestra una imagen de una planta de la zona encharcada (izquierda) y una planta de la zona sin encharcar (derecha):



Además, se observó que en T. Univ Sur se estaba produciendo encharcamiento:



Una vez se observó que en T.Univ Sur de la parcela se estaba produciendo el encharcamiento, se procedió a gestionar el riego de manera diferente para así intentar equilibrar las necesidades de la zona norte y sur sin que ninguna de las dos zonas sufriera escasez de agua ni encharcamiento.

Pasadas tres semanas se volvió a comprobar el nivel de desarrollo de esta zona en comparación al resto de la parcela, ya que se tomaron medidas en la gestión del riego para evitar otros posibles problemas de encharcamiento, y, como se puede comprobar en la siguiente imagen, el retraso en el desarrollo que adquirió en un principio lo mantuvo hasta que finalizó el ciclo del cultivo (a la izquierda T. Coop y a la derecha T. Univ):

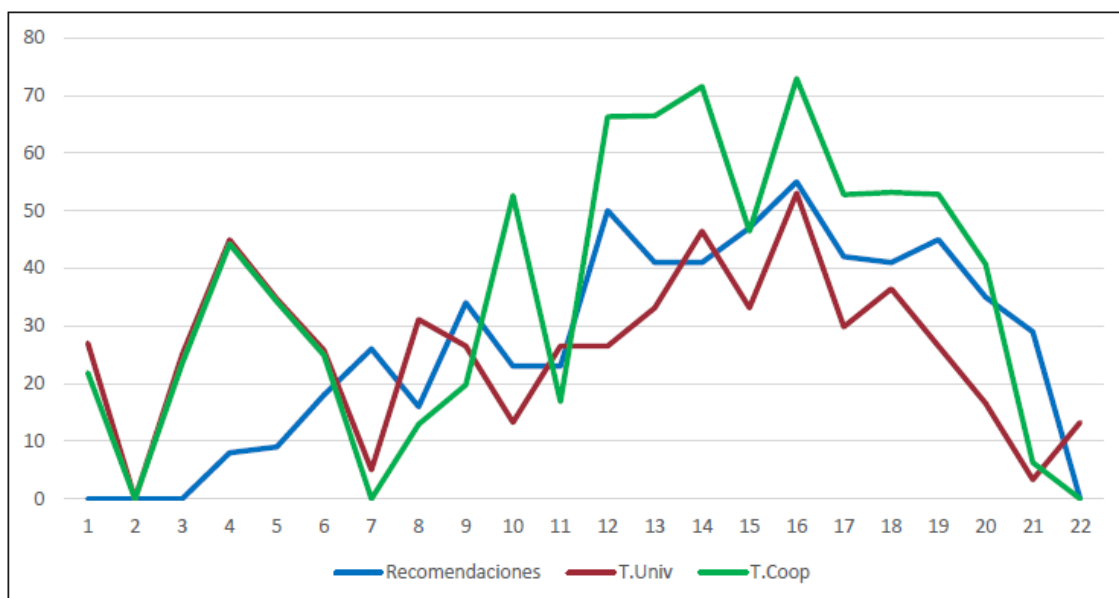


El la imagen puede apreciarse que la tercera planta (comenzando desde la izquierda), que es la correspondiente a la zona T.Univ Sur, tiene una envergadura menor que las demás, concretamente 20 centímetros, a lo que hay que añadirle el retraso fenológico que adquirió desde que comenzó la afección.

A finales del tercer mes de desarrollo del cultivo comenzaron a observarse las primeras sedas que emergían de las mazorcas, lo que situaba a la planta en el estadio VT de desarrollo y la hacía entrar en una de las fases más críticas para el desarrollo de la planta. Desde la aparición de esta fase hasta la finalización de la polinización, el cultivo está en un periodo especialmente delicado, ya que si el cultivo sufre estrés hídrico podría reducirse la viabilidad del polen y de las sedas, lo que podría reducir hasta un 100% la productividad del cultivo (Manejo del riego en el cultivo de maíz, Pioneer).

11.6 Comparación de las dosis de riego aplicadas

En el siguiente gráfico se muestra la comparación semanal de las dosis de riego aportadas por la Cooperativa, por la Universidad y las recomendaciones del SAR de INTIA (mm). Se puede observar la dosis de riego aplicada en T.Univ comparada con las dosis de riego de referencia (SAR) y las dosis de riegos aplicadas en T.Coop determinadas por la persona encargada de gestionar el riego:



Como se puede observar en la gráfica anterior las primeras semanas del manejo del riego, T.Univ se comporta de igual manera a T.Coop debido a la gestión conjunta de las zonas.

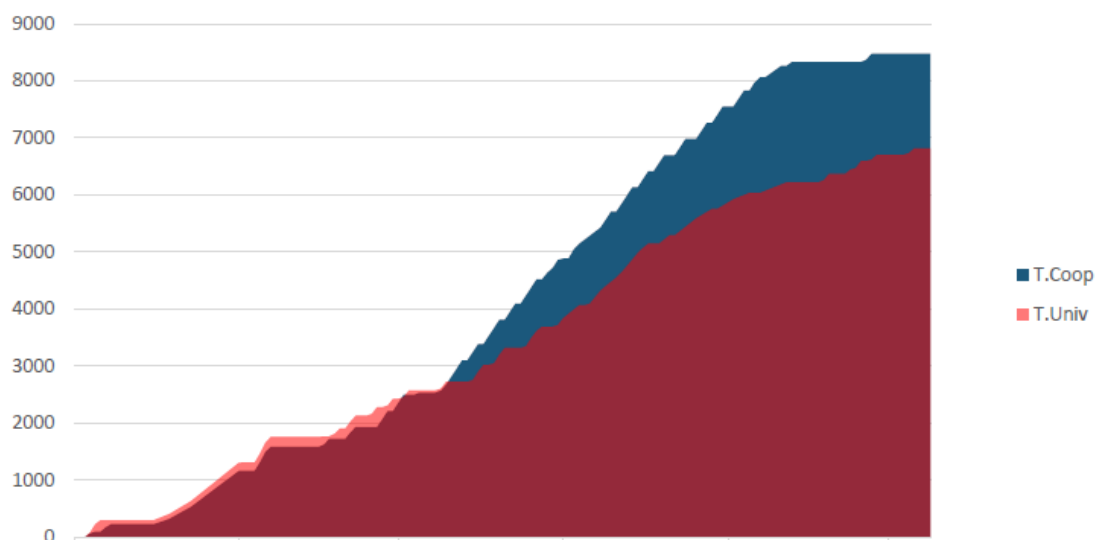
A partir de la séptima semana, se puede observar cómo las rectas se disocian. Esto fue debido a que la universidad tomó el control de T.Univ.

Durante las primeras semanas (3 y 4) se dan unas dosis de riego de T.Coop y T.Univ fueron superiores a las recomendaciones del SAR debido a que se aplicaron una serie de riegos de nascencia para facilitar el desarrollo inicial del cultivo.

Al poco tiempo, en la semana 8, se produce otro pico por encima de las recomendaciones del SAR, esta vez solo por parte de T.Univ, debido a que se regó en exceso para poder determinar los valores de capacidad de campo del suelo de la parcela del estudio.

Se puede apreciar en la gráfica que la cantidad de agua aplicada en el cultivo fue muy similar a las recomendaciones que INTIA da semanalmente a los agricultores para la zona de Artajona, aunque por lo general se sitúan por debajo de dichos valores. Además, en cuanto a las necesidades de riego totales determinadas por el SAR para este periodo (583 mm) T.Univ registró valores de riego muy similares a las recomendaciones, obteniéndose un valor de 578 mm.

También se puede ver que las dosis de los riegos realizados en T.Univ son muy inferiores, por lo general, a los realizados por T.Coop desde el momento en que se disoció la gestión del riego, dándose lugar una reducción del consumo total de agua de los 780 mm en T.Coop a una dosis de 578 mm en T.Univ. Estas diferencias en las dosis de riego de T.Coop y T.Univ directamente desembocan en una diferencia en el consumo total de agua de la parcela. A continuación, se muestra una gráfica que representa la evolución del consumo de agua de los dos hidrantes presentes en la parcela:



A continuación, muestra una tabla comparativa de los consumos de agua en los dos tratamientos:

	T.Univ	T.Coop
m³ totales	33.122	44.143
m³ mayo	5.993	5.808
m³ junio	5.810	5.936
m³ julio	6.278	14.017
m³ agosto	10.163	14.238
m³ septiembre	4.335	4.144
m³ octubre	543	0

Que en T.Coop se realizaran unos riegos mayores a los recomendados supuso un consumo de un 22,2% más que la parte de T.Univ, lo que, asumiendo un precio de 0,04 €/m³ de agua de riego suministrada por el canal, supondría un ahorro de alrededor de 60 € por hectárea, lo que para la totalidad de la parcela supondría un ahorro de unos 600 €.

11.7 Estado del suelo

Durante las primeras fases del cultivo se observaron, como ya se ha descrito, problemas en el desarrollo de éste en una de las zonas. Este hecho hizo visibles ciertos problemas que de otra manera podrían haber pasado inadvertidos.

Uno de los problemas que presentó el suelo fue la tendencia al agrietamiento que tiene en las épocas en las que los niveles de humedad bajaban. Esto dificultó la correcta lectura de las sondas, ya que éstas han de estar en contacto directo con el suelo para poder hacer una buena lectura. Otro de los problemas que ocasionó esto fue la creación de flujos preferenciales dentro del suelo, lo que además de interferir con el correcto funcionamiento de las sondas, producía una incorrecta absorción de agua por parte del suelo y favorecía la percolación. Como se puede ver a continuación, las grietas podían alcanzar profundidades de hasta 30 centímetros.



También se observó que en los primeros 30 cm de suelo el cultivo enraizó con cierta facilidad, pero al superar dicha profundidad, la presencia de raíces era muy reducida. Por ello se llevó a cabo una toma de muestras para determinar los valores de densidad del suelo y ver si la compactación podía ser el factor que originaba la reducida presencia de raíces.

Debido a los valores de densidad obtenidos y a las observaciones realizadas en la parcela, se ha podido determinar que existe una cierta compactación a poca profundidad, lo que

condiciona el desarrollo de las raíces y de la infiltración del agua (soilquality.org.au, 2016). Dicha compactación se hacía patente a partir de los 30 cm de profundidad. Esto pudo ser debido a la suela de labor que origina el rotocultor sumado a la compactación que originan los sucesivos riegos.

Como se ha dicho, se produce una limitación en lo que al desarrollo radicular se refiere, por lo que el volumen de suelo explorado se reduce. Esto conlleva una reducción en la capacidad potencial de nutrientes y de agua disponibles, lo que puede limitar el desarrollo del cultivo, y como consecuencia, la productividad final de éste.

11.8 Rendimiento del cultivo

Debido a que la cosecha se demoró mucho en el tiempo, ya que el nivel de humedad del grano que se quería era relativamente bajo, se decidió programar una cosecha previa para que no se demorase mucho en el tiempo la experimentación. Ya que, aunque se realizó el seguimiento del riego y del desarrollo del cultivo en toda la parcela, se decidió realizar la cosecha en las partes en las zonas en las que principalmente se centró la experimentación, que son las zonas de los alrededores de las sondas.

A continuación, se muestra una imagen de la parcela en el momento de la cosecha:



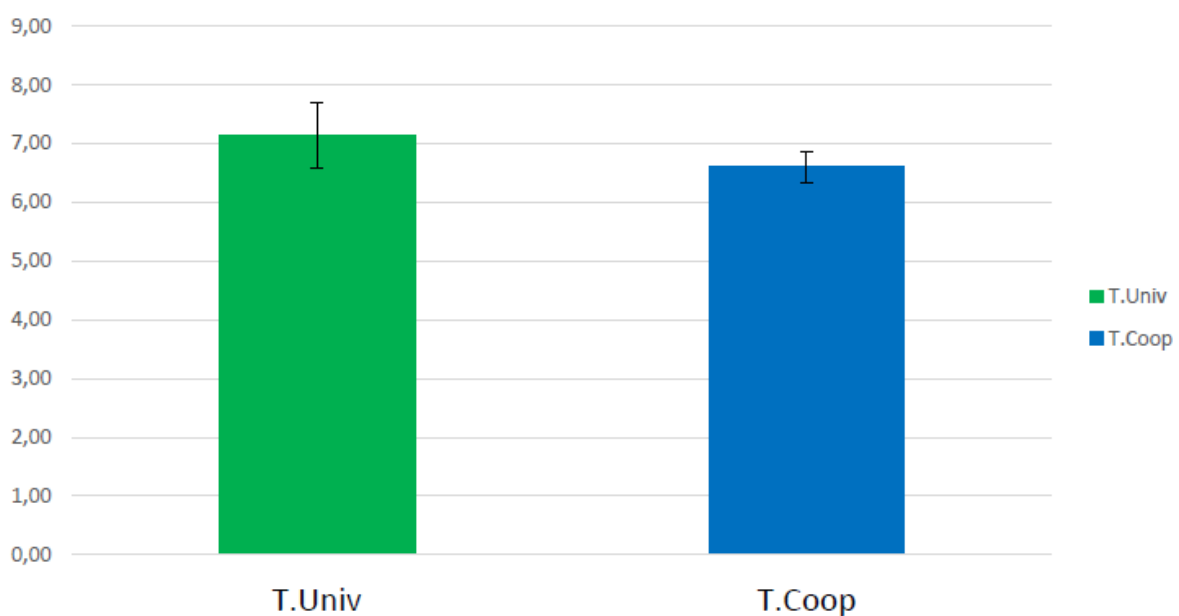
Una vez realizados estos análisis, con una máquina contadora de granos se separaron cien granos de cada una de las muestras y se pesaron esos cien granos. Una vez se obtuvo el peso, éste se multiplicó por diez para así determinar el peso de mil granos (PMG). Éste

es un indicador de rendimiento del cultivo que sirve para valorar el potencial productivo del propio grano.

Zona	PMG medio	Promedio Peso (kg)	Hileras	Granos/hilera	Peso esp. (kg/hl)	%Humedad
T. Univ Sur	417,80	6,67	16,7	37,3	61,70	31,93
T. Univ Norte	397,57	7,60	16,3	41,3	63,33	29,57
T. Coop Norte	380,20	6,47	16,0	38,0	62,77	29,37
T. Coop Sur	373,63	6,73	16,7	41,3	62,20	28,63

T. Univ	407,68	7,13	16,5	39,3	62,5	30,8
T. Coop	376,92	6,60	16,3	39,7	62,5	29,0

En lo que a productividad se refiere, T.Univ presenta unos valores medios superiores a los de T.Coop dándose el valor máximo en la zona norte. Los valores productivos indicados en la tabla son referentes a una superficie de 3,57 m², lo que resultaría en una productividad de 19.981 y 18.487 kg/ha para T.Univ y T.Coop respectivamente. Si se normalizan estos valores a un 14% de humedad resultan unos valores de cosecha de 15.391 hg/ha para T.Univ y 14.597 kg/ha T.Coop. A continuación, se muestran las diferencias productivas de las muestras recogidas entre los tratamientos (kg).



En cuanto a PMG, hileras y humedad, T.Univ presenta valores mayores, siendo éstos máximos en la zona sur, salvo para las hileras que son mayores en la zona norte. El

número de granos por hilera es mayor en T.Coop siendo máximo en la zona sur y el peso específico es igual para ambos tratamientos.

Una vez conocidos los resultados se realizaron análisis de la varianza de las distintas características anteriormente indicadas y se concluyó en que no existían diferencias significativas en ninguna de ellas. El único hecho remarcable es la tendencia ascendente que denotaba T.Univ en lo que a productividad se refiere con respecto a T.Coop.

12. Conclusiones

- Gracias a las constantes lecturas de humedad que realizaron las sondas a lo largo de la experimentación fue posible realizar un seguimiento de la humedad del suelo en las distintas repeticiones de los tratamientos a lo largo de la experimentación. Además, estas sondas ayudaron a detectar problemas de encharcamiento, lo que permitió establecer una nueva gestión del riego para contrarrestar estos problemas en el desarrollo del cultivo.
- Se pudo observar a lo largo de la experimentación que el cultivo en ambos tratamientos no tuvo variaciones significativas en cuanto al desarrollo en toda la parcela, salvo en los puntos localizados en los que se dieron ciertos problemas de encharcamiento.
- Se ha visto que las sondas aportan valores de gran utilidad para la gestión del riego aunque sea en términos relativos de humedad, pero si se quiere conocer las lecturas exactas de humedad las sondas deben estar correctamente calibradas.
- Las dosis de riego aplicadas se han ajustado en gran medida a la dosis y los momentos de riegos recomendados.
- El consumo de agua de T.Coop se pudo reducir más de un 20% con respecto a T.Univ obteniendo niveles productivos similares. A este ahorro de agua hay que sumarle el ahorro económico que tiene asociada esta reducción del consumo.
- No se observaron diferencias significativas para ninguno de los parámetros de la cosecha analizados (PMG, productividad, hileras, granos por hilera, peso específico y humedad).