

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES DURACIONES DE RIEGO EN LA EROSIÓN DE SUELO Y PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

En el presente anexo se presenta la documentación completa del estudio realizado en el proyecto GesRiego sobre la influencia de la frecuencia de riego para estimar la escorrentía en diferentes escenarios de manejo de riego. El objetivo de este estudio es determinar la estrategia a seguir en el uso de la instalación de riego por aspersión en fincas con fuertes pendientes para evitar las escorrentías y aumentar la eficiencia de riego. Se trata de establecer unas pautas de riego sencillas que permitan hacer recomendaciones de riego ajustadas en la medida de lo posible a la finca sin requerimientos de recursos o tiempo por parte del regante de los que habitualmente no se dispone.

1. Localización del estudio

El estudio se realizó en la comarca agraria V de Navarra, concretamente en el municipio de Mendigorria, a una distancia de 29 kilómetros de Pamplona, capital de la Comunidad Foral de Navarra. La parcela pertenece a la Cooperativa Agrícola de Artajona, las labores las lleva a cabo un agricultor de la zona y el riego lo realiza un responsable de la cooperativa.

La parcela se encuentra a 3,5 km de la Cooperativa de Artajona (polígono 5, UR 293) constituyendo 12,34 hectáreas de tierra arable.



Imagen 1: Mapa de situación de la Comarca Agraria V de Navarra.

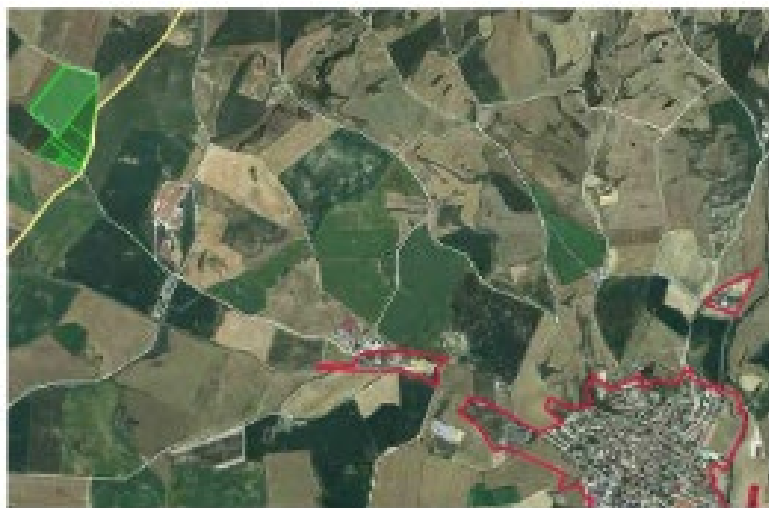


Imagen 2: Ubicación de la parcela respecto al municipio de Artajona.

La parcela cuenta con una instalación de riego por aspersión de 15x18. Los dos hidrantes que contiene la parcela están alimentados por agua proveniente del sector II.2 del Canal de Navarra, correspondiente a los términos de Artajona, Larraga y Mendigorria.

A continuación, se muestran tres imágenes de la pendiente de la parcela de estudio:





2. Climatología de la zona

En Artajona cuentan con una estación meteorológica automática de la red del MAPAMA (05- Artajona) y se encuentra a 2.650 metros en línea recta de la parcela. Para obtener los datos históricos y conocer la climatología de la zona, así como las precipitaciones y temperaturas registradas durante el experimento, se ha tomado como referencia dicha estación.

Artajona pertenece a la zona Sur de Navarra según Meteo Navarra (Gobierno de Navarra). Esta zona, se caracteriza por ser un clima templado de veranos secos y cálidos, con precipitaciones anuales escasas. En verano los meses secos duran entre 3 y 4 meses.

Según la clasificación de Papadakis, tiene un clima mediterráneo templado seco (Mets).

Número Térmico	8 (Algodón)
Tipo de Invierno	E (Avena)
Tipo de Verano	8V Algodón (G)
Régimen hídrico	Me mediterráneo Seco
Grupo Climático	St (Estepario)
Fórmula Climática Breve	E8Vwh9

Imagen 3: Clasificación de Papadakis en Artajona.

El invierno es tipo avena y el tipo de verano es de algodón. Esto quiere decir que el invierno es suficientemente suave como para plantar avena y el verano suficientemente cálido como para plantar algodón. Por lo que, el cultivo de maíz es viable en esta zona.

3. Diseño experimental

En una misma parcela se deseaba realizar riegos con diferentes frecuencias para conocer cual tiene mayor eficiencia. Se partió de que la cooperativa y los agricultores de la zona riegan en frecuencias de una hora. De este modo, se establecieron dos frecuencias de riego más, una por encima de esa hora, en frecuencias de 2 horas y otra por debajo, frecuencias de media hora; el doble y la mitad del tiempo de riego utilizado por la cooperativa respectivamente.

La parcela cuenta con 14 sectores de riego, de los cuales se seleccionaron tres, con pendientes parecidas, para implantar las tres frecuencias de riegos diferentes: Sector 1: Se regó durante 2 horas de forma continua. Se eligió dicho sector para esta frecuencia porque se encuentra en el borde de la parcela y en el caso de velocidades altas de viento solo recibiría agua de un sector colindante.

Sector 2: se regó en fracciones de media hora (1/2 h).

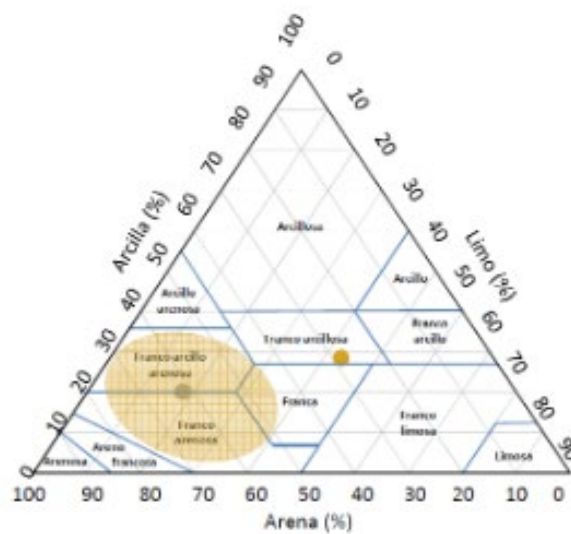
Sector 10 y resto de la parcela: se regó como habitualmente se realiza en la cooperativa, durante una hora ininterrumpida. En cada sector se designaron 4 zonas diferentes según la pendiente, en las que se instalaron sondas que medían la humedad volumétrica del suelo. Las 4 zonas son:

Arriba

Medio-arriba

Abajo

Para conocer las características del suelo se mandó analizar muestras de suelo al laboratorio. Hay que tener en cuenta la clase de suelo con la que se está trabajando, ya que esto influye en la movilidad del agua en el suelo y la capacidad de almacenamiento. En el análisis que se realizó de los 30 primeros centímetros del suelo, se observa que predomina la textura franco-arcillosos con tendencia a limosa.



El análisis también proporciona la CRAD (Capacidad de Retención de Agua Disponible). Esta característica se define como la cantidad de agua en un perfil de suelo que puede extraer la planta, después que se ha drenado por gravedad durante un periodo de tiempo.

En este estudio La CRAD varía en las diferentes zonas de la parcela:

Sector	Zona	CRAD
2 (1/2 hora)	Arriba	28,1
	Abajo	36,8
10 (1 hora)	Arriba	37,8
	Abajo	48,9

Imagen 5: CRAD (l/m²) de las zonas de arriba y abajo de los sectores 2 y 10.

La zona de abajo del sector 2 y la zona de arriba del sector 10 tienen similar CRAD. En la zona de arriba del sector 2 esta capacidad es menor que en el resto. En el sector 10, abajo, es donde mayor CRAD tiene el suelo de las zonas de ensayo.

5. Material vegetal utilizado en el estudio

La variedad de maíz que se sembró en la parcela fue la LG 34.90. Se trata de un híbrido de maíz para grano. Suele tener una media de 16 filas de grano y un zulo muy pequeño. Se caracteriza por su rápida velocidad de secado y su adaptabilidad a todas las condiciones de cultivo. Aunque la velocidad de secado también depende de las condiciones ambientales y de manejo.

Tiene un ciclo FAO 400 largo-500 corto, es decir, requiere unos 2.000 grados-días para alcanzar la madurez fisiológica, lo que equivale a unos 115 días con temperaturas entre 8 y 30 °C.

6. Labores de cultivo

Un mes antes de la siembra se realizaron dos pasadas de subsolador, un pase con el rotocultivador, otro con una grada de púas y un rodillo y, por último, otro pase de rotativa.

Primero, se consigue romper la suela de labor, descompactando el suelo, pero sin realizar volteo en las capas profundas. Con esto se busca esponjar el suelo y facilitar la aireación y drenaje. Con el rotocultivador se rompen las partículas de mayor tamaño para hacer más fino el suelo y dejar preparado el lecho de siembra. La máquina integrada de grada de púas y rodillo se persigue retirar parte de los restos del cultivo anterior y compactar el terreno.

La siembra se realizó el 27 de abril con una dosis de 99.900 semillas/ha.

Unos días después de la siembra se aplicó herbicida Camix, con una dosis de 3,75 litros/ha. A los dos meses de la siembra se abonó con urea 46% con una dosis de 570 kg/ha. Y cuatro días más tarde se volvió a aplicar herbicida. Esta vez Laudis, a una dosis de 2 litros/ha.

La última semana de agosto se trató con abamectina, un aceite ovicida, debido a una plaga de araña roja (*Tetranychus urticae*). Lo que provocó que se interrumpiera el riego durante dos semanas.

7. Dosis de riego

Los riegos de cada semana se establecieron en función de las cantidades de agua que marcaba la recomendación de riego del SAR (Servicio de Asesoramiento al Regante de INTIA). Esta se basa en las condiciones meteorológicas de la semana anterior, en vez de la predicción meteorológica de la semana en la que se va a aplicar el riego.

En la metodología que se emplea, las necesidades hídricas son calculadas en función de la evapotranspiración del cultivo (ETc). A su vez, esta depende de la evapotranspiración del cultivo de referencia y los coeficientes de cultivo, que son obtenidos del informe de la FAO “Las necesidades de agua de los cultivos”.

Además, se considera que la precipitación efectiva es de 10 mm/h, por encima de este valor se producen pérdidas por escorrentía o percolación; que la eficiencia del riego por aspersión es del 85% y no tiene en cuenta las reservas de agua que puede haber en el suelo.

8. Programación de riego

Para programar el riego se extraía el valor de la dosis en litros por metros cuadrados, en función de la zona, el sector II.2 del Canal de Navarra; y la fecha en la que se realizó la siembra, se tomó el dato de la primera quincena de mayo.

Este valor se divide entre la pluviometría de los aspersores, 6,6 l/m²·h, con lo que se obtiene las horas que hay que regar a la semana. Como en el sector 1 la duración de riego era 2 horas ininterrumpidas, se tenía que redondear las horas a un múltiplo de 2. Para ello, se estableció la siguiente pauta durante toda la campaña:

- Si las horas calculadas igualaban o superaban en 0,5 horas el múltiplo de 2 más bajo, se regaba las horas que marcaba el siguiente múltiplo. Por ejemplo, si el cálculo establecía que se tenían que regar 2,6 horas, se regaban 4 horas.
- Si no superaba en 0,5 horas el múltiplo de 2 más bajo, se regaba las horas que marcaba ese múltiplo. Por ejemplo, si el cálculo establecía que se tenían que regar 6,4 horas, se regaban 6 horas.

Las sondas se comenzaron a instalar el 14 y 15 de junio, pero los riegos no se comenzaron a controlar hasta el 3 de julio (semana 1). Durante este tiempo se planteó el cronograma para realizar los riegos en un horario marcado. Lo que se tuvo en cuenta para marcar las horas de riego fue regar en la franja horaria de 20h a 8h, para evitar pérdidas por evaporación y para evitar las altas velocidades de viento que se dan durante el día. Se eliminan de esta forma dos variables. También se observó que ocurría durante el riego continuo de 2 horas.

9. Descripción de las sondas utilizadas en el ensayo

Para medir la humedad presente en suelo en cada momento de la campaña se empleó un método indirecto. Estos miden otras propiedades del suelo que varían con el contenido de agua.

En este ensayo las sondas empleadas son del tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry, Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia) o, también llamadas, sondas de capacitancia. Se caracterizan por medir la constante dieléctrica o permitividad del suelo (ϵ_b) para calcular su contenido volumétrico de agua. La constante dieléctrica es la capacidad de un material no conductor de transmitir ondas o pulsos electromagnéticos. La constante dieléctrica de un suelo seco es menor que la del agua y pequeños cambios en la cantidad de agua libre del suelo tienen un gran efecto en las propiedades del sistema agua-suelo.

Se utilizaron sensores de humedad de dos casas comerciales diferentes, 12 sondas de Decagon y otras 12 de Sentek.

El modelo de sensores empleado de la marca Decagon es el 10HS. Se entierran directamente en el suelo y miden la humedad en la zona del suelo en la que se instalen, por lo que se instalaron dos en cada zona de estudio, uno a 10 cm y otro a 20 cm. Mide a

una frecuencia de 70 Hz, lo que minimiza la salinidad y los efectos de textura del suelo. Tiene un rango de precisión del 3%.



Imagen 6: Sonda 10HS instalada en el ensayo.

Los sensores de Sentek eran de dos modelos diferentes: Drip&Drop y el EnviroSMART. Ambos tienen una largura de 60 cm, con sensores en intervalos de 10 cm. Se instalan con tubos de acceso, para que el suelo adyacente no se vea alterado.

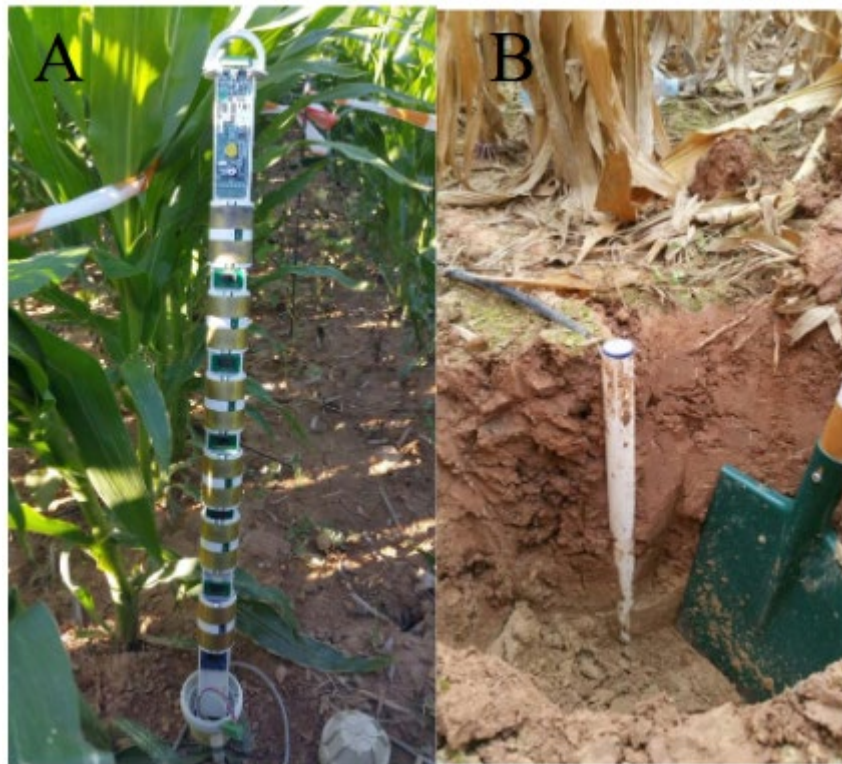


Imagen 7: A: sonda de humedad EnviroSMART. B: sonda de humedad Drip&Drop.

10. Calibración de las sondas utilizadas en el estudio

Los datos que se obtienen mediante las sondas son las humedades volumétricas de cada zona de estudio. Pero para calibrar la sonda se necesita conocer la humedad gravimétrica, de modo que se realizan unos muestreos de suelo para determinar la densidad aparente del mismo.

Los muestreos se realizan mediante cilindros de 100 cm³, con los que se consigue una muestra de suelo inalterado. Para ello, con la ayuda de una pala se excava hasta una profundidad de unos 10 cm, a la que se encuentran las sondas, y se clava el anillo en el suelo con ayuda de una maza de goma.



Imagen 8: Realización del muestro de suelo para determinar la densidad aparente mediante el método del cilindro.

Una vez se tuvieron las muestras, en el laboratorio se pesaron, se introdujeron en la estufa a 105°C durante 2 horas y se volvieron a pesar, obteniendo así el peso en seco (Blake & Hartge, 1986). La diferencia de pesos es la cantidad de agua que contenía el suelo. Como se conoce el peso de agua que contiene la muestra y el volumen de suelo, que es el volumen del cilindro, se obtiene la densidad aparente.

Dicha densidad multiplicada por la humedad volumétrica medida por las sondas, se obtiene la humedad gravimétrica.

$$\theta_v = \theta_g \cdot \rho_{ap}$$

Por otro lado, las casas comerciales establecen unas ecuaciones de calibración para permitir que las condiciones de medida del suelo se aproximen lo máximo posible a las condiciones teóricas de las sondas. La casa comercial Decagon establece que los dataloggers Em50 utilizan la siguiente ecuación para realizar la conversión de la diferencia de conductividad eléctrica medida a porcentaje volumétrico.

$$VWC \left(\frac{m^3}{m^3} \right) = 1,17 \cdot 10^{-9} \cdot raw\ counts^3 - 3,95 \cdot 10^{-6} \cdot raw\ counts^2 + 4,90 \cdot 10^{-3} \cdot raw\ counts - 1,92$$

Donde:

- VWC, es el contenido volumétrico de agua.
- raw counts, es el dato puro medido por la sonda, es decir, la diferencia de conductividad eléctrica del suelo (mV).

Por otro lado, Sentek mide directamente humedad mediante el protocolo SDI12.

11. Localización de las sondas en la parcela de estudio

Las sondas se instalaron entre el 14 de junio y el 3 de julio. En estos días se colocaban las sondas entre las hileras y se conectaban a sus respectivos dataloggers, donde se almacenan los datos recogidos por las sondas. Todos los equipos se retiraron entre el 17 y 18 de octubre.

En función del sensor empleado, puede ser enterrado en el suelo directamente, como es el caso de las sondas de Decagon, o bien a través de un tubo de acceso, como ocurre con las de Sentek. Con ambos instrumentos se consiguen datos de un volumen de suelo inalterado.

Mediante el programa QGIS se obtuvieron los perfiles de los sectores y las pendientes de las zonas en las que se instalaron los sensores. Los puntos corresponden a la localización de las sondas.

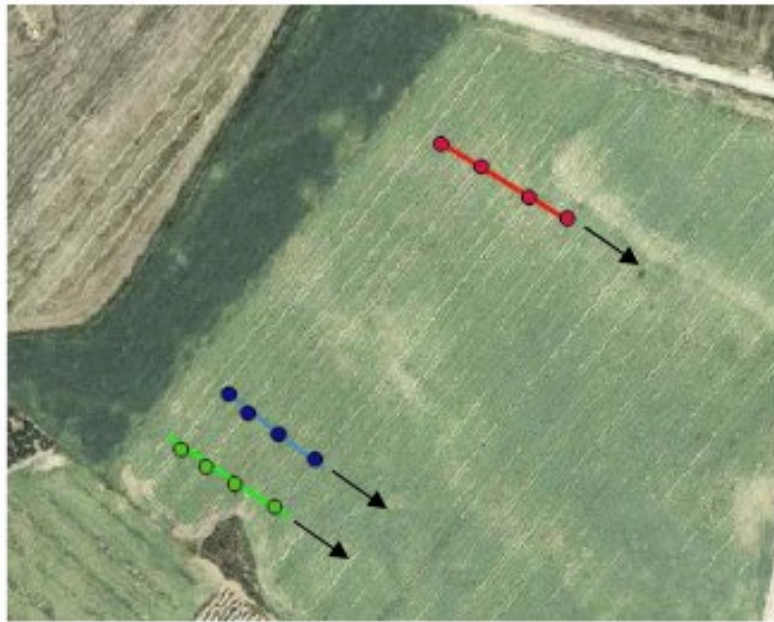


Imagen 9: Líneas que marcan los perfiles y pendientes de los sectores. Verde (sector 1), azul (sector 2) y roja (sector 10).

El sector 1, regada con una frecuencia de riego de dos horas, tiene una longitud de 171 metros y presenta una pendiente media del 18,01%.

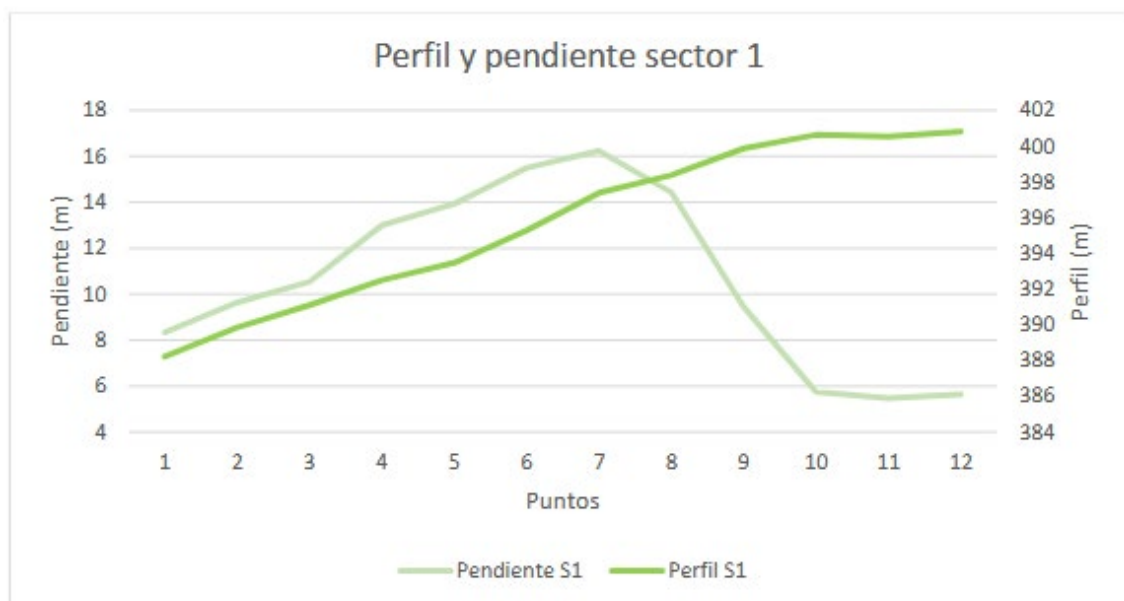


Imagen 10: Pendiente y perfil del sector 1.

El sector 2, en la que se realizaron los riegos en frecuencias de media hora, tiene una longitud de 173 metros con una pendiente del 12,95%.

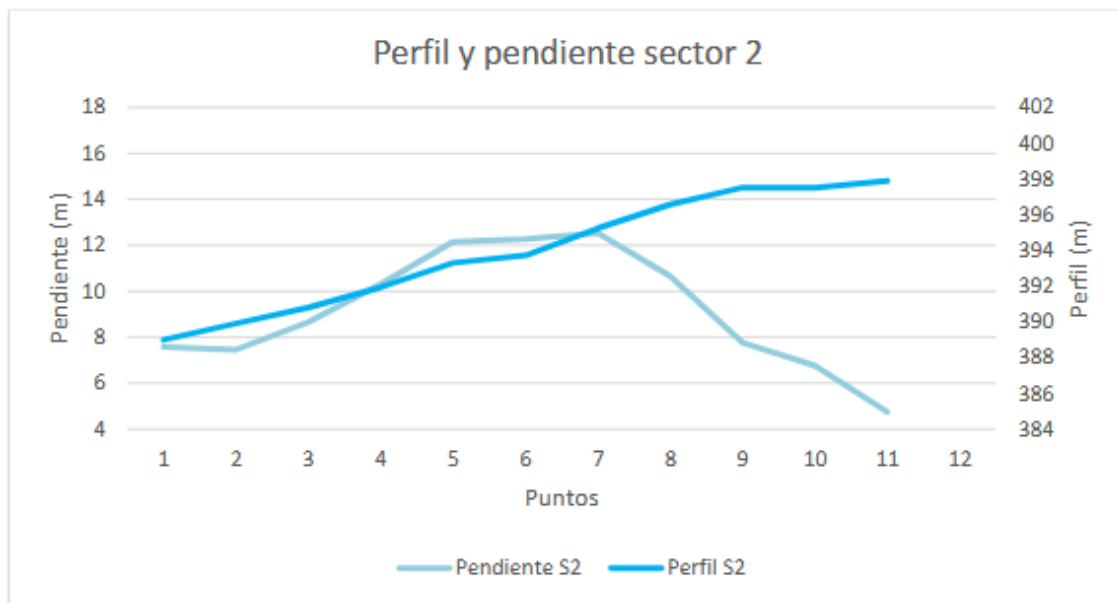


Imagen 11: Pendiente y perfil del sector 2.

Por último, el sector 10, en el que la frecuencia de riego era de una hora, tiene una longitud máxima de 159 metros, y una pendiente media del 8,13%.

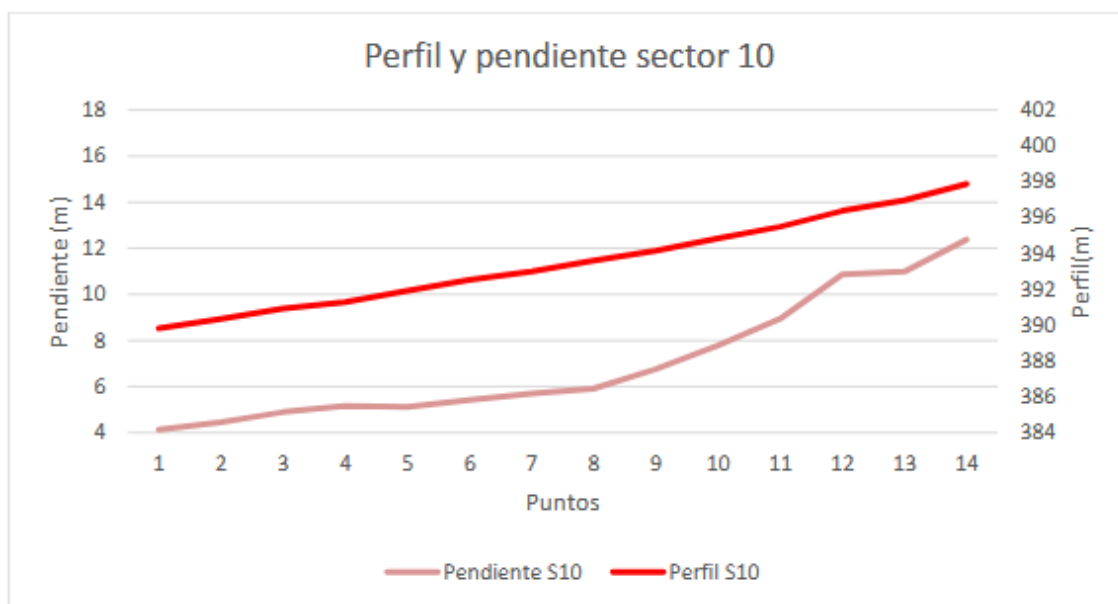


Imagen 12: Pendiente y perfil del sector 10.

Las pendientes y coordenadas de cada zona en cada sector son las recogidas en la siguiente tabla:

Zona	Sector	Pendiente	Coordenadas X	Coordenadas Y
Arriba	1	5,642	598292	4717668
	2	6,760	598312	4717713
	10	4,428	598439	4717837
Medio-arriba	1	16,237	598272	4717700
	2	12,533	598293	4717725
	10	4,644	598419	4717848
Medio-abajo	1	13,926	598257	4717708
	2	10,316	598395	4717863
	10	6,388	598399	4717860
Abajo	1	9,626	598244	4717717
	2	7,564	598268	4717745
	10	9,85	598375	4717874

Las pendientes en los sectores 1 y 2 son aproximadamente parecidas, debido a que las dos se ven influenciadas por una zona colindante a la parcela con alta pendiente.

12. Resultados

12.1. Observaciones previas

Durante los primeros días en los que se estableció el sistema de riego en cada sector, se observó que en el sector 1, tras regar un periodo de tiempo de 70 minutos comenzaba a producirse escorrentía superficial.

Las líneas azules representan el recorrido que seguía el agua y los círculos rojos representan los encharcamientos en parcela.

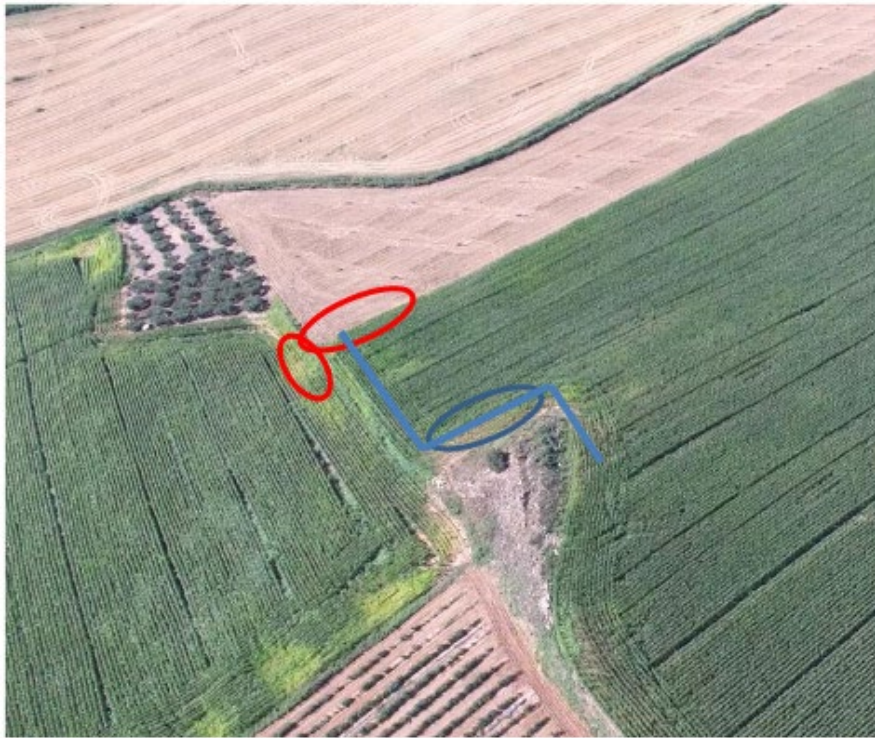


Imagen 13: Escorrentía superficial en el sector 1.

Se observa en la imagen como las líneas de siembra, en la zona descrita, van perpendiculares a las líneas de siembra del resto de la parcela.

Como el problema era en una zona concreta se decidió no modificar la frecuencia establecida para ese sector.

12.2. Humedad del suelo

Las sondas de humedad de SENTEK a lo largo del ensayo registraron los datos representados en las gráficas siguientes. Además, se incluye la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el mismo periodo de tiempo:

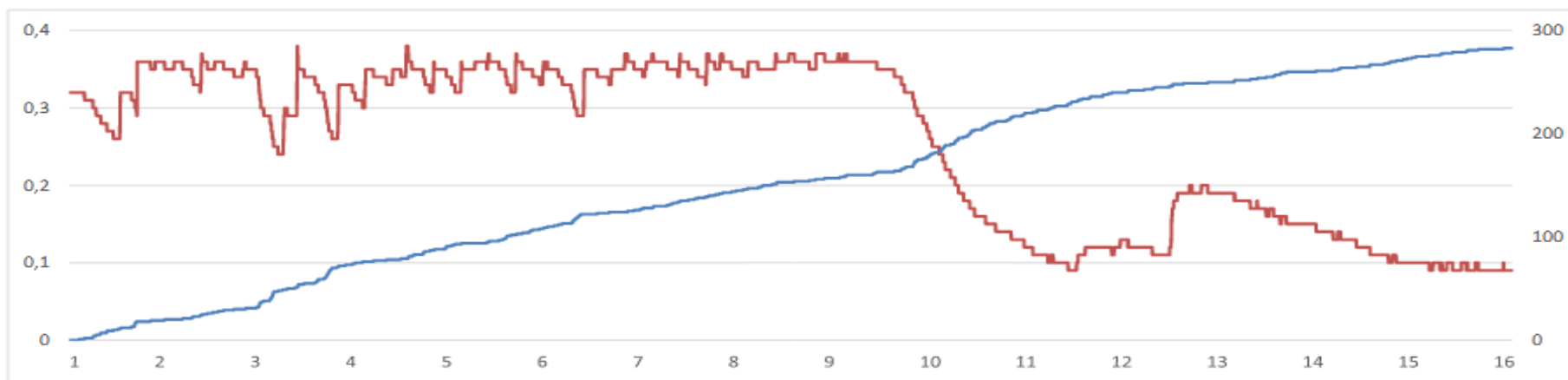


Imagen 14: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 cm del suelo de la zona de arriba del sector 1 (frecuencia de 2 horas), a partir de la semana 1 (3 de julio).

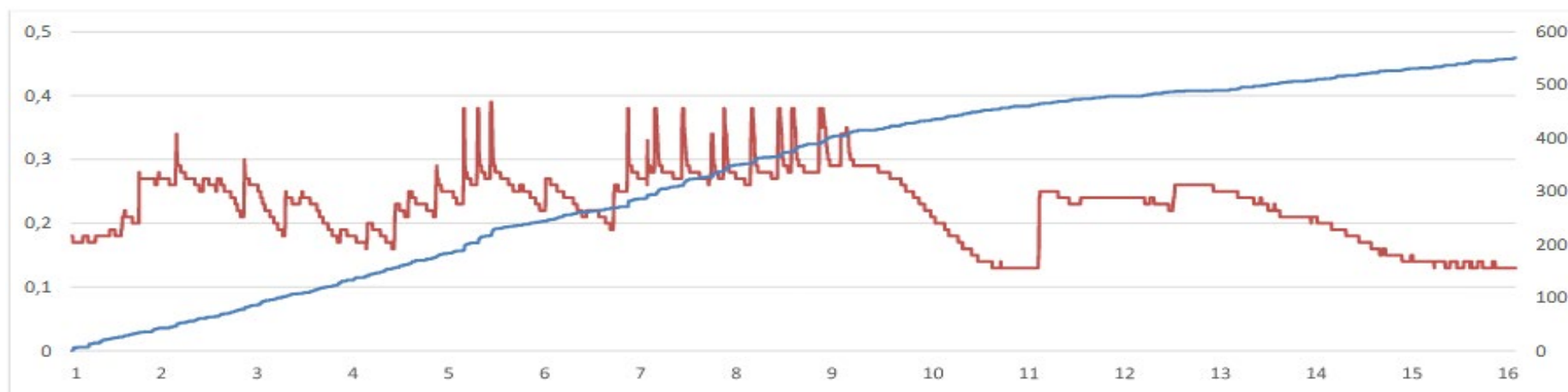


Imagen 15: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 cm del suelo de la zona de medio-arriba del sector 1 (frecuencia de 2 horas), a partir de la semana 1 (3 de julio).

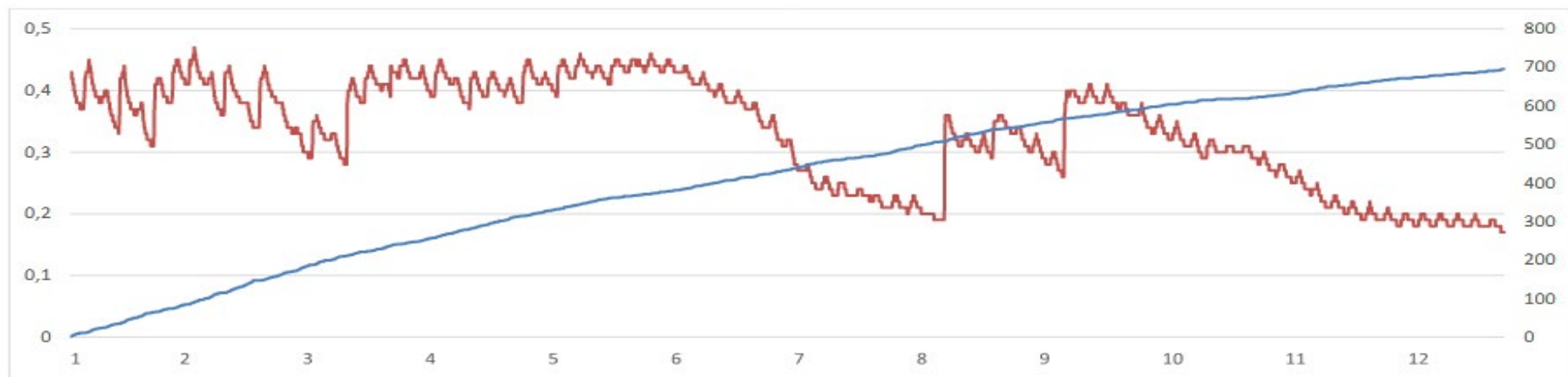


Imagen 16: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona medio-abajo del sector 1 (frecuencia de 2 horas), a partir de la semana 1 (3 de julio).

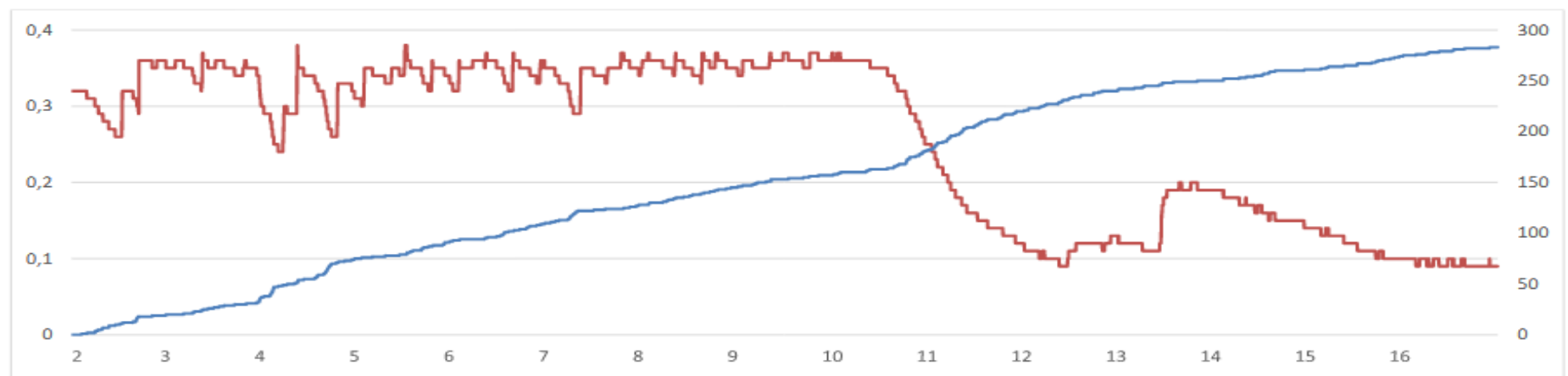


Imagen 17: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona de abajo del sector 1 (frecuencia de 2 horas), a partir de la semana 2 (10 de julio).

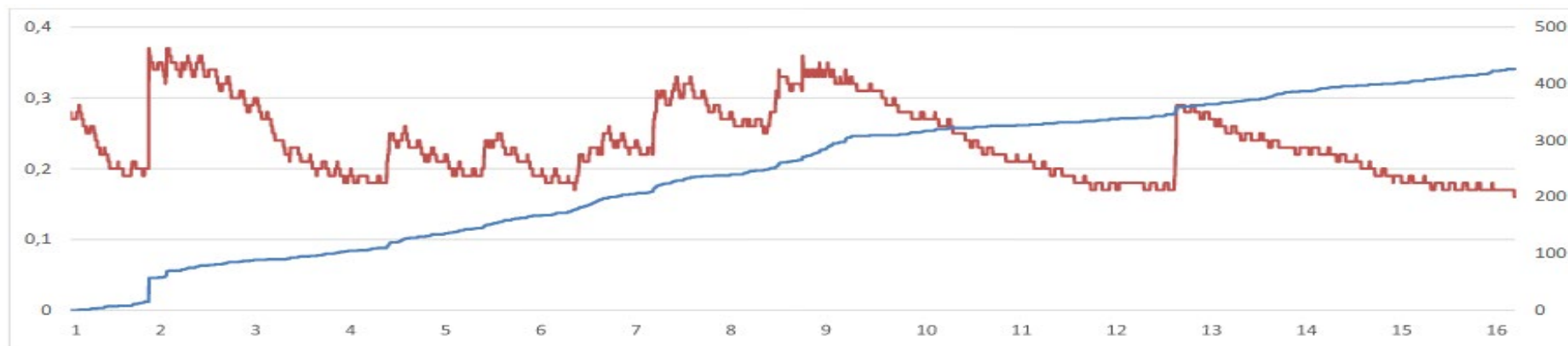


Imagen 18: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona de arriba del sector 2 (frecuencia de 1/2 hora), a partir de la semana 1 (3 de julio).

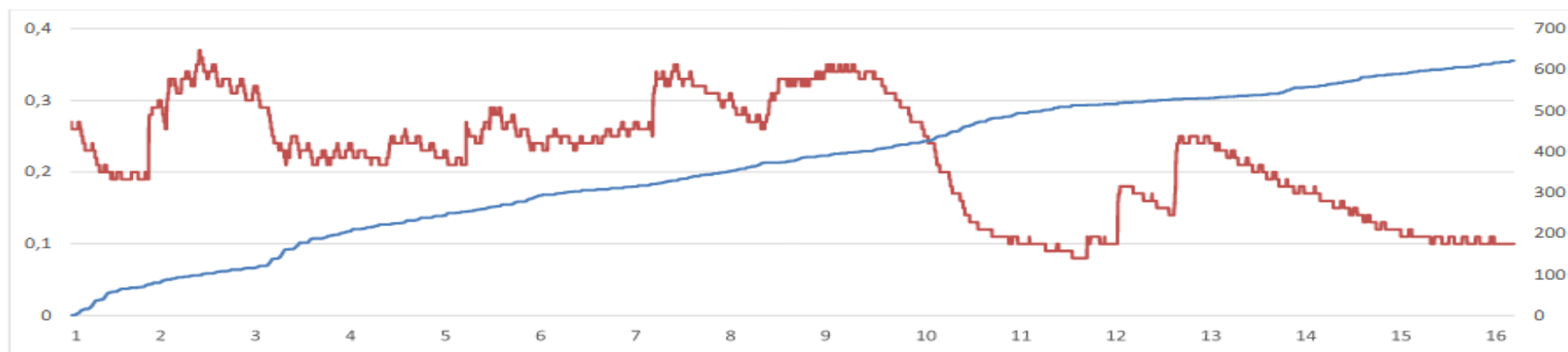


Imagen 19: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona medio-arriba del sector 2 (frecuencia de 1/2 hora), a partir de la semana 1 (3 de julio).

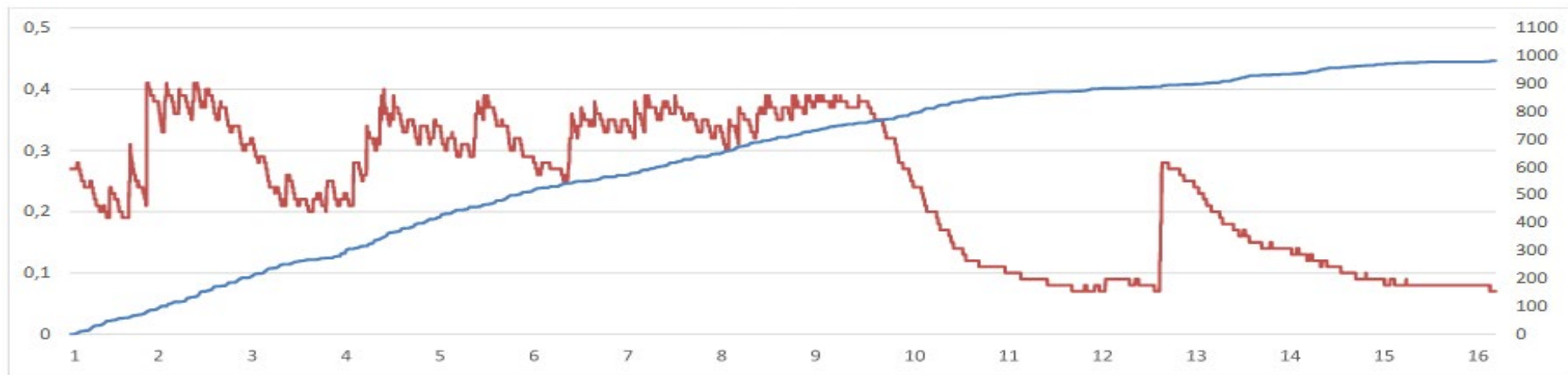


Imagen 20: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona medio-abajo del sector 2 (frecuencia de 1/2 hora), a partir de la semana 1 (3 de julio).

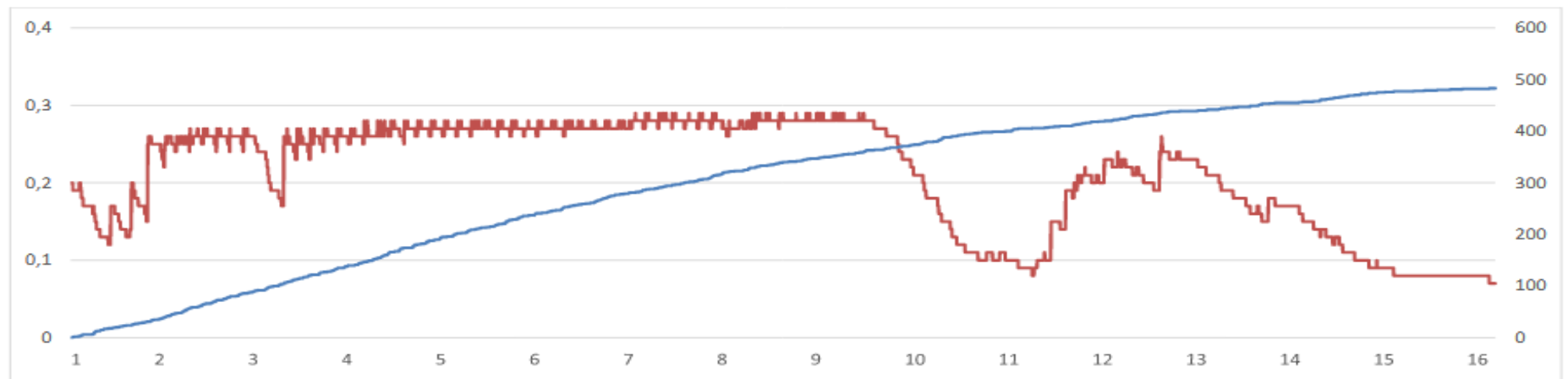


Imagen 21: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona de abajo del sector 2 (frecuencia de 1/2 hora), a partir de la semana 1 (3 de julio).

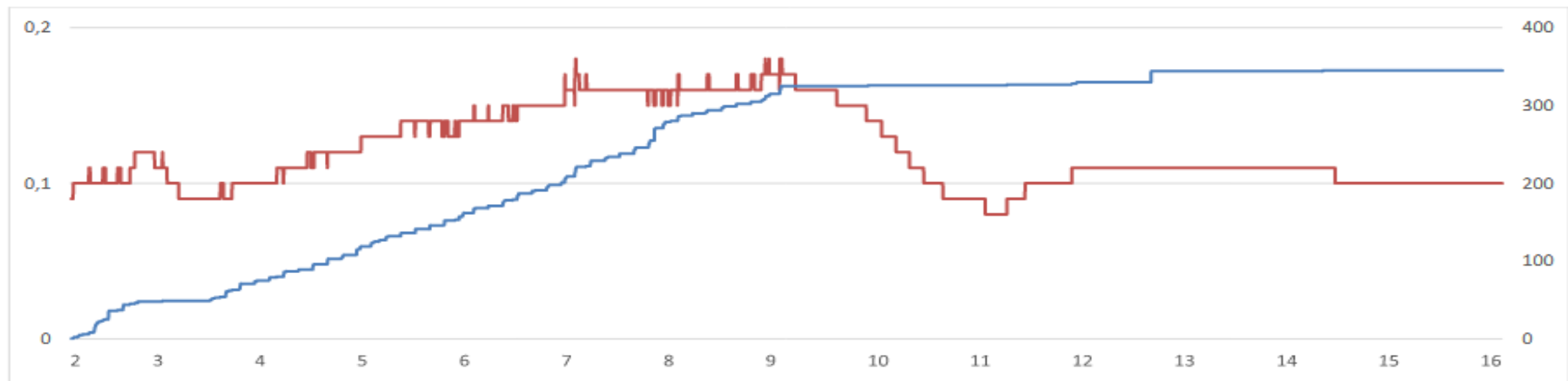


Imagen 22: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona de arriba del sector 10 (frecuencia de 1 hora), a partir de la semana 2 (10 de julio).

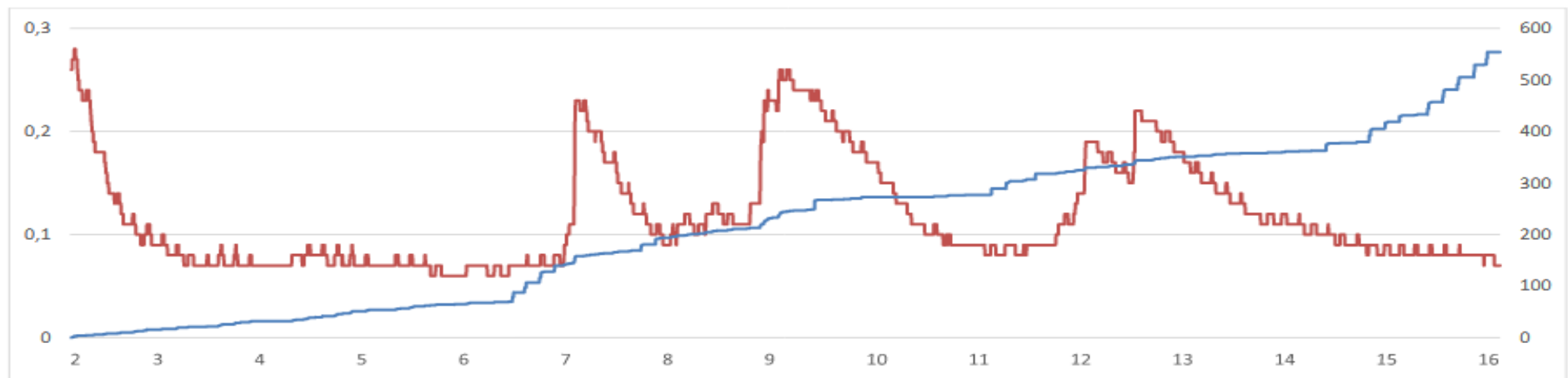


Imagen 23: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona medio-arriba del sector 10 (frecuencia de 1 hora), a partir de la semana 2 (10 de julio).

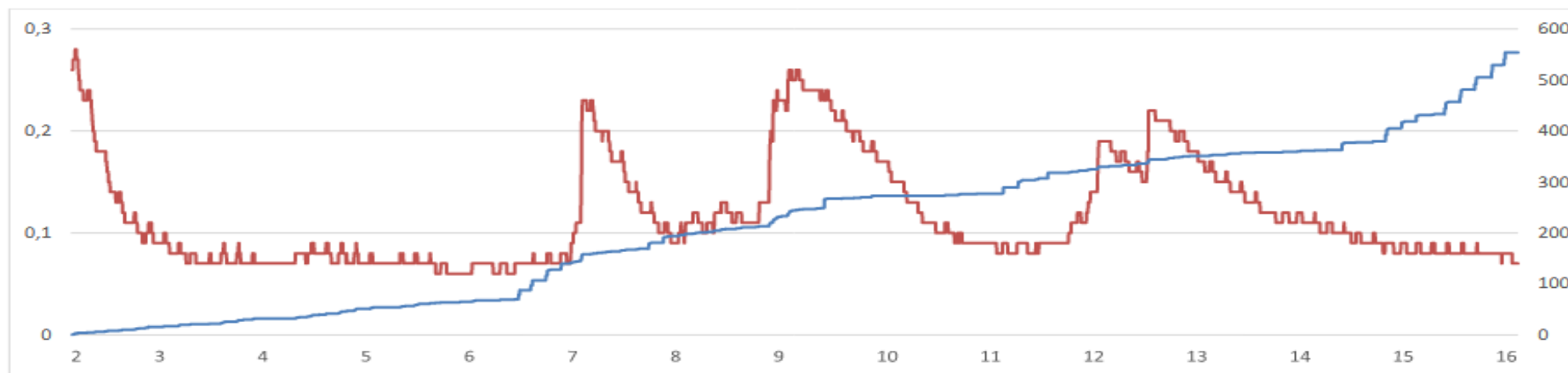


Imagen 24: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona medio-abajo del sector 10 (frecuencia de 1 hora), a partir de la semana 2. (10 de julio)

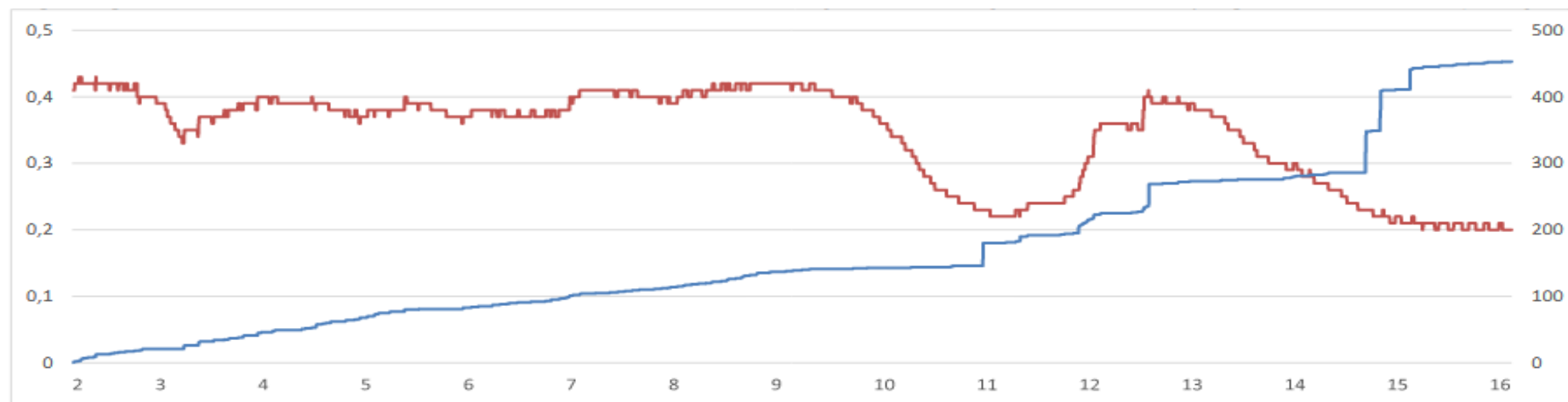


Imagen 25: Eje derecho: Registro de la humedad (%) (línea roja). Eje izquierdo: evapotranspiración acumulada del cultivo (mm) (línea azul). Humedad y evapotranspiración acumulada de los 60 centímetros del suelo de la zona de abajo del sector 10 (frecuencia de 1 hora), a partir de la semana 2 (10 de julio).

Para conocer la fiabilidad de las lecturas realizadas por las sondas, se realizó la calibración de estas con los datos de humedad volumétrica presentados. Se recogieron muestras de suelo para calcular la densidad aparente (D_{ap}) y la humedad gravimétrica (θ_g), y con estos calcular la humedad volumétrica (θ_v muestreo). De cada zona se cogieron 3 cilindros de suelo inalterado.

Las humedades volumétricas recogidas por las sondas se corresponden al momento del muestreo. La calibración se realiza tanto para las sondas de DECAGON (θ_v sondas DECAGON), como para las de SENTEK (θ_v sondas SENTEK). Como este se realizó en los primeros 10 cm del suelo, la humedad volumétrica es la recogida por la sonda situada a esa altura.

Sector 1				
Zona	Arriba	Medio-arriba	Medio-abajo	Abajo
D_{ap}	$1,380 \pm 0,031$	$1,430 \pm 0,018$	$1,440 \pm 0,063$	$1,440 \pm 0,050$
θ_g	$0,237 \pm 0,008$	$0,153 \pm 0,011$	$0,173 \pm 0,005$	$0,192 \pm 0,003$
θ_v muestreo	$0,339 \pm 0,018$	$0,219 \pm 0,014$	$0,250 \pm 0,017$	$0,277 \pm 0,014$
θ_v sondas DECAGON	$0,427 \pm 0,001$	$0,284 \pm 0,007$	$0,290 \pm 0,0008$	$0,379 \pm 0,009$
θ_v sondas SENTEK	$0,416 \pm 0,006$	$0,214 \pm 0,007$	$0,330 \pm 0,002$	$0,300 \pm 0,003$

Sector 2		
Zona	Medio-abajo	Abajo
D_{ap}	$1,540 \pm 0,013$	$1,630 \pm 0,007$
θ_g	$0,215 \pm 0,003$	$0,217 \pm 0,008$
θ_v muestreo	$0,331 \pm 0,004$	$0,353 \pm 0,013$
θ_v sondas DECAGON	$0,333 \pm 0,002$	$0,362 \pm 0,000$
θ_v sondas SENTEK	$0,362 \pm 0,002$	$0,275 \pm 0,006$

La densidad aparente en el sector 1 es constante, excepto en la zona llana de arriba. En el sector 2 se percibe más variación entre una zona y otra. En un mismo sector se observa

que en las partes llanas, arriba y abajo, la humedad gravimétrica es mayor que en las zonas con pendiente.

Las desviaciones típicas de los datos medidos por las sondas se encuentran dentro del margen de los errores establecidos por el proveedor. A continuación, se comparan los datos puros calculados mediante las ecuaciones de transformación de las sondas, con los valores de humedad volumétrica obtenidos por muestreo de suelo.

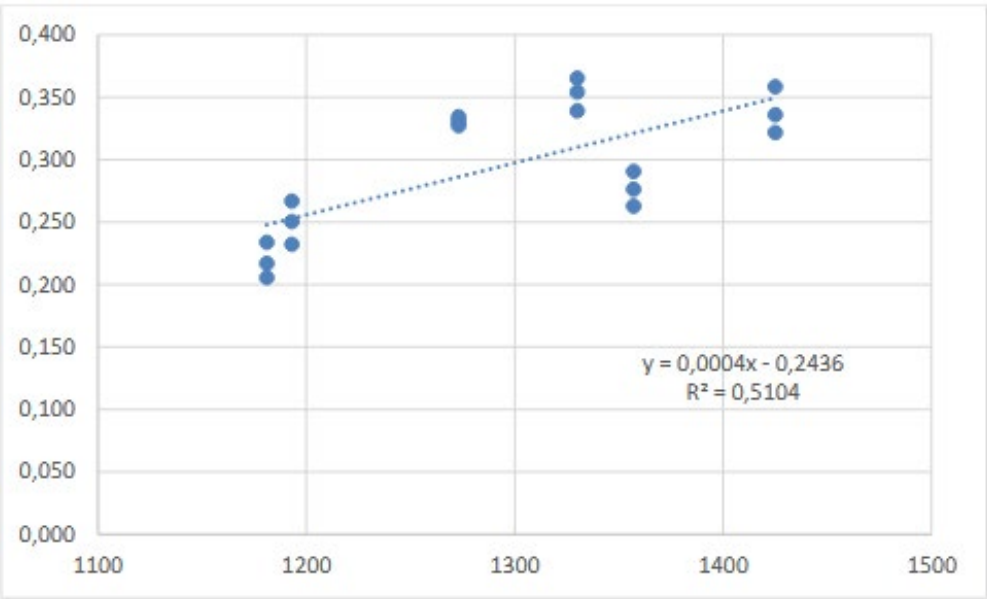


Imagen 26: Comparación de los valores de conductividad eléctrica (mV) de las sondas 10 HS de DECAGON sin calibrar y la humedad obtenida mediante el muestreo en campo (mm).

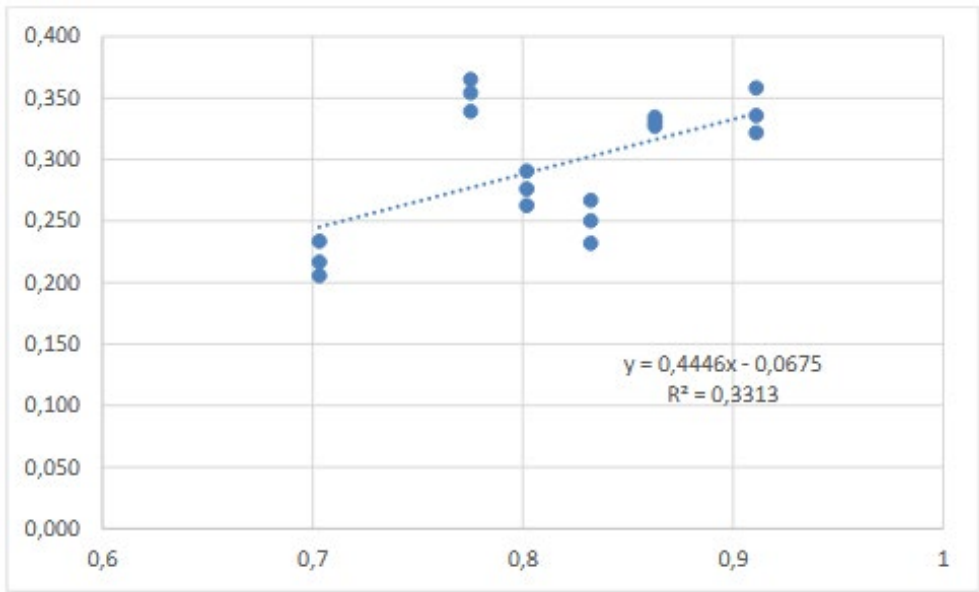


Imagen 27: Comparación de los valores de la sonda de SENTEK sin calibrar y la humedad obtenida mediante el muestreo en campo (mm).

Con las ecuaciones obtenidas para cada una, se calcularon las humedades volumétricas, de esta forma se obtienen los valores de las sondas correctamente calibradas.

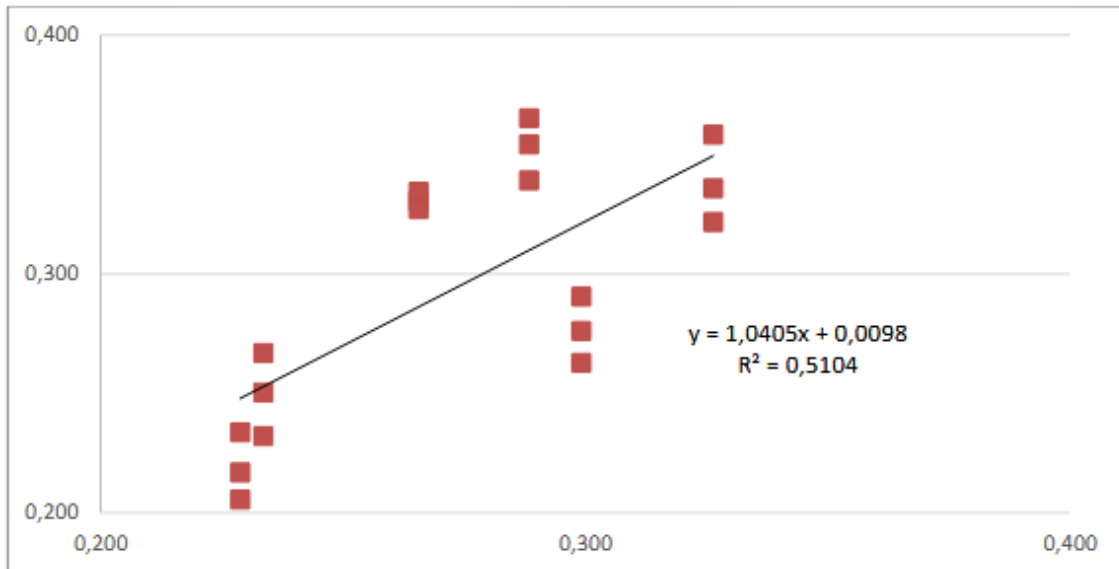


Imagen 28: Comparación del contenido volumétrico (%) obtenido mediante la calibración de las sondas 10 HS de DECAGON y la humedad obtenida mediante el muestreo en campo (mm).

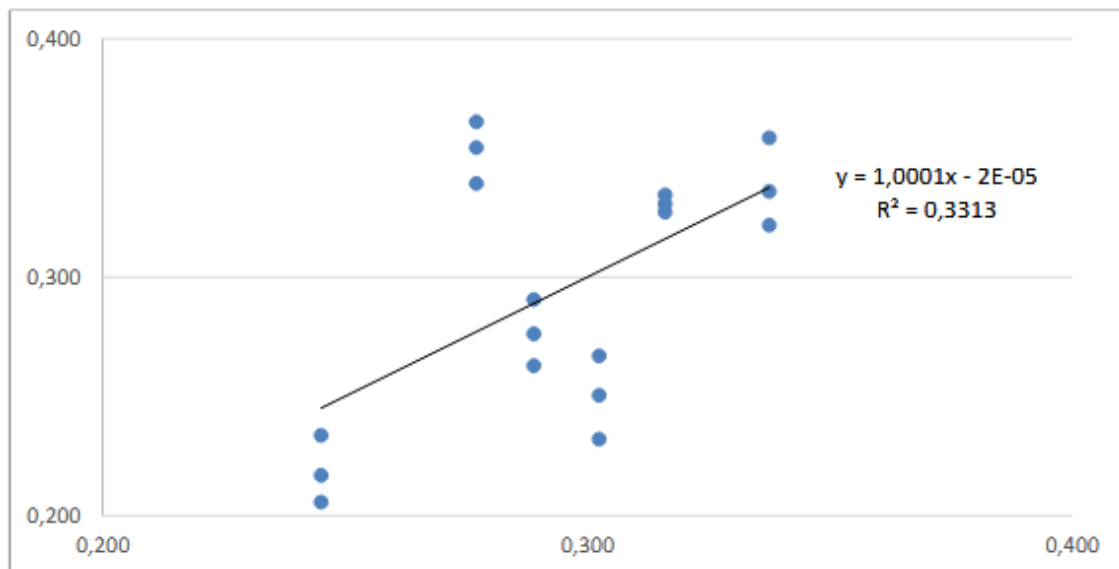


Imagen 29: Comparación del contenido volumétrico (%) obtenido mediante la calibración de las sondas de SENTEK y la humedad obtenida mediante el muestreo en campo (mm).

Con los datos obtenidos en la calibración se observa que las sondas no calculan el contenido volumétrico real. El coeficiente de determinación (R^2) mide el grado de fiabilidad del modelo ajustado a un conjunto de datos. En este caso indica que los contenidos volumétricos de agua registrados por las sondas tienen una relación baja con las humedades volumétricas calculadas mediante muestreos, del 51% para las sondas de DECAGON y 33% para las de SENTEK.

En algunos momentos de la campaña se observó que sensores que medían la humedad en la misma zona de un mismo sector, se encontraban en diferentes condiciones.



Imagen 30: as sondas de una zona de un mismo sector en condiciones de humedad diferentes. Las sondas Decagon se encuentran en la zona húmeda y la de Sentek en la zona seca del suelo.

12.3. Cálculo de la ETc y dosis de riego aplicada

El Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) pone a disposición de los agricultores la dosis de riego semanal en función de la evapotranspiración.

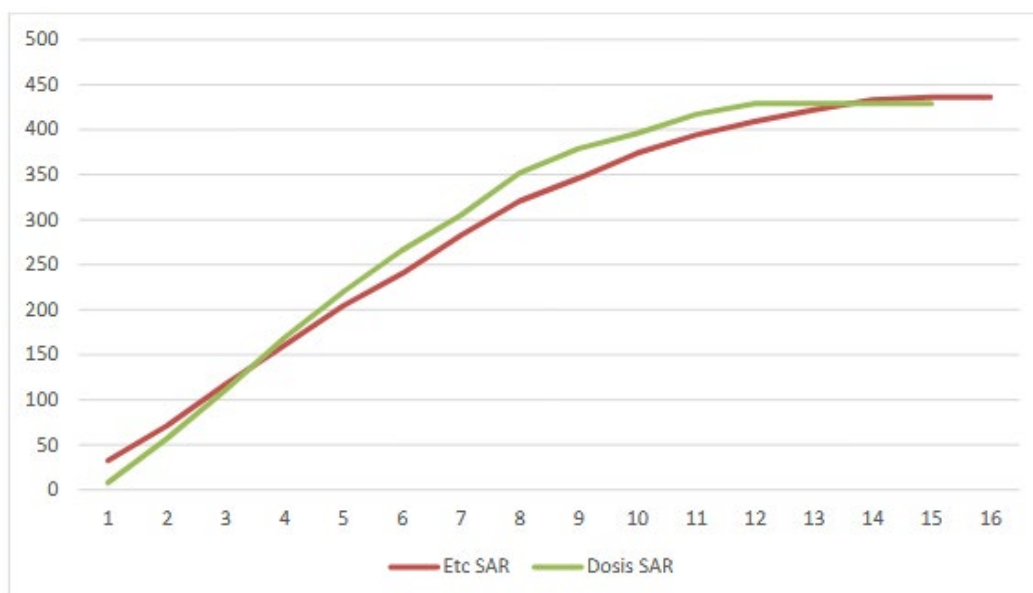


Imagen 31: ETc acumulada (línea roja) y la dosis de riego acumulada recomendada por el SAR (línea verde).

En la mayoría de las semanas la recomendación de riego supera las necesidades del cultivo, la línea de la recomendación de riego se encuentra por encima de las necesidades de riego.

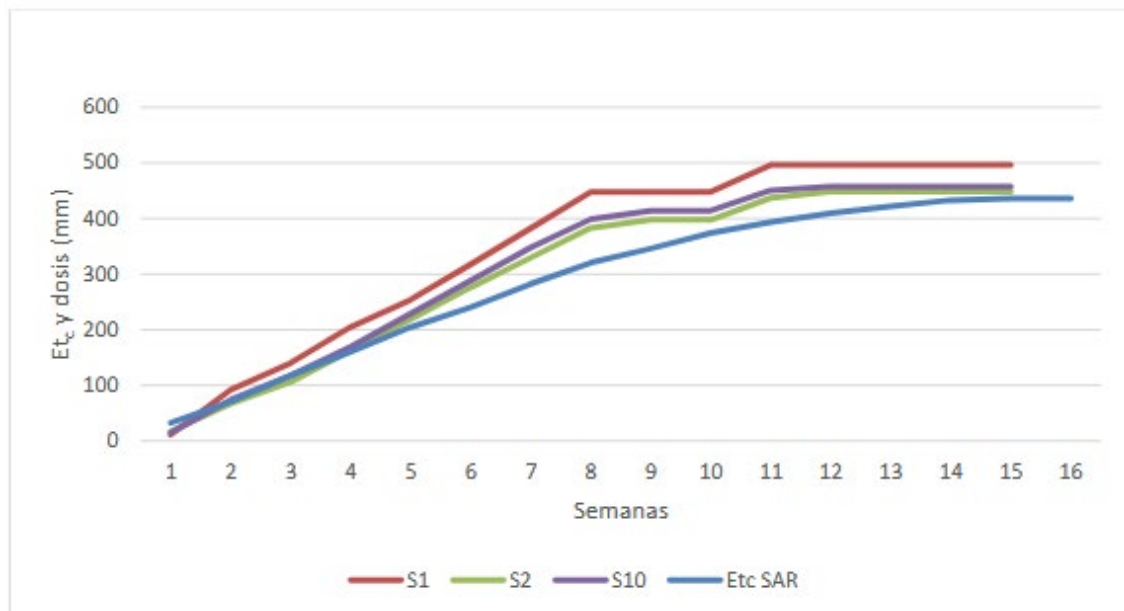


Imagen 32: ETc semanal del SAR y las dosis de riego acumuladas en cada sector (mm), sector 1 (S1), sector 2 (S2) y sector 10 (S10).

El agua aportada al cultivo en cada sector es mayor que la evapotranspiración del cultivo. Además, el agua aportada en el sector 1 es mayor que en el resto de los sectores.

Hay que destacar que las semanas 9 y 10 no se regó debido a que se trató la parcela contra la araña roja. A parte del periodo de seguridad del producto, se estuvo más tiempo sin regar. Después, se mantuvo el riego durante una semana, intentando recuperar el agua de las semanas sin regar, pero al ver que la planta no extraía agua, ya que las sondas no registraban variaciones en las lecturas de humedad, se cortó el riego para que se secasen las plantas para la cosecha, 6 semanas después.

Otra observación que se tuvo en cuenta para detener los riegos fue la comprobación en campo de la aparición del punto negro en los granos de maíz.

12.4. Producción de maíz en el ensayo

La recolección se realizó el 18 de octubre, un día en el que no se esperaban precipitaciones. Se midió la humedad del grano de muestras al azar en la cooperativa para saber si las muestras estaban siendo cosechadas a la misma humedad de grano, y oscilaban

entre 14,6 y 19%. A continuación, se muestra una tabla con el peso medio recolectado en gramos y el PMG medio recolectado en gramos.

Sector	Zona	Peso medio recolectado	PMG medio
1	Arriba	1.232,19	249,78
	Medio-arriba	1.270,26	254,98
	Medio-abajo	1.441,73	238,07
	Abajo	1.422,52	255,44
2	Arriba	1.487,23	239,76
	Medio-arriba	1.528,23	240,68
	Medio-abajo	1.502,64	236,51
	Abajo	1.225,81	201,59
10	Arriba	905,41	249,92
	Medio-arriba	1.121,38	255,56
	Medio-abajo	1.195,29	255,23
	Abajo	1.296,39	233,89

El peso medio recolectado presenta alguna variación, la máxima diferencia se observa en el sector 10 en la zona de arriba. En cuanto al PMG no se aprecian grandes desigualdades de un sector a otro ni de una zona a otra.

13. Discusión

13.1. Observaciones previas

En la zona del sector 1 más próxima a lo yeco se observaba que a la media hora comienza a encharcarse y a correr agua debido a la compactación del suelo. Esta zona coincide con el borde de la parcela, y probablemente, al realizar las labores de la parcela, el agricultor realice los giros con el tractor en esa zona.

La compactación ocurre cuando los agricultores usan muchos pases de maquinaria para preparar la cama de siembra, o cuando disponen de una potencia limitada de tractor y no pueden usar equipos de gran ancho de trabajo; por lo tanto, producen surcos compactados

por las ruedas en espacios estrechos. La compactación puede también desarrollarse en el subsuelo por el pasaje de maquinaria pesada como cosechadoras y camiones cargados, especialmente en condiciones húmedas. El grado de compactación dependerá de la carga total de la maquinaria. (FAO, “Conservación de los recursos naturales para la agricultura sostenible”).

El encostramiento y la escorrentía se acentúan por la excesiva labranza, la cual conduce a la pulverización del suelo y a una progresiva pérdida de materia orgánica del suelo; esto es perjudicial ya que la pérdida de materia orgánica favorece la desintegración de los agregados del suelo. La facilidad con que son destruidos los agregados del suelo en partículas más pequeñas depende de la estabilidad de los agregados. Los suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica generalmente poseen alta estabilidad. (FAO, “Conservación de los recursos naturales para la agricultura sostenible”).

13.2. Humedad del suelo

La diferencia entre las zonas llanas y con pendiente en cuanto a humedad gravimétrica se refiere, es debida a que con la lluvia de riego hace que las partículas de la superficie del suelo sean arrastradas.

Uno de los factores que aumenta la erosión producida por el agua es la pendiente, a medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas en riego por aspersión. El impacto de las gotas de lluvia, cuando caen sobre suelo desnudo, daña los agregados y deterioran la estructura lo que aumenta la infiltración de agua, el escurrimiento, el traslado de partículas y finalmente ocasiona la formación de cárcavas.

La calibración de las sondas es importante porque las ecuaciones de transformación de conductividad eléctrica a contenido volumétrico de agua se calculan en función de diferentes tipos de suelos con sus características, no son representativas de un suelo concreto. Las sondas de DECAGON muestran una mayor igualdad con los datos tomados directamente del suelo. Ya que, si R^2 toma el valor de 1, es un ajuste lineal perfecto. Por el contrario, si toma valores de 0 el modelo no explica nada de la variación total de la variable.

13.3. Dosis de riego aplicada

La cantidad de agua del suelo no varía en función de la frecuencia de riego, debido al exceso de agua que se aplicó. Ya que la dosis de riego que se aplicaba no tenía en cuenta la cantidad de agua almacenada en el suelo. Además, al realizar el redondeo de la recomendación de riego, había semanas en la que se aumentaba hasta en una hora y media el riego, lo que equivale a un aumento semanal de 9,9 l/m².

La aplicación de un exceso de agua tiene consecuencias negativas para la calidad del suelo, puesto que modifica la biota de aeróbica a anaeróbica, acelera la pérdida de nutrientes por lixiviación y volatilización y predispone el suelo a la erosión.

A pesar de esto, en ningún momento de la campaña se ha visto una escorrentía superficial, a excepción de esa zona concreta del sector 1. Las labores del cultivo se realizan de forma perpendicular a la pendiente, lo que ayuda a que no se produzca la escorrentía. En parcelas con pendiente la posición de la planta en la parcela influye más que la duración del pulso de riego en la desigual distribución espacial del agua aplicada.

En un principio se estableció que los riegos no iban a ser condicionados por las humedades marcadas por las sondas, pero debido al problema que hubo, las plantas comenzaron a secarse, se intentó compensar el agua que no había sido suministrado durante esas semanas, para reponerlo en el suelo, y se observó que el cultivo ya no era capaz de absorber el agua. Por lo que se decidió cortar el riego, y que las plantas siguiesen secándose para la cosecha.

El punto negro en el grano es otro indicador de madurez fisiológica. La aparición de este se corresponde con el desarrollo de una capa de abscisión en la punta del grano que impide una mayor acumulación de materia seca. Las células especializadas en la transferencia de nutrientes en la base del grano también se colapsan y crean una barrera que detiene el movimiento de azúcares hacia el grano.

14. Conclusiones

- Para las diferentes frecuencias de riego y zonas de la parcela no se han encontrado diferencias en cuanto al comportamiento del cultivo y la eficiencia de riego. Debido al exceso de agua aplicado durante todo el ciclo.

- Para poder hacer un uso más eficiente del agua de riego no solo basta con el dato de las necesidades del cultivo, sino que hay que conocer también la cantidad de agua presente en el suelo.
- El SAR se adapta correctamente a las necesidades del cultivo, en ningún momento se ha visualizado un déficit por una recomendación de riego no aproximada.
- Las labores realizadas en la parcela influyen en el comportamiento del suelo con el agua. Al realizar las labores perpendiculares a la pendiente ha favorecido a la hora de la formación de escurrimiento.
- Para la zona en la que se ha realizado el estudio, con una textura de suelo franco arcillosa, las sondas que más se aproximan a los datos obtenidos son las de la casa comercial DECAGON.

15. Imágenes del cultivo durante los riegos







