AXENCIA GALEGA DA CALIDADE ALIMENTARIA

Fondo Europeo Agrícola de Desenvolvemento Rural: Europa inviste no rural

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Xacobeo 21·22

Regavid

Memoria justificativa ***Grupo Operativo REGAVID****: Herramienta de gestión del riego que evalúa las necesidades hídricas actuales del viñedo y predice las futuras.*

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 3
ACTIVIDAD 1. Definición de zonas de estudio. 3
ACTIVIDAD 2. Instalación de equipamiento 6
ACTIVIDAD 3. Definición de tratamientos. 11
ACTIVIDAD 4. Medidas de contenido de agua en suelo. 11
ACTIVIDAD 5. Controles en campo. 13
ACTIVIDAD 6. Desarrollo de modelos. 24
ACTIVIDAD 7. EJECUCIÓN DEL PLAN DE DIVULGACIÓN. 35
ACCIONES ADICIONALES. 86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 90

INTRODUCCIÓN.

Descripción general del proyecto y actividades.

El objetivo del presente proyecto es la implementación de una herramienta para la gestión del riego que permita evaluar las necesidades hídricas actuales del viñedo y predecir los requerimientos de riego a futuro.

El estudio se ha llevado a cabo en una parcela de Martín Códax situada en la Denominación de Origen Monterrei, en una de las zonas de Galicia donde el clima es más seco y, por tanto, las necesidades hídricas son más evidentes. La parcela experimental se ha dividido en dos zonas de estudio en las que se aplican distintos tratamientos de riego. La parcela dispone de una estación meteorológica y de una predicción meteorológica a nivel local. En cada zona de estudio se han instalado sensores de humedad de suelo. Además, se han realizado medidas TDR periódicas, y distintos controles en campo, como el seguimiento de la fenología o el registro de los manejos culturales, así como el análisis cualitativo de la uva final, y la dinámica de extracción de nutrientes. Con toda la información recogida en el proyecto se ha desarrollado un sistema de gestión del riego que permite determinar las necesidades hídricas actuales del viñedo y estimar las necesidades hídricas a futuro.

La herramienta incorpora los datos medidos por las estaciones meteorológicas y los datos de humedad de suelo obtenidos a través de los sensores instalados en la parcela experimental. Las medidas proporcionadas por los sensores de humedad de suelo se han correlado con los datos de contenido de agua en suelo obtenidos periódicamente, a lo largo de todos los meses de duración del GO, mediante sondas TDR. Esta correlación ha permitido caracterizar los sensores de humedad de suelo usados de forma más habitual en los viñedos gallegos.

Para implementar la herramienta se ha realizado un ajuste efectivo del coeficiente del cultivo (K_c) a partir de las medidas realizadas en campo. Para implementar esta modelización se ha caracterizado el dosel vegetal y la cobertura del suelo, así como la vegetación activa en cada estado fenológico. Por ello, es necesario conocer y registrar los manejos culturales realizados en el viñedo que afectan a la vegetación activa, para realizar la calibración y validación del modelo SIMDualKc para el viñedo en estudio.

Para realizar la estimación de las necesidades hídricas a futuro el sistema ha tenido en cuenta los datos de la predicción meteorológica a 7 días. A partir de los datos de esta predicción se ha obtenido información de la pluviometría, y se ha implementado un modelo de predicción a 7 días de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico.

Se detallan a continuación las actividades de ejecución realizadas en el proyecto.

ACTIVIDAD 1. DEFINICIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO.

Tarea 1.1. Tamaño de unidades de actuación.

La ejecución de REGAVID se ha realizado en una parcela de Martín Códax en la DO Monterrei. Se trata de un viñedo ubicado en Bustelo, Vilardevós, a una altitud de 685 m. Plantado en 2013, posee 64 hectáreas, 51 de ellas de variedad godello, que será la variedad de estudio. El marco de plantación es de 2,4 x 1,2 y posee una instalación de riego por goteo con goteros de 2 l/hora separados 1 metro de distancia.

Para definir el tamaño de las unidades de actuación se realizó una visita a la parcela el 6 de abril de 2022 en la que el personal de Martín Códax, la USC y Monet determinaron la zona de estudio de la parcela en la que se definen las diferentes estrategias de riego. Así, se han empleado para el estudio de REGAVID el sector 2D – fila 1-2-3 y el sector 2D – fila 7-8-9. La Fig. 1.1.1. muestra el detalle del sector de interés. En la campaña 2023 se incluyó a propuesta de Martín Codax el tratamiento secano en las filas 4-5-6 del mismo sector. En todos los tratamientos se han establecido tres bloques de estudio: A, B y C.



Fig. 1.1.1. Detalle del sector de interés (2D)

Tarea 1.2. Número de sensores a implementar.

Tras la elección de los sectores (Tarea 1.1), el personal de Martín Códax, USC y Monet estudiaron el tipo y número de sensores a instalar. Se optó por emplear sensores de humedad de suelo tipo Watermark – Irrometer. En cada sector se ubican los sensores en tres localizaciones diferentes, debajo de goteros secuenciales, y, en cada localización, se dispone de tres sensores a diferentes profundidades: 15 cm, 30 cm y 45 cm. De esta forma, en cada sector bajo estudio se dispone de 9 sensores tipo Watermark – Irrometer.

Tarea 1.3. Zonificación con Mapa de Conductividad Eléctrica Aparente.

Previamente al inicio de las mediciones de la primera anualidad la USC realizó la caracterización del suelo de la parcela, empleando un equipo de medición electromagnética de la conductividad eléctrica aparente del suelo (CE_a) (EM38-DD, Geonics) cuyos resultados se recogen en el siguiente mapa, permitiendo evaluar la variabilidad espacial de la parcela respecto a las características del suelo entre las filas de estudio propuestas en la Tarea 1.1. Se mantiene el

diseño propuesto al observarse pequeñas variaciones en la CE_a entre las zonas en las que implementar los puntos de medida y control.

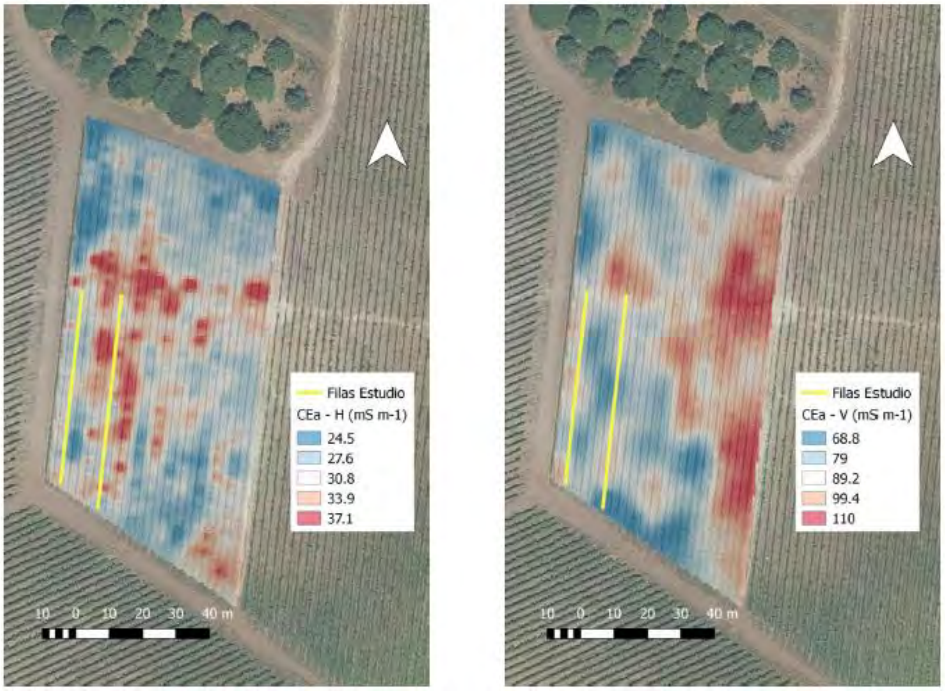


Fig. 1.3.1. Zonificación de la conductividad eléctrica aparente del suelo de la parcela de estudio

Tarea 1.4. Análisis de muestras de suelos.

Al inicio de la primera anualidad, junio 2022, y en mayo de 2024, la USC realizó la toma de muestras de suelo, y su posterior preparación para su análisis por el Depto. de Edafoloxía en la EPSE de Lugo (Campus Terra-USC). Los resultados se recogen en la siguiente tabla. Destacando las diferencias en la textura del suelo en el año 2022, entre las filas 1-2-3 y las 7-8-9, siendo en el primer caso un suelo franco limoso, y en el segundo un suelo franco. En los análisis del año 2024 los valores medios de textura muestran que en los tres casos se trata de un suelo franco.

Tabla 1.4.1. Resultados de análisis de suelos. Promedios desviación típica.. Campañas 2022 y 2024

Junio 2022

							cmol(+) kg^{-1}					
		FG (%)	FF (%)	pH (H_2O)	pH (KCl)	C.E (µS/cm)	Ca	Mg	Na	K	Al	CICe
Secano	**Media**	40.7	59.3	5.41	4.70	65.02	3.45	2.27	0.10	0.38	0.44	6.64
Fila 3	**Des. Tip.**	6.3	6.3	0.27	0.25	9.37	1.41	0.85	0.04	0.13	0.33	2.05
Riego M. Codax	**Media**	47.4	52.6	5.73	4.97	84.50	5.97	3.15	0.11	0.55	0.21	9.98
Fila 8	**Des. Tip.**	2.7	2.7	0.19	0.22	23.18	1.82	1.10	0.05	0.22	0.13	2.88

		%	mg kg^{-1}	%						%		
		Al	P	C	N	M.O.	C/N	K/Mg	Ca/Mg	Arena	Limo	Arcilla
Secano	**Media**	8.88	29.12	3.99	0.22	6.87	18.00	0.18	1.50	26.4	52.3	21.3
Fila 3	**Des. Tip.**	9.48	15.58	0.72	0.03	1.24	1.17	0.07	0.27	6.4	3.9	3.8
Riego M. Codax	**Media**	2.55	28.48	4.81	0.25	8.29	19.36	0.19	1.95	35.3	45.0	19.8
Fila 8	**Des. Tip.**	1.89	19.06	0.86	0.03	1.49	1.30	0.09	0.33	3.2	3.0	0.9

Mayo 2024

							cmol(+) kg^{-1}					
		FG (%)	FF (%)	pH (H_2O)	pH (KCl)	C.E (µS/cm)	Ca	Mg	Na	K	Al	CICe
Regavid	**Media**	57.7	42.3	5.6	4.9	294.8	3.2	2.6	0.1	1.1	0.3	7.2
Fila 3	**Des. Tip.**	3.8	3.8	0.1	0.10	292.2	0.5	0.3	0.0	0.1	0.10	0. 8
Secano	**Media**	58.4	41.6	5.9	5.2	130.6	6.1	3.6	0.0	1.1	0.1	10.9
Fila 6	**Des. Tip.**	0.7	0.7	0.3	0.3	23.0	0.9	0.4	0.0	0.10	0.1	1.1
M. Codax	**Media**	57.6	42.4	5.8	5.1	125.5	4.6	2.7	0.1	1.3	0.2	8.8
Fila 8	**Des. Tip.**	3.0	3.0	0.2	0.2	18.8	0.9	0.9	0.0	0.2	0.2	1.6

		%	mg kg^{-1}	%						%		
		Al	P	C	N	M.O.	C/N	K/Mg	Ca/Mg	Arena	Limo	Arcilla
Regavid	**Media**	4.32	42.46	3.86	0.22	6.66	17.18	0.42	1.20	26.3	47.5	26.1
Fila 3	**Des. Tip.**	1.82	24.56	0.75	0.03	1.29	0.92	0.02	0.08	1.0	2.8	1.8
Secano	**Media**	1.35	63.34	5.24	0.29	9.04	18.01	0.30	1.72	30.5	42.9	26.6
Fila 6	**Des. Tip.**	1.23	24.04	0.21	0.02	0.35	0.72	0.06	0.12	0.7	0.7	0.0
M. Codax	**Media**	2.35	54.01	4.75	0.25	8.19	19.02	0.54	1.76	38.9	35.7	25.4
Fila 8	**Des. Tip.**	2.01	27.58	0.53	0.03	0.92	0.44	0.23	0.28	0.9	0.0	0.9

ACTIVIDAD 2. INSTALACIÓN DE EQUIPAMIENTO.

Tarea 2.1. Instalación de sondas de suelo.

Una vez acotadas las zonas de estudio (Tarea 1.1) y seleccionado el tipo y número de sensores de humedad de suelo (Tarea 1.2) se procedió a la instalación de las sondas de suelo el 21 de junio de 2022. Tanto en el sector 2D – fila 3 (sector de secano durante la primera anualidad) como en el sector 2D – fila 8 (sector de regadío con la estrategia de riego habitual empleada por Martín Códax) se instalaron 9 sensores de humedad de suelo tipo Watermark – Irrometer, debajo de goteros secuenciales en 3 localizaciones diferentes, denominadas L1, L2 y L3 en

sentido creciente a medida que se alejan del poste principal, donde está ubicado el transmisor. Se instalaron de manera conjunta, en un mismo agujero, los sensores de 15 y 30 cm de profundidad y el de 45 cm en un agujero aparte, pero debajo del mismo gotero. Se marcaron con cintas las plantas bajo estudio y se instalaron sensores en los goteros intermedios, para no dañar las raíces más próximas a las plantas.

Tras la instalación se contaron las cepas existentes en cada hilera bajo estudio. En el sector de secano se dispone de 36 cepas y en el sector de regadío se dispone de 40 cepas.

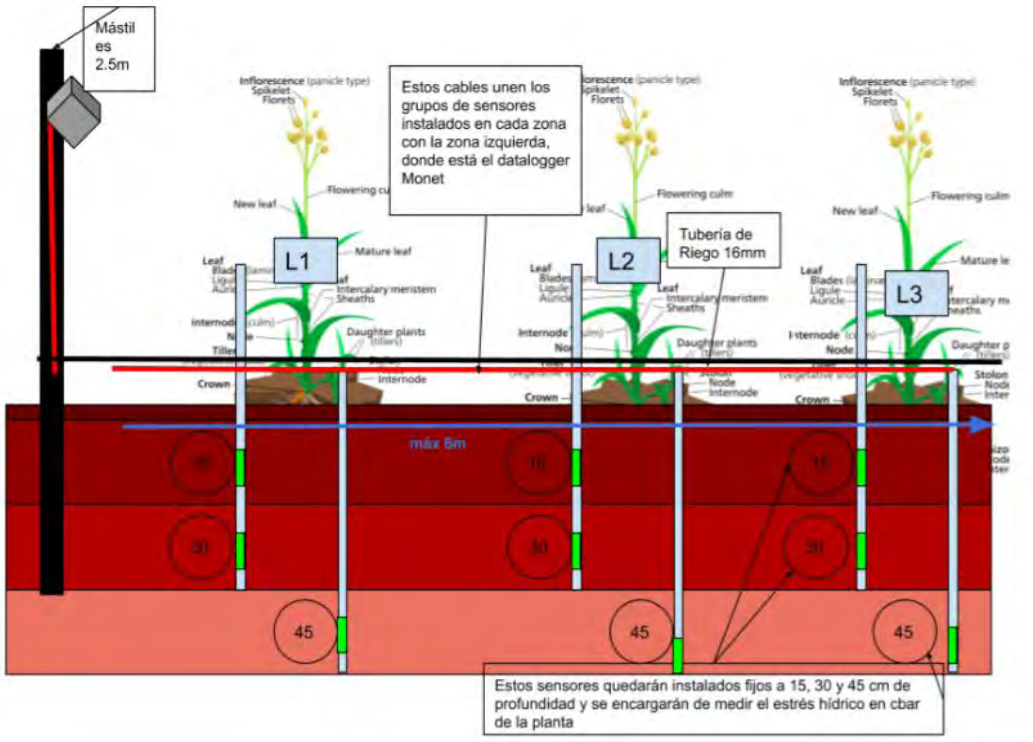


Fig. 2.1.1. Esquema de instalación de sondas de suelo en cada sector



Fig. 2.1.2. Instalación de sondas de suelo – 21/6/2022

En la anualidad 3 se rompió la antena de uno de los equipos. Se reparó el 7 de agosto del 2024.



Fig. 2.1.3. Rotura de antena reparada el 07/08/2024

Tarea 2.2. Instalación de puntos de control - TDR- 60 cm.

Una vez acotadas las zonas de estudio, la USC instaló sondas de control de contenido de agua a 45 cm, iniciando las medidas a finales de junio de 2022. En total se instalaron 12 puntos de

medida por tratamiento, dos puntos por bloque (A, B y C). Además, a finales de 2022, se llevó a cabo la instalación de varillas de 15 cm de profundidad en los tratamientos Regavid y Martín Codax (6 puntos de control por tratamiento), para evaluar la dinámica del agua en superficie.



Fig. 2.2.1. Instalación de puntos de control

Tarea 2.3. Contadores para el control de volumen de agua aplicado.

Conjuntamente con la instalación de las sondas de suelo se instalaron caudalímetros para controlar el volumen real de agua aplicado en cada tratamiento.

En la zona de regadío (sector 2D – filas 7,8,9) queda instalado el contador de agua el 21 de junio de 2022, aunque posteriormente, el 22 de julio 2022, se reubicó para dejarlo sujeto a un mástil en lugar de en el suelo como se había instalado inicialmente. El número de goteros desde el contador de agua es de 82.

En el sector de secano (sector 2D – fila 1,2,3) no se dejó instalado inicialmente el contador de agua, pues las tuberías de las filas 1-5 se cortaron de manera que no tengan riego durante la campaña 2022.



Fig. 2.3.1. Instalación de caudalímetro en zona de regadío (sector 2D – fila 8) – 21/06/2022

En la anualidad 2, el 16 de mayo del 2023, se instaló el contador de agua de la zona de secano, ahora reconvertida en zona con riego REGAVID.



Fig. 2.3.2. Instalación de caudalímetro en zona de riego REGAVID (sector 2D – fila 3) – 16/05/2023

El contador de agua del sector de regadío se reinstaló en la anualidad 3, el 10 de abril del 2024. Posteriormente, se averió y fue necesario repararlo el 1 de julio de 2024



Fig.2.3.3. Avería y sustitución de contador de agua en zona REGAVID – 16/05/2023

Tarea 2.4. Evaluación del sistema de riego. Antes de empezar los tratamientos de cada zona la USC realizó una evaluación del sistema de riego en cuanto a uniformidad de distribución, rango

de presión y caracterización de los goteros. Obteniéndose una elevada uniformidad de distribución: 98,4%, con un caudal medio por emisor de 2,04 l h^{-1}.

ACTIVIDAD 3. DEFINICIÓN DE TRATAMIENTOS.

Tarea 3.1. Secano y riego MARTÍN CÓDAX (MC).
Para el primer año de ejecución se ha reservado una zona que será tratada con la estrategia de riego que habitualmente emplea MARTÍN CÓDAX y la otra será una zona de secano. La zona de regadío se corresponde con el sector 2D – filas 7-8-9 de la parcela experimental y la zona de secano con el sector 2D – fila 1-2-3.

Tarea 3.2. Riego REGAVID y riego MC.
Esta tarea se ha realizado en la segunda y tercera anualidad del proyecto, en la que una zona se ha tratado con la estrategia de riego que habitualmente emplea MARTÍN CÓDAX, para la que se siguió empleando el sector 2D – fila 7-8-9 y la otra zona se ha regado de acuerdo a las indicaciones de la herramienta REGAVID, empleando para ello el sector 2D – fila 1-2-3 de la parcela. Además de un tratamiento secano a propuesta de Martín Codax, empleando las filas 4-5-6 del sector 2D.

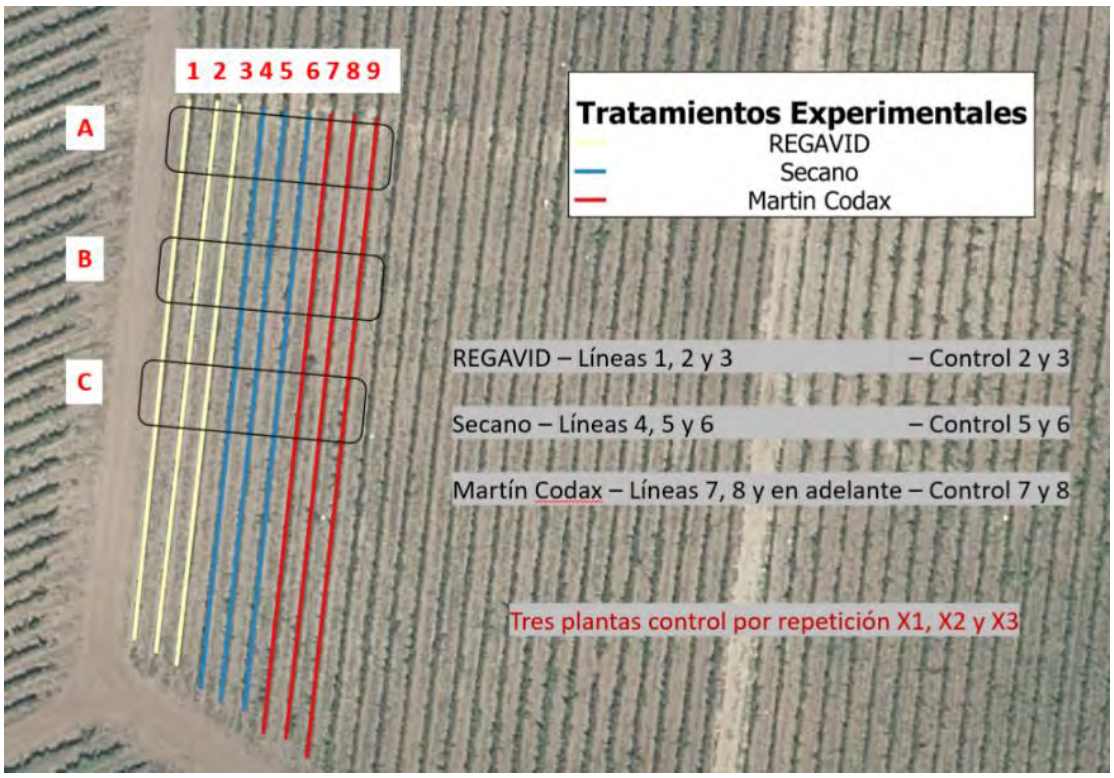
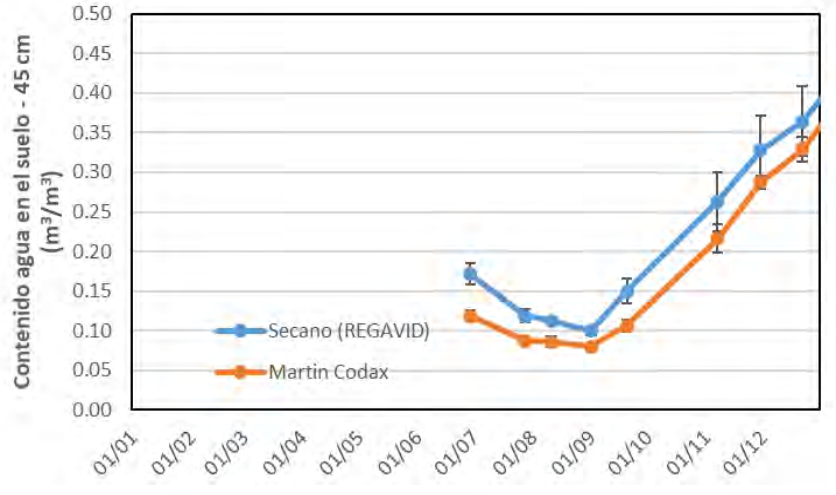


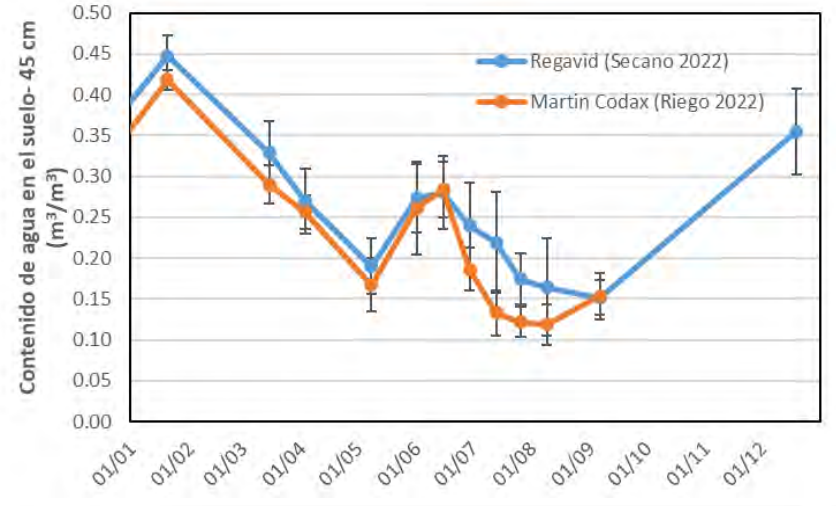
Fig. 3.2.1. Esquema experimental de tratamientos. Campaña 2023 y 2024

ACTIVIDAD 4. MEDIDAS DE CONTENIDO DE AGUA EN SUELO.

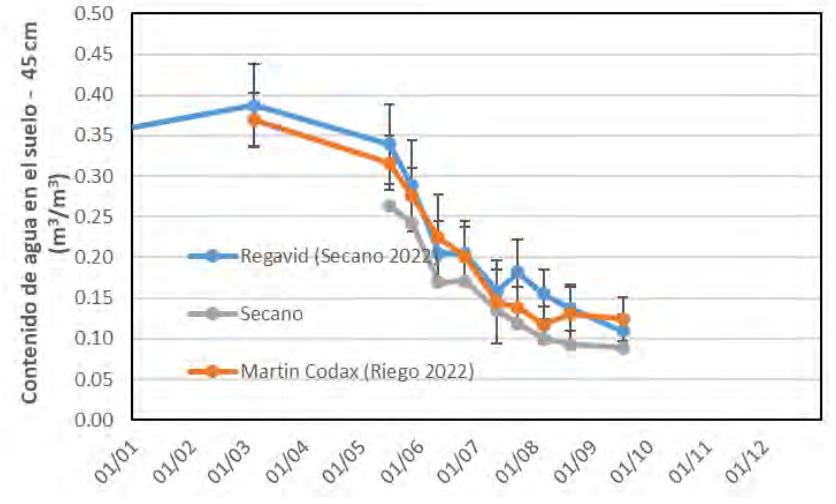
Tarea 4.1. Medición TDR.
Las mediciones TDR (Time Domain Reflectometry) se realizan, durante toda la ejecución del proyecto, una vez al mes desde octubre hasta el 15 de mayo. Desde el 15 de mayo hasta septiembre se realizan medidas con periodicidad quincenal. Los resultados obtenidos durante las tres campañas de estudio se recogen en la siguiente figura.



a)



b)



c)

Fig. 4.1.1. Contenido de agua en el suelo TDR (45 cm). Campañas 2022, 2023 y 2024

ACTIVIDAD 5. CONTROLES EN CAMPO.

Tarea 5.1. Equilibrio de carga de las plantas de las zonas de estudio.

Para mantener el equilibrio de carga de las plantas de las unidades experimentales se dejará el mismo número de brotes por planta que determinará MARTÍN CÓDAX al inicio de cada campaña. El número de brotes que se ha dejado en cada anualidad corresponde a la siguiente carga de poda. Cada planta consta de 10 pulgares de dos yemas por pulgar lo que supone una carga de 20 yemas por planta. Esta carga es equivalente a 13.5 brotes por metro lineal de estructura. La carga de brotes es ajustada mediante una poda en verde, retirando los brotes adventicios cuando tienen un desarrollo de 3 -5 hojas visibles .

Tarea 5.2. Seguimiento de fenología del cultivo.

Durante toda la ejecución, entre marzo y septiembre, MARTÍN CÓDAX y USC, han realizado un seguimiento de la fenología. Las tablas de fenología de cada anualidad se adjuntan a continuación:

Tabla 5.2.1. Seguimiento de fenología. Campañas 2022, 2023 y 2024

Fecha	Estado Fenológico
29/06/2022	K
28/07/2022	M (5 %)
11/08/2022	M (100 %)
01/09/2022	N (20 Brix)
20/09/2022	Vendimia restantes plantas
27/09/2022	Vendimia experimental
07/11/2022	Agostamiento
30/11/2022	Caída hojas. Abono Gallina - Calles alternas (2-3 y 8-9)
15/06/2023	-
29/06/2023	L (80%)
13/07/2023	L (100%)
26/07/2023	L - M (5%)
03/08/2023	M (30%)
09/08/2023	M (60 %) - Regavid 10.5 - Secano 12.0 - M.Codax 11.0 Brix
06/09/2023	N - Regavid 19.5 - Secano 19.0 - M.Codax 19.0 Brix
21/09/2023	Vendimia
28/05/2024	G - Racimos Separados
11/06/2024	I - Floración 20 %
25/06/2024	J - Cuajado
12/07/2024	L
23/07/2024	L
06/08/2024	L
20/08/2024	M (30 %) - Regavid 11 - Secano 11 - M.Codax 12 Brix
17/09/2024	Vendimia

Tarea 5.3. Caracterización de dosel vegetal y cobertura vegetal activa en la entrelínea y la línea.

Para la caracterización del dosel vegetal y la cubierta vegetal existente, MARTÍN CÓDAX y USC, realizaron el seguimiento de ambas, empleando imágenes que permiten evaluar el grado de cobertura. Como ejemplo se incluyen imágenes de la campaña 2024, en la siguiente figura.



Marzo 2024



Mayo 2024



Junio 2024



Julio 2024





Agosto 2024 Septiembre 2024

Fig.5.3.1. Evolución mensual de la cubierta vegetal y del dosel vegetal. Campaña 2024

Tarea 5.4. Prácticas agronómicas ejecutadas.

Durante toda la ejecución, entre marzo y septiembre de cada anualidad, MARTÍN CÓDAX se encarga de registrar los manejos culturales realizados en las zonas de estudio, especialmente los que afectan a la caracterización del dosel vegetal y la cobertura vegetal activa. Las tablas que recogen los manejos culturales realizados cada anualidad se adjuntan a continuación:

Tabla 5.4.1. Manejos culturales

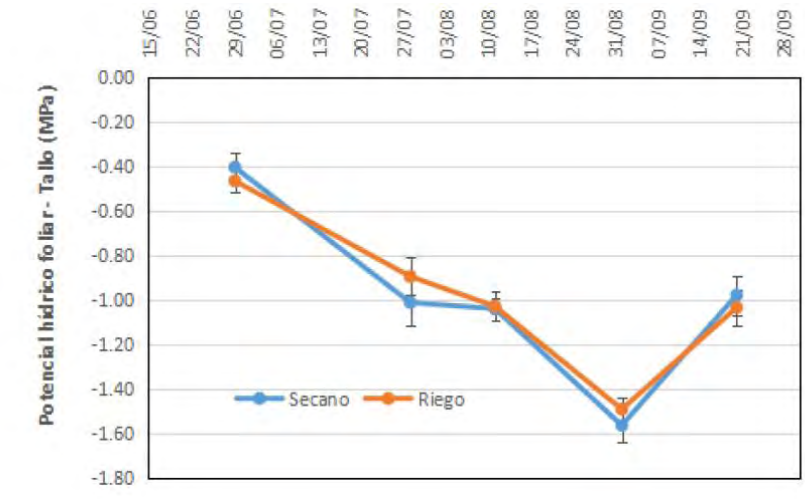
LABOR	***DESCRIPCIÓN***
ABONADO	Abonado de fondo mediante la aplicación de materia orgánica de origen animal (gallinaza).
SUBSOLADO	Generar aireación en el suelo para descompactar el terreno, y así favorecer el desarrollo radicular.
PODA	Poda manual, ajustando la carga de poda a 10 pulgares de dos yemas por planta.
HERBICIDA	Antes de la brotación se aplica el primer pase, para favorecer que la planta tenga la mínima competencia, a la vez que se reduce el riesgo de heladas. Posteriormente durante el año se realizan otros dos pases para controlar la competencia en la línea de las plantas.
DESBROCE	El desbroce en la calle evita competencia en momentos clave del ciclo (brotación y floración), y favorece el mantenimiento de una cubierta vegetal beneficiosa para el suelo . Se realizaron 4 pases de desbroce en la calle.
PODA VERDE	Para evitar que la carga de brotes de la poda se desajuste con adventicios, se realiza una poda verde manual que elimina estos brotes poco productivos pero muy demandantes de recursos a la planta, a la vez que se ajusta la carga a la proyectada inicialmente.
DESPUNTE	Al final de floración se realiza el primer despunte, para favorecer al cuajado del fruto, se despuntan los ápices promoviendo así la concentración de los recursos de la planta en el cuajado de las bayas. Posteriormente, y para conservar la geometría de la espaldera y evitar sombreamientos en la zona de los racimos , se despunta tanto horizontal como verticalmente hasta parada vegetativa. Con este objetivo, se realizan 3 despuntes, uno a finales de floración y los otros dos a mediados de julio y mediados de agosto.
DESHOJADO	En el caso del godello es importante la aireación de la zona de racimos para mejorar la sanidad de la producción. Con este objetivo se realizó un deshojado mecánico por ambas caras en el mes de Julio.
FITOSANITARIOS	Con motivo de preservar la sanidad vegetal de la producción se realizaron 9 pases de fitosanitarios, de los cuales 7 fueron con productos anti-mildiu, y los 9 con productos anti-oidio.

Tarea 5.5. Determinación de superficie foliar expuesta.
El personal de la USC se encargó de estimar la superficie foliar expuesta en los dos tratamientos estudiados, para el año 2022, y en los tres tratamientos analizados en las campañas 2023 y 2024. Los resultados se exponen en la siguiente tabla.

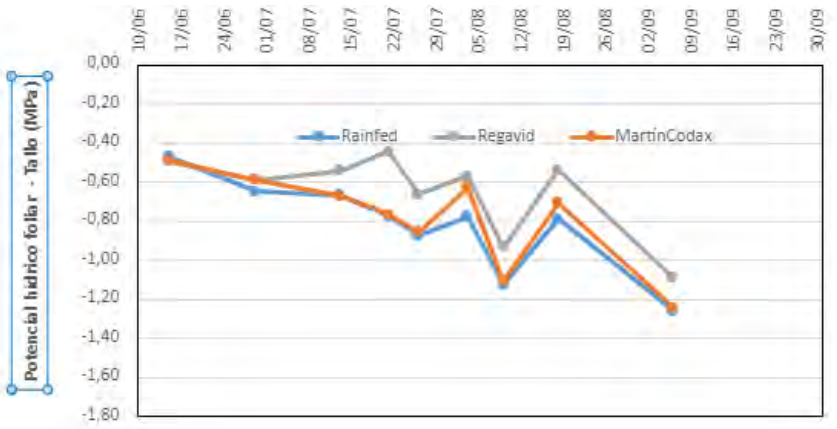
Tabla 5.5.1. Superficie foliar expuesta (m^2 m^{-2}). Valores medios y desv. típica

Tratamiento	Promedio	Desvest
2022		
Secano	1,806	0,189
Martin Codax	1,897	0,082
2023		
Regavid	1,841	0,077
Secano	1,844	0,055
Martin Codax	1,823	0,071
2024		
Regavid	2,078	0,126
Secano	2,052	0,035
Martin Codax	2,029	0,023

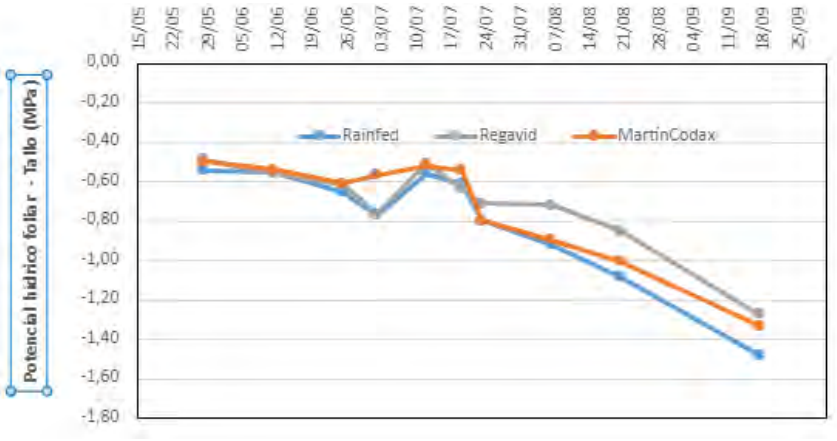
Tarea 5.6. Evaluación de estado hídrico - potencial hídrico de tallo.
En colaboración entre USC y MARTIN CODAX se ha realizado el seguimiento del potencial hídrico foliar, determinando el potencial de tallo a mediodía solar (Figura 5.6.1). Dentro de esta tarea se han realizado además medidas de conductancia estomática (Figura 5.6.2), índice de contenido en clorofila (Figura 5.6.3), y la toma de imágenes térmicas para ambos tratamientos (datos nos mostrados), por parte del equipo de la USC. Los resultados se exponen en las siguientes figuras.



a)

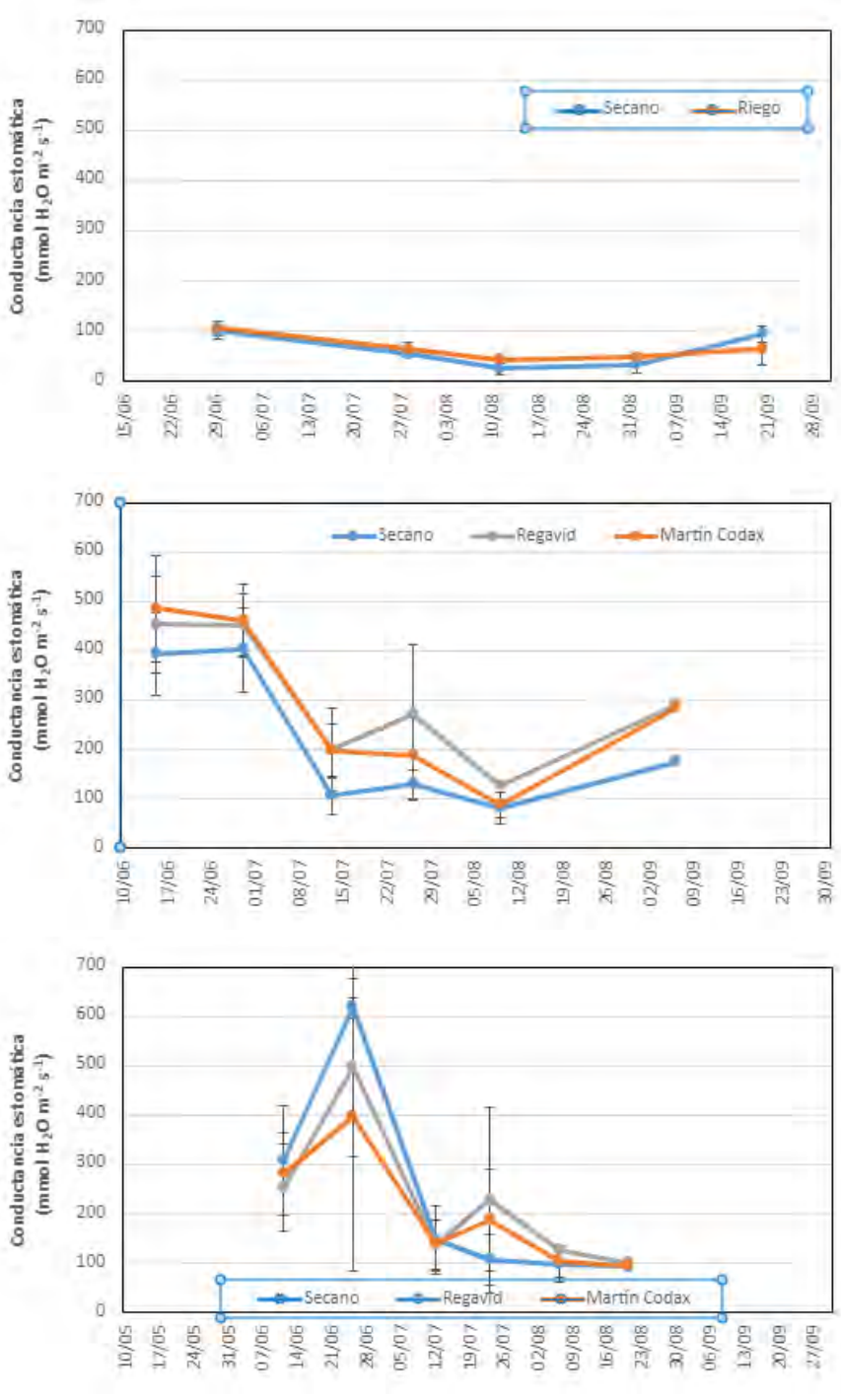


b)



c)

Fig.5.6.1. Potencial hídrico de tallo. Campañas 2022, 2023 y 2024



a)

b)

c)

Fig.5.6.2. Conductancia estomática. Campañas 2022, 2023 y 2024

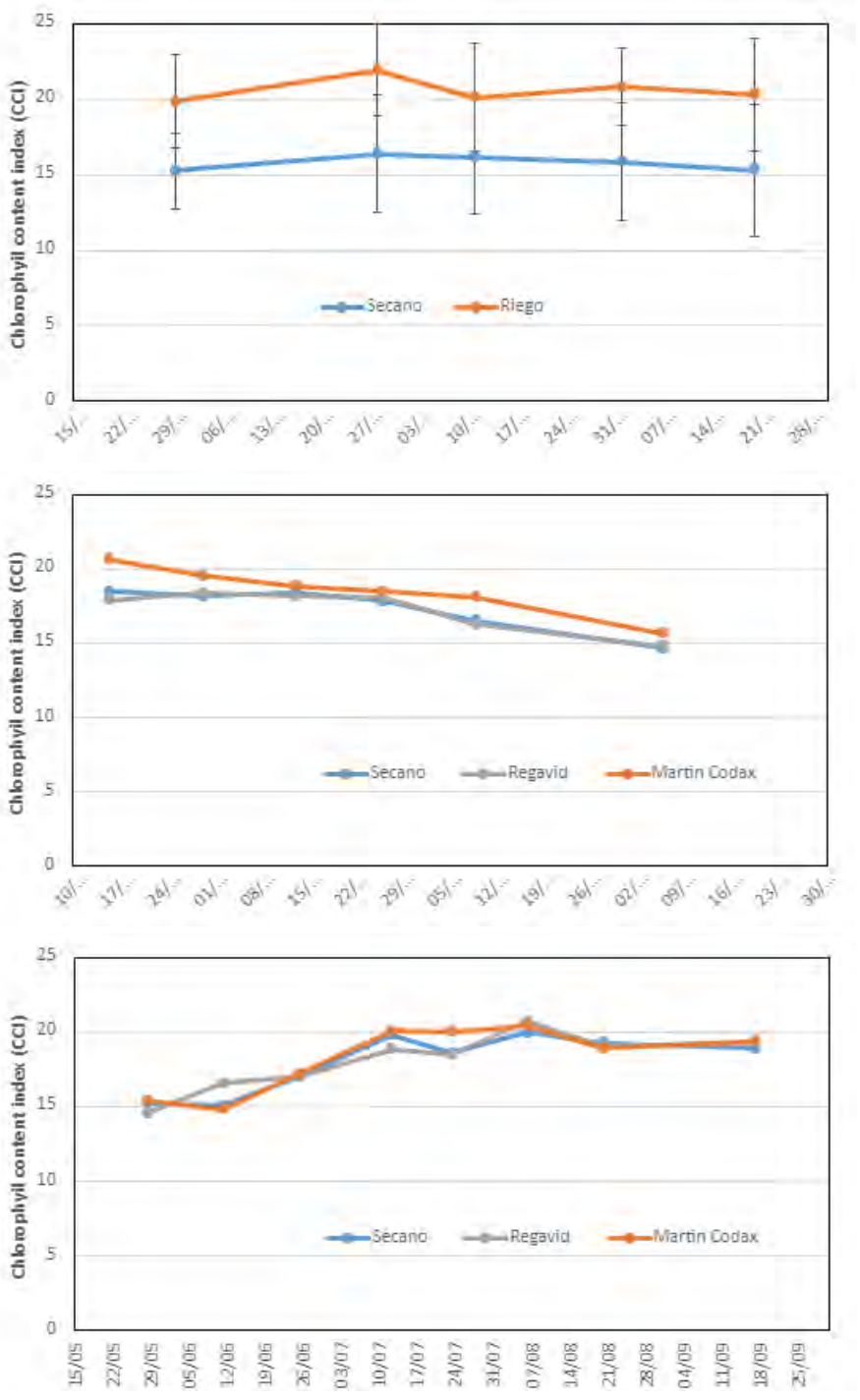


Fig.5.6.3. índice de contenido en clorofila. Campañas 2022, 2023 y 2024

Tarea 5.7. Seguimiento de maduración.

Durante toda la ejecución del proyecto, entre agosto y septiembre, MARTÍN CÓDAX realizó el seguimiento de maduración en las dos zonas de estudio. Las gráficas de maduración de la anualidad 2023-2024 se adjuntan a continuación:

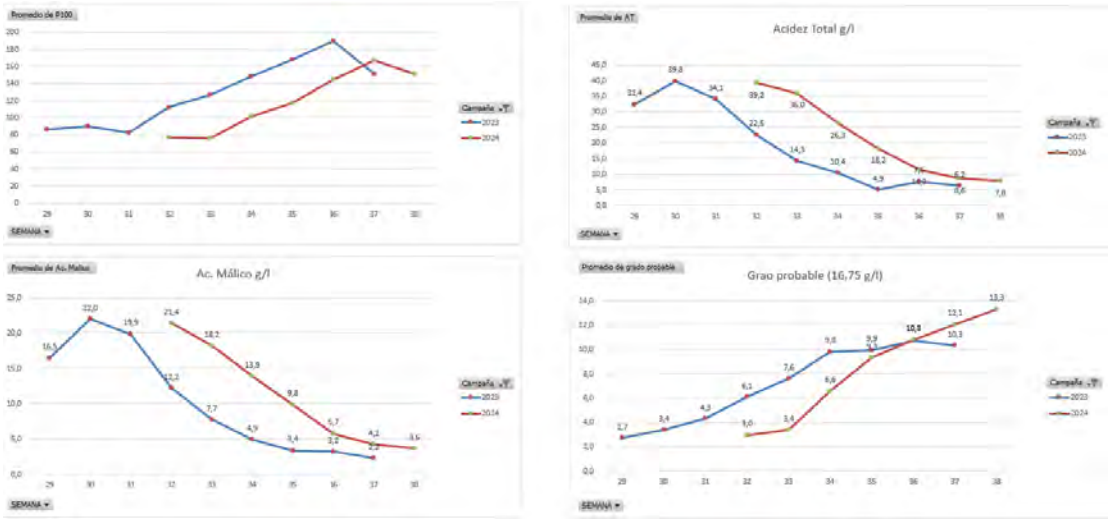


Figura 5.7.1. Seguimiento de maduración cosecha 2023-2024

Tarea 5.8. Evaluación de producción por planta.

Durante las tres campañas de estudio, MARTÍN CÓDAX y USC, realizaron la evaluación de la producción por planta de cada zona de estudio a través de un control de componentes de rendimiento en vendimia. Para ello se realizó la vendimia de un número de plantas control en la que se recogen datos de número de yemas, número de brotes, peso de vendimia total, número de racimos. Se decidirá si así lo justifican estos datos el control del peso de madera de poda para poder evaluar el efecto sobre el vigor de las distintas estrategias. Los datos se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 5.8.1. Control de parámetros de producción. Campañas 2022, 2023 y 2024

TRATAMIENTO	Nº RACIMOS	PRODUCCIÓN POR PLANTA (kg)	PESO MEDIO RACIMO (gr)	Nº SARMIENTOS	PESO MADERA PODA (kg)
2022					
SECANO	20,00	1,700	84,91	20,67	0,887
MARTIN CODAX	20,78	2,443	115,43	20,00	1,026
2023					
REGAVID	38,78	5,959	153,76	-	-
SECANO	30,78	4,633	154,78	-	-
MARTIN CODAX	39,33	5,797	147,73	-	-
2024					
REGAVID	21,889	1,373	59,872	-	-

SECANO	25,778	1,961	83,135	-	-
MARTIN CODAX	23,333	1,649	67,688	-	-

Tarea 5.9. Análisis cualitativo de mostos.

Durante toda la ejecución, en el mes de septiembre de cada anualidad, MARTÍN CÓDAX y USC realizan un análisis cualitativo de los mostos, además la USC realiza la determinación de la composición aromática para evaluar la calidad de los mostos obtenidos en cada tratamiento. Los resultados de las anualidades 2023 y 2024 se recogen a continuación.

Tabla 5.9.1. Análisis de parámetros cualitativos de los mostos. Campañas 2023 y 2024

TRAT.	Brix	pH	Acidez T. (g/L)	Tartárico (g/L)	Málico (g/L)	Amonio	Potasio (mg/L)	FAN	IPT
2023									
Regavid	20,9	3,3	4,6	2,4	2,1		1582,5	115,0	5,6
Secano	20,3	3,4	3,7	2,4	1,7		1675,8	146,3	6,6
Martin Codax	20,0	3,3	4,0	2,7	1,8		1606,6	140,3	7,0
2024									
Regavid	21,7	3,3	8,5	3,0	3,2	71,7	1239,3	182,0	14,3
Secano	21,2	3,3	7,5	2,6	3,2	93,3	1238,0	220,3	10,0
Martin Codax	22,4	3,2	7,7	2,4	3,6	92,3	1191,0	217,7	7,0

Para el análisis de la composición volátil se dispone de los resultados de la campaña 2023, los cuales se exponen de forma resumida en la Tabla y figuras siguientes.

Tabla 5.9.2. Análisis de la composición volátil de los mostos. Campaña 2023

		Tratamiento					
FAMILIA	FRACCIÓN	REGAVID	SECANO	MARTÍN CODAX	REGAVID	SECANO	MARTÍN CODAX
		µg/L			%		
Acid	Libres	10,16	10,14	33,49	4,2	4,2	14,9
	Ligados	231,42	229,86	190,74	95,8	95,8	85,1
	Total	241,58	240,00	224,23	13,5	14,0	13,3
Alcohol	Libres	31,91	14,23	19,17	12,1	5,5	7,8
	Ligados	231,36	244,30	225,40	87,9	94,5	92,2
	Total	263,27	258,53	244,57	14,7	15,1	14,5
C6	Libres	888,00	777,36	866,09	98,9	98,8	99,0
	Ligados	10,06	9,54	8,82	1,1	1,2	1,0
	Total	898,07	786,89	874,91	50,0	45,9	51,8
Aldehyde	Libres	87,35	96,97	81,56	70,3	72,3	70,1
	Ligados	36,94	37,11	34,84	29,7	27,7	29,9
	Total	124,29	134,08	116,40	6,9	7,8	6,9
C13 - norisoprenoids	Libres	nd	nd	nd	-	-	-
	Ligados	47,48	59,71	47,48	100,0	100,0	100,0
	Total	47,48	59,71	47,48	2,6	3,5	2,8
Esteres	Libres	nd	nd	nd	-	-	-
	Ligados	114,98	105,57	88,85	100	100	100
	Total	114,98	105,57	88,85	6,4	6,2	5,3
Lactone	Libres	3,17	2,90	2,93	88,8	87,7	88,9

FAMILIA	FRACCIÓN	Tratamiento					
		REGAVID	SECANO	MARTÍN CODAX	REGAVID	SECANO	MARTÍN CODAX
		µg/L			%		
	Ligados	0,40	0,41	0,36	11,2	12,3	11,1
	Total	3,57	3,30	3,30	0,2	0,2	0,2
Terpene	Libres	nd	nd	nd	-	-	-
	Ligados	18,75	30,47	16,81	100	100	100
	Total	18,75	30,47	16,81	1,0	1,8	1,0
Volatile phenol	Libres	nd	nd	nd	-	-	-
	Ligados	82,78	97,60	73,56	100	100	100
	Total	82,78	97,60	73,56	4,6	5,7	4,4
TOTAL	Libres	1020,59	901,59	1003,24	56,9	52,5	59,4
	Ligados	774,18	814,58	686,85	43,1	47,5	40,6
	TOTAL	1794,76	1716,16	1690,10	100,0	100,0	100,0

De forma exploratoria en la Figura 5.9.1, se visualizan las principales familias presentes en la composición de cada uno de los tratamientos analizados en la campaña 2023.

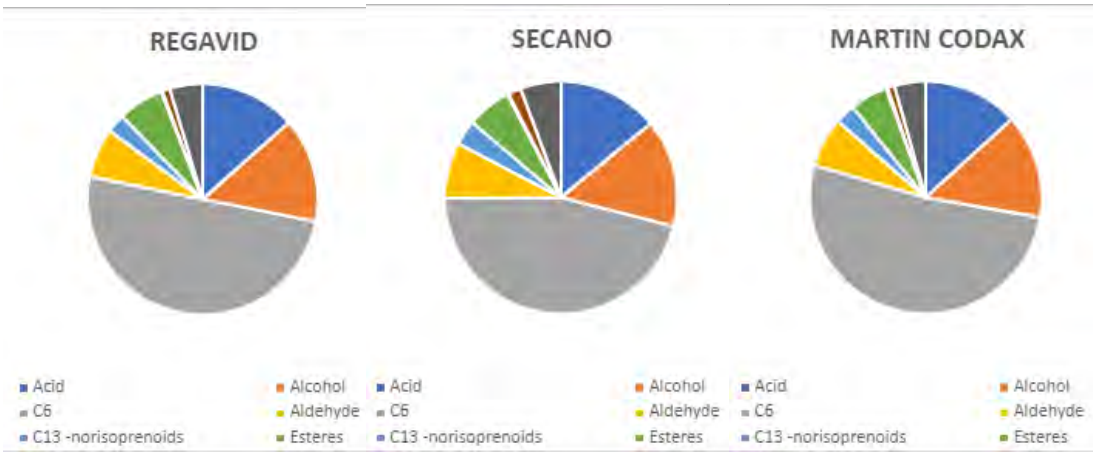


Fig.5.9.1. Reparto por familias, composición aromática. Campaña 2023

ACTIVIDAD 6. DESARROLLO DE MODELOS.

Tarea 6.1. Correlación de los valores obtenidos por los distintos sensores y las medidas TDR.
A partir de julio de 2022 y durante toda la ejecución del proyecto, MONET y USC realizan correlaciones entre los valores de los distintos sensores instalados en las zonas de estudio y los valores de contenido de agua en el suelo obtenidos a partir de medidas TDR. Durante la primera anualidad solamente se han recogido datos. En septiembre de 2023 se disponía de un modelo preliminar con los datos de las dos primeras anualidades (hito H1).

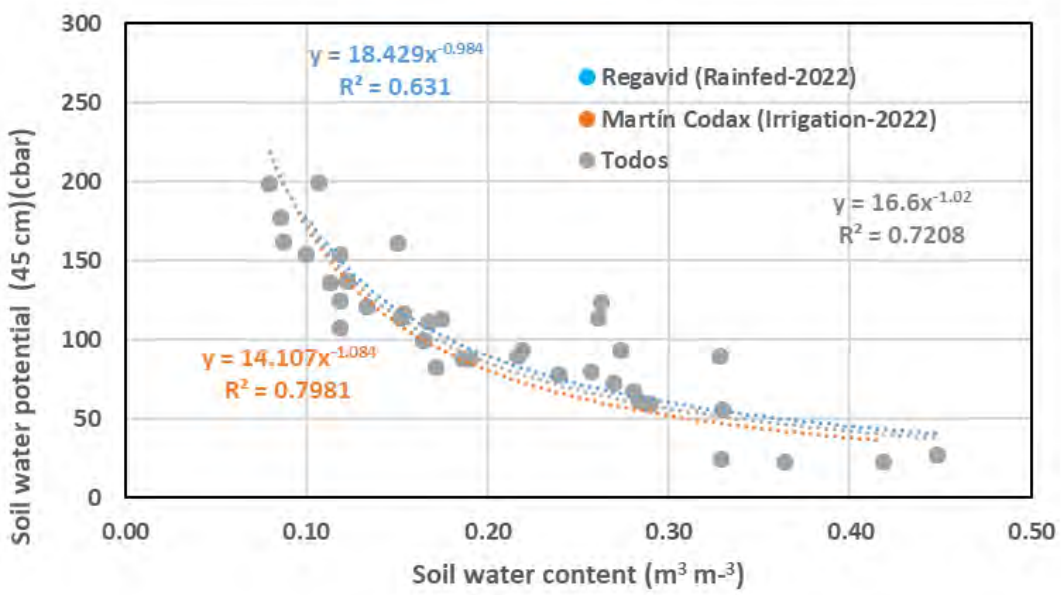


Fig. 6.1.1. Modelo preliminar de correlación de sensores (H1)

Este modelo se testeó el último año para obtener un modelo definitivo en septiembre de 2024 (resultado R1).

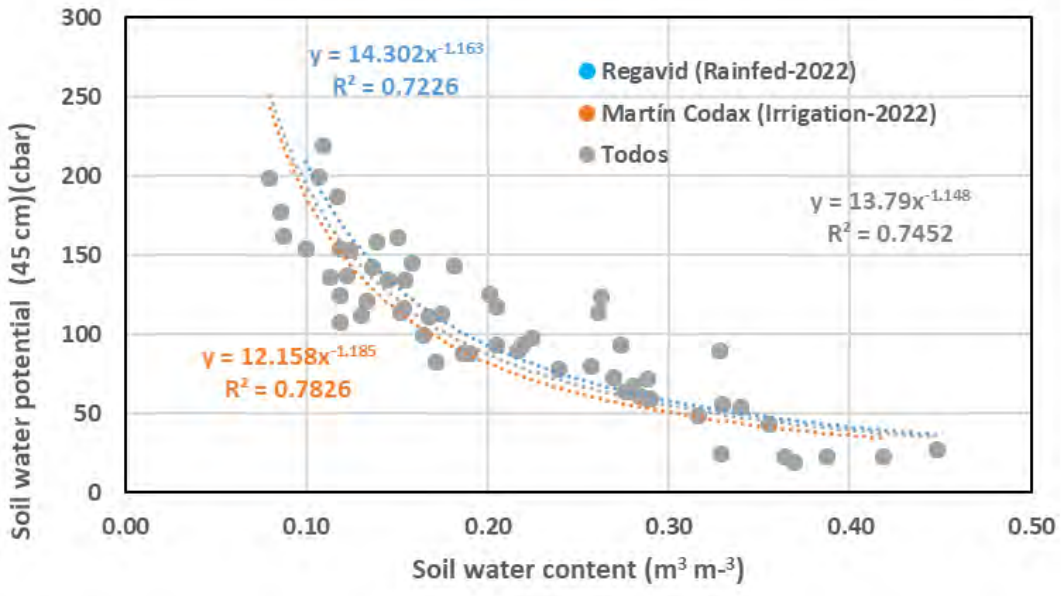


Fig. 6.1.2. Modelo ajustado de correlación de sensores (R1)

Tarea 6.2. Modelado de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica.

El plan de trabajo para esta tarea, realizada por MONET y USC, sigue la misma metodología y cronograma de ejecución que la tarea 6.1. Durante la primera anualidad solamente se han recogido datos. En septiembre de 2023 se disponía de un modelo preliminar de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica empleando datos de las dos primeras anualidades del proyecto (hito H2). La Fig. 6.2.1 muestra una comparativa entre la predicción de necesidades de riego acumuladas a un horizonte de 7 días y las necesidades reales que se midieron una semana después con los datos reales medidos por la estación meteorológica en la campaña 2023. El modelo desarrollado en el hito H2 incorporaba datos de las campañas 2022 (secano) y 2023 (primera campaña de riego REGAVID).



Fig. 6.2.1. Modelo de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica. Modelo preliminar con datos de 2023 (H2)

Este modelo se testeó en 2024 para obtener un modelo ajustado de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica (resultado R2). La Fig. 6.2.2 muestra el modelo ajustado, con una comparativa entre la predicción de necesidades de riego acumuladas a un horizonte de 7 días y las necesidades reales que se midieron una semana después con los datos reales medidos por la estación meteorológica en la campaña 2023.

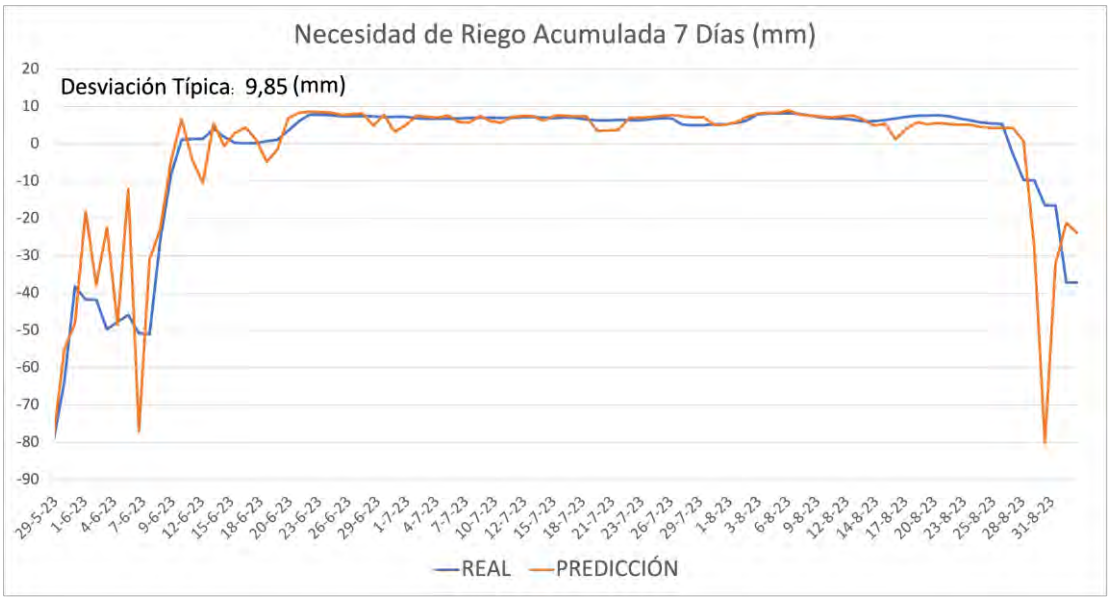


Fig. 6.2.2. Modelo de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica. Modelo para 2023 ajustado con datos de todo el proyecto

Tanto en el modelo preliminar (Fig. 6.2.1) como en el modelo ajustado (Fig. 6.2.2) podemos observar que las mayores discrepancias entre el modelo predictivo y los datos reales medidos una semana más tarde se producen el 5 y el 6 de junio y el 30 de agosto. Estas discrepancias se producen por la diferencia entre la predicción de lluvia y la lluvia real caída, tal y como se muestra en la Fig. 6.2.3. La predicción sobreestimó la lluvia prevista acumulada para la semana posterior, por lo que se interpretó que las necesidades de riego serían menores de lo que realmente fueron una semana más tarde. Hay que tener en cuenta que la predicción se obtiene a una semana vista, por lo que el error que presentan las gráficas se refiere a la discrepancia de la lluvia acumulada a 7 días. En cualquier caso, conviene destacar que, precisamente en esos eventos de lluvia las necesidades hídricas eran negativas y, por tanto, no era necesario regar. Por este motivo, podemos concluir que los momentos en los que el modelo tiene un peor ajuste son los momentos en los que el modelo no es necesario porque no hay necesidades de riego.

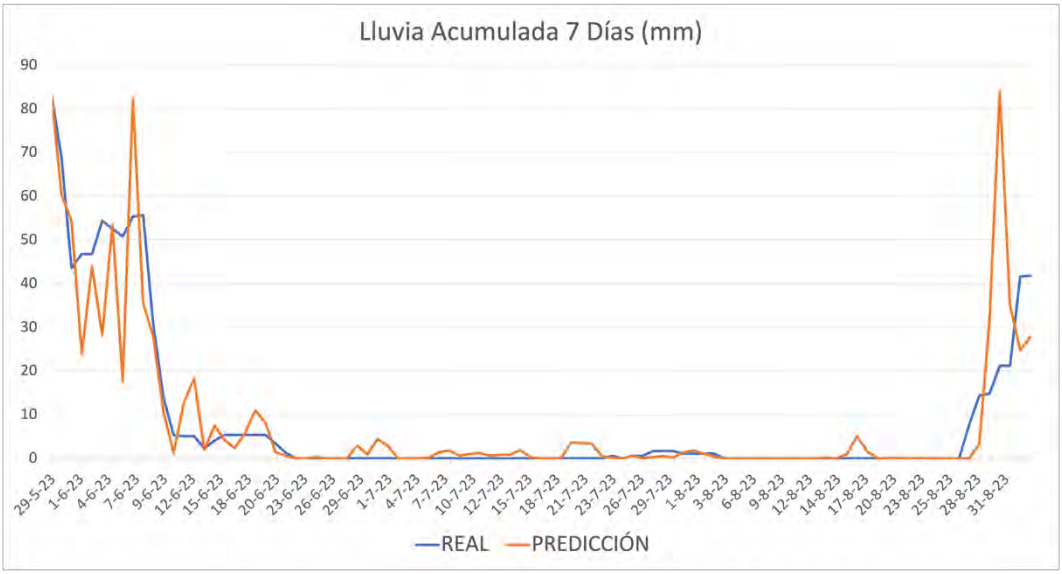


Fig. 6.2.3. Modelo de predicción de lluvia acumulada a 7 días durante la campaña 2023

Las Fig. 6.2.4 y 6.2.5 recogen, respectivamente, los modelos preliminar y ajustado con datos de la campaña 2024.



Fig. 6.2.4. Modelo de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica. Modelo preliminar con datos de 2024



Fig. 6.2.5. Modelo de necesidades hídricas empleando datos de estaciones meteorológicas, mediciones de humedad de suelo y predicción meteorológica. Modelo para 2024 ajustado con datos de todo el proyecto (R2)

Del mismo modo que en la campaña 2023, en el 2024, tanto en el modelo preliminar (Fig. 6.2.4) como en el modelo ajustado (Fig. 6.2.5), podemos observar discrepancias entre el modelo predictivo y los datos reales medidos una semana más tarde. Las mayores diferencias se producen el 23 de junio y el 23 de julio y se deben, de nuevo a la diferencia entre la predicción de lluvia acumulada a 7 días y la medida real de lluvia obtenida una semana más tarde, tal y como muestra la Fig. 6.2.6. Tal y como se comentó en los resultados de 2023, precisamente en esos eventos de lluvia las necesidades hídricas eran negativas y, por tanto, no era necesario regar. Por este motivo, podemos concluir que los momentos en los que el modelo tiene un peor

ajuste son los momentos en los que el modelo no es necesario porque no hay necesidades de riego.

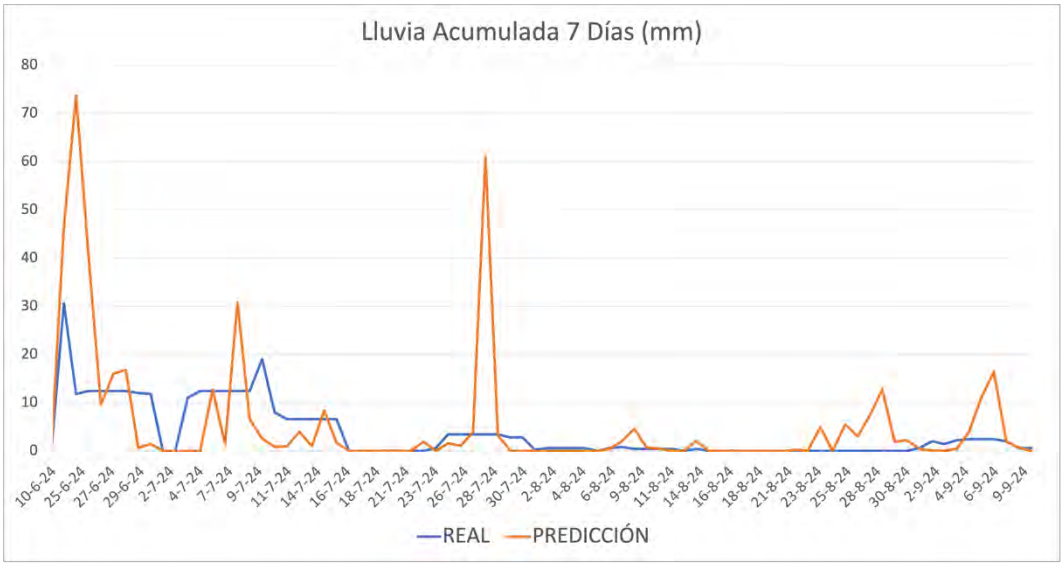


Fig. 6.2.6. Modelo de predicción de lluvia acumulada a 7 días durante la campaña 2024

Tarea 6.3. Ajuste del valor del coeficiente del cultivo (Kc) a partir de las medidas realizadas en campo.

Se empleará el modelo SIMDualKc para poder obtener los valores del K_c en cada fase de cultivo. El plan de trabajo para esta tarea, realizada por MONET y USC, sigue la misma metodología y cronograma de ejecución que la tarea 6.1. Durante la primera anualidad solamente se han recogido datos. En septiembre de 2023 se disponía de un modelo preliminar de ajuste del valor del coeficiente del cultivo (K_c) a partir de las medidas realizadas en campo empleando datos de las dos primeras anualidades del proyecto (hito H3).

La modelización de las necesidades hídricas del cultivo, empleando el modelo SIMDualKc, se realizó empleando datos diarios (precipitación y evapotranspiración de referencia reales), por lo que se obtienen resultados de la evolución de agua en el suelo, a partir del balance de entradas y salidas en el sistema considerado diariamente. Además, es necesario incorporar los hidrolímites del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente y saturación del suelo) para poder emplear el modelo. Cabe mencionar que la presencia de cubierta vegetal activa, complica la implementación del modelo SIMDualKc, siendo necesario incorporar información sobre el estado de la misma, diariamente.

Periodo	Coeficiente cultivo K_c
Inicial - Brotación	0,45
Intermedio - Floración - Envero	0,85
Final - Cosecha	0,65

Tabla 6.3.1. Modelo de ajuste del valor del coeficiente del cultivo (K_c) a partir de las medidas realizadas en campo. Modelo preliminar con datos de 2023 (H3)

Este modelo se testeó el último año para obtener un modelo de ajuste del valor del coeficiente del cultivo (K_c) a partir de las medidas realizadas en campo (resultado R3).

Periodo	Coeficiente cultivo K_c
Inicial - Brotación	0,55
Intermedio - Floración - Envero	0,45
Final - Cosecha	0,25

Tabla 6.3.2. Modelo de ajuste del valor del coeficiente del cultivo (K_c) a partir de las medidas realizadas en campo. Modelo ajustado con datos de todo el proyecto (R3)

Tarea 6.4. Desarrollo de un modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

El plan de trabajo para esta tarea, realizada por MONET y USC, sigue la misma metodología y cronograma de ejecución que la tarea 6.1. Durante la primera anualidad solamente se han recogido datos. En septiembre de 2023 se disponía de un modelo preliminar de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) empleando datos de las dos primeras anualidades del proyecto (hito H4).

La Fig. 6.4.1 compara la predicción de la ET_o acumulada a 7 días con la ET_o real que, al cabo de 7 días se obtiene con las medidas de campo de la semana anterior utilizando datos de la campaña 2023. Podemos ver que el modelo sigue la tendencia de los datos reales con un buen ajuste. La desviación típica es de 5,53mm y, en el peor caso, hay un error de 10 mm semanales entre la ET_o predicha y la real.

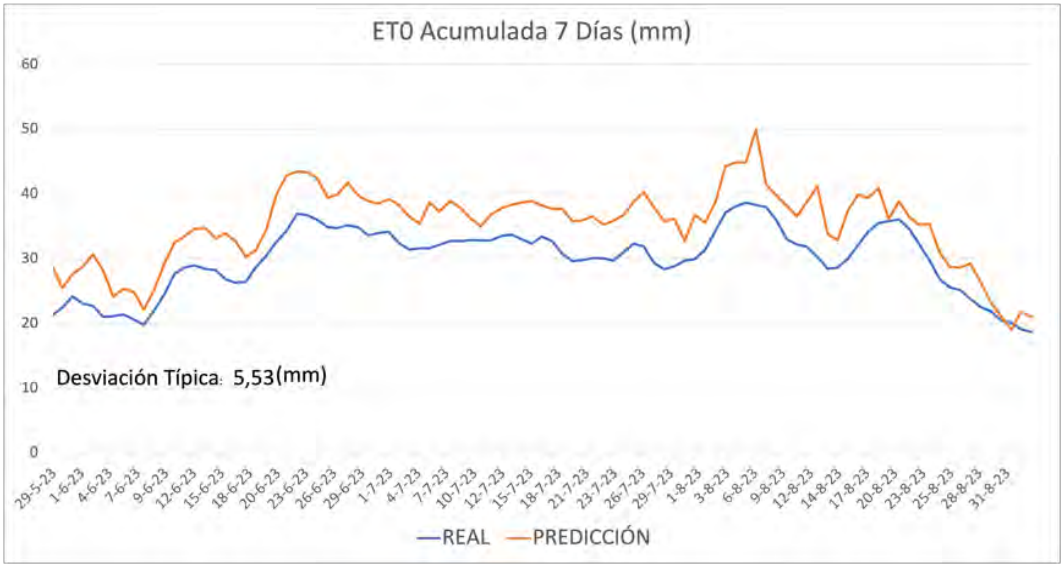


Fig. 6.4.1. Modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) acumulada. Modelo preliminar con datos de 2023 (H4)

Este modelo se testeó el último año para obtener un modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) (resultado R4). El modelo final se aplica a los datos de 2023, obteniéndose una desviación típica de 2,93 mm, lo que mejora la desviación típica de 5,53 mm obtenida con el modelo preliminar.

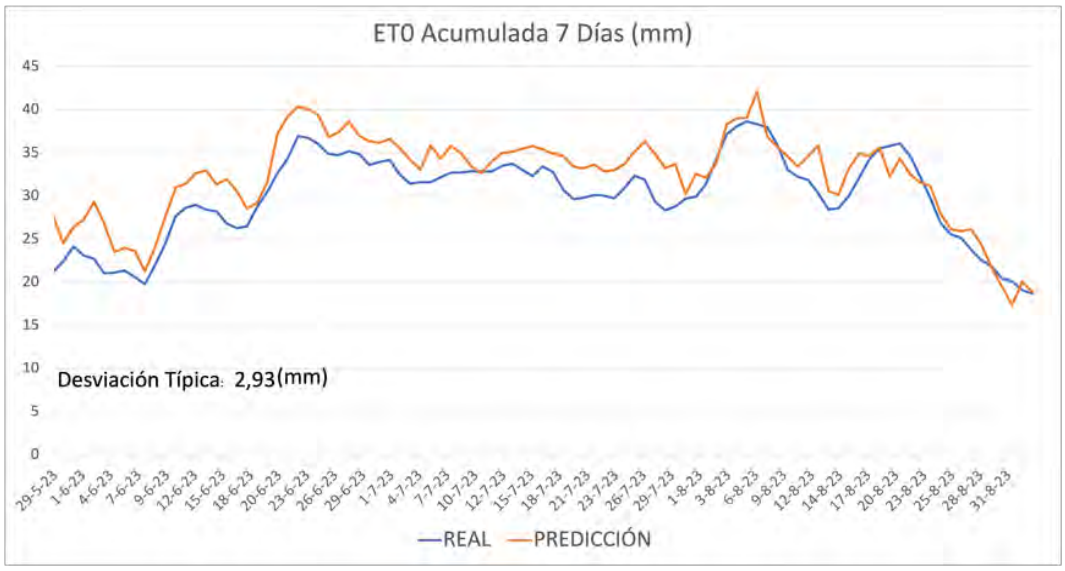


Fig. 6.4.2. Modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) acumulada. Modelo para 2023 ajustado con datos de todo el proyecto (R4)

La Fig. 6.4.3 compara la predicción de la ET_o acumulada a 7 días con la ET_o real que, al cabo de 7 días se obtiene con las medidas de campo de la semana anterior utilizando datos de la campaña 2024. Podemos ver que el ajuste de la tendencia del modelo es peor que en la campaña 2023, sin embargo la desviación típica es menor, obteniéndose 4,11mm en 2024 frente a los 5,53mm de 2023.

La Fig. 6.4.4 muestra el modelo final aplicado a los datos de 2024. El modelo final muestra una desviación típica de 2,84mm lo que mejora considerablemente el resultado del modelo preliminar.

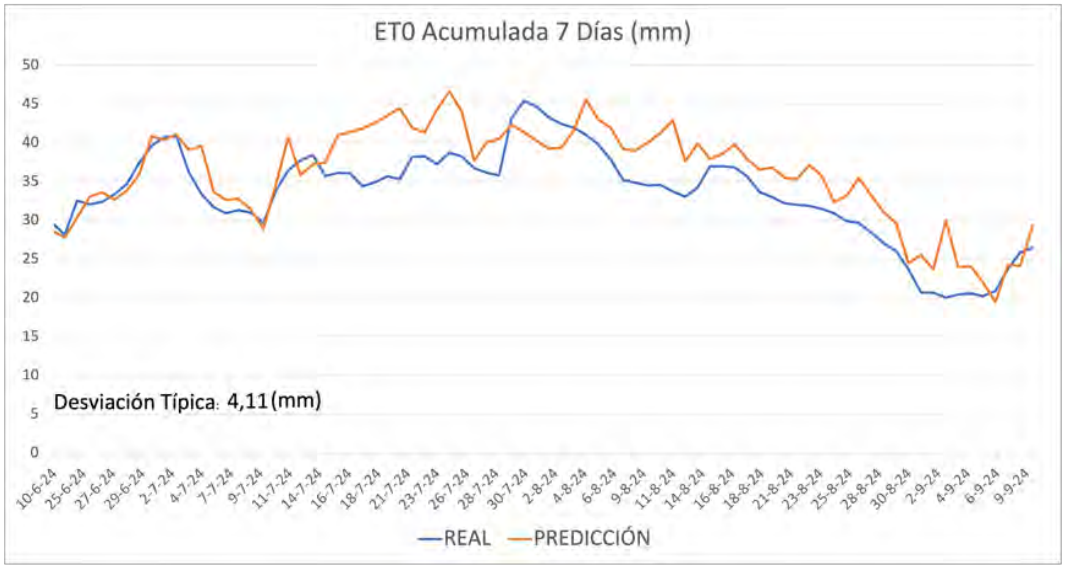


Fig. 6.4.3. Modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) acumulada. Modelo con datos de 2024

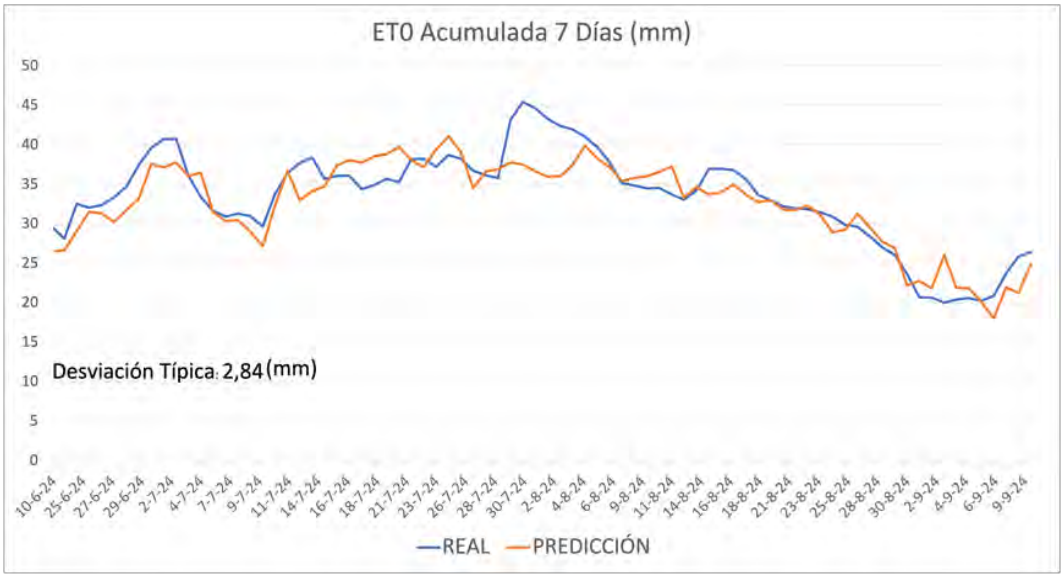


Fig. 6.4.4. Modelo de predicción a 7 días para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_O) acumulada. Modelo para 2024 ajustado con datos de todo el proyecto (R4)

Tarea 6.5. Desarrollo de un modelo de predicción a 7 días para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico.

El plan de trabajo para esta tarea, realizada por MONET y USC, sigue la misma metodología y cronograma de ejecución que la tarea 6.1. Durante la primera anualidad solamente se han recogido datos. En septiembre de 2023 se disponía de un modelo preliminar de predicción a 7 días para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico empleando datos de las dos primeras anualidades del proyecto (hito H5). La obtención de un valor diario de K_c generaría una elevada dificultad en la implementación del modelo de predicción a 7 días, por lo que como es habitual en el riego del viñedo, se ha realizado la integración de un K_c simple ajustado según la fenología del cultivo, en aquellas fases de mayor demanda hídrica: floración a envero, y desde el envero a cosecha.

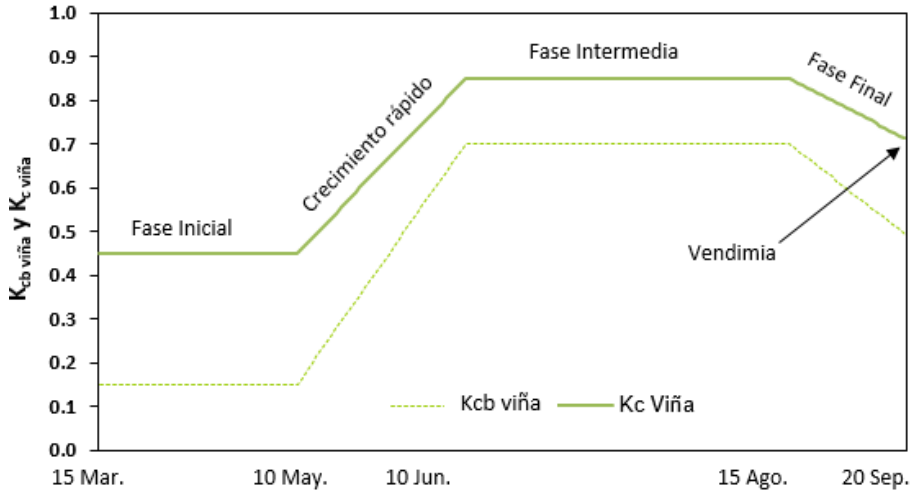


Figura 6.5.1. Modelo de predicción a 7 días para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico. Modelo preliminar con datos de 2023 (H5)

Este modelo se testeó el último año para obtener un modelo de predicción a 7 días para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico (resultado R5).

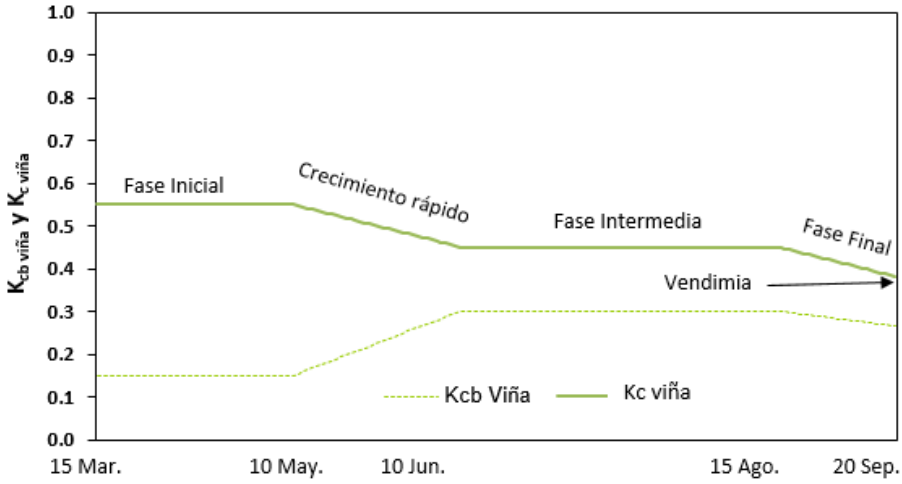


Figura 6.5.2. Modelo de predicción a 7 días para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) basado en el estado fenológico. Modelo ajustado con datos de todo el proyecto (R5)

El K_c simple obtenido para la fase inicial del cultivo (brotación a floración) es un valor más elevado del establecido en la literatura, debido a la mayor evaporación de agua en el suelo, relacionado con la concentración de lluvias en los meses de marzo a mayo-junio. Si bien en este período no ha sido necesario aplicar ningún tipo de riego al encontrarse el valor del contenido de agua en el suelo y/o potencial por encima del límite establecido para lanzar el riego (-75 cbar).

Tarea 6.6. Desarrollo de la herramienta de gestión de riego que permita determinar las necesidades hídricas del viñedo y estimar los requerimientos de riego.

Con los resultados de las tareas de esta actividad 6 de cada anualidad se ha desarrollado la herramienta de gestión de riego que permite determinar las necesidades hídricas del viñedo y estimar los requerimientos de riego (resultado R6).

En la anualidad 2022 no se realizó ningún tipo de riego REGAVID, dado que solo se realizaron dos tipos de tratamiento: secano y riego Martín Códax. En las anualidades 2023 y 2024 la zona de secano se convirtió en una zona de riego REGAVID. Se estableció como punto de inicio de la campaña de riego el momento en el que el valor obtenido por el sensor de humedad de suelo situado a 45 cm de profundidad superaba los 75 cb. La campaña de riego de 2023 se inició el 19 de junio y la de 2024 se inició el 10 de junio. A partir del inicio de la campaña de riego se realizaron semanalmente los cálculos de necesidades hídricas y, con esta información, se desarrolló una calculadora para obtener el tiempo semanal, en minutos, que se debía encender el sistema de riego de la zona de riego REGAVID. El resultado de este tiempo de encendido se envió cada lunes a Martín Códax hasta el fin de la campaña de riego que tuvo lugar el 4 de septiembre en 2023 y el 26 de agosto en 2024.

La Fig, 6.6.1 recoge el modelo preliminar con los datos de 2023 del tiempo de encendido de riego semanal en la campaña 2023. La figura muestra el tiempo de encendido predicho junto con el tiempo de encendido que, al cabo de la semana, se calculó en función de las necesidades reales medidas por los sensores de la estación meteorológica. La figura también muestra el error producido cada semana. Este error se tuvo en cuenta la semana siguiente para compensar la falta o el exceso de riego de la semana anterior. En la Fig.26 podemos observar que la desviación típica del modelo preliminar con los datos de 2023 es de 47,18 minutos semanales.

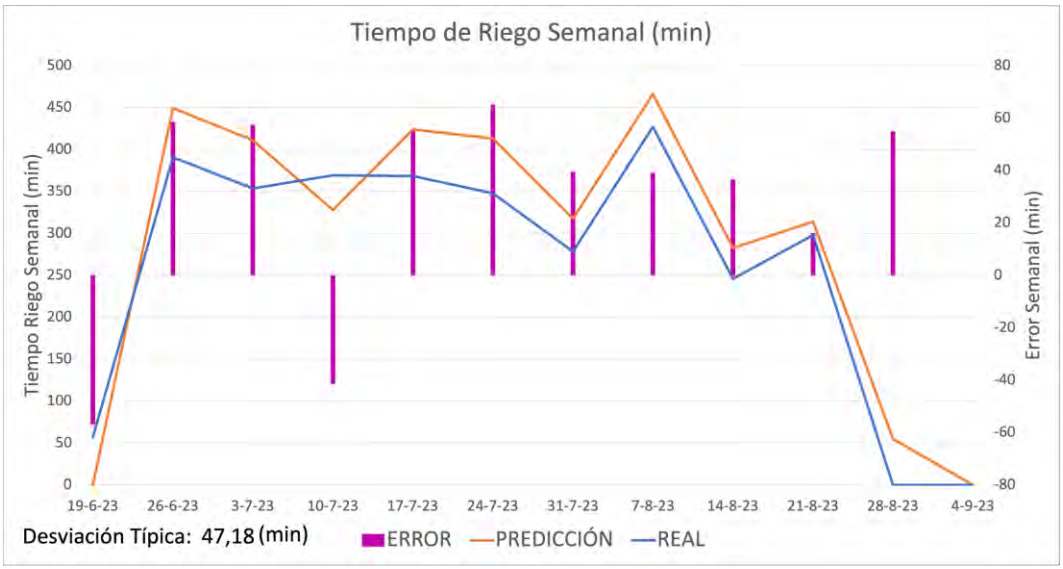


Fig. 6.6.1. Modelo de predicción de tiempo de encendido del sistema de riego a 7 días. Modelo preliminar con datos de 2023

La Fig. 6.6.2 muestra el modelo final aplicado a los datos de 2023. La desviación típica del modelo final es de 33,43 minutos, lo que mejora la desviación típica de 47,18 minutos obtenida con el modelo preliminar.

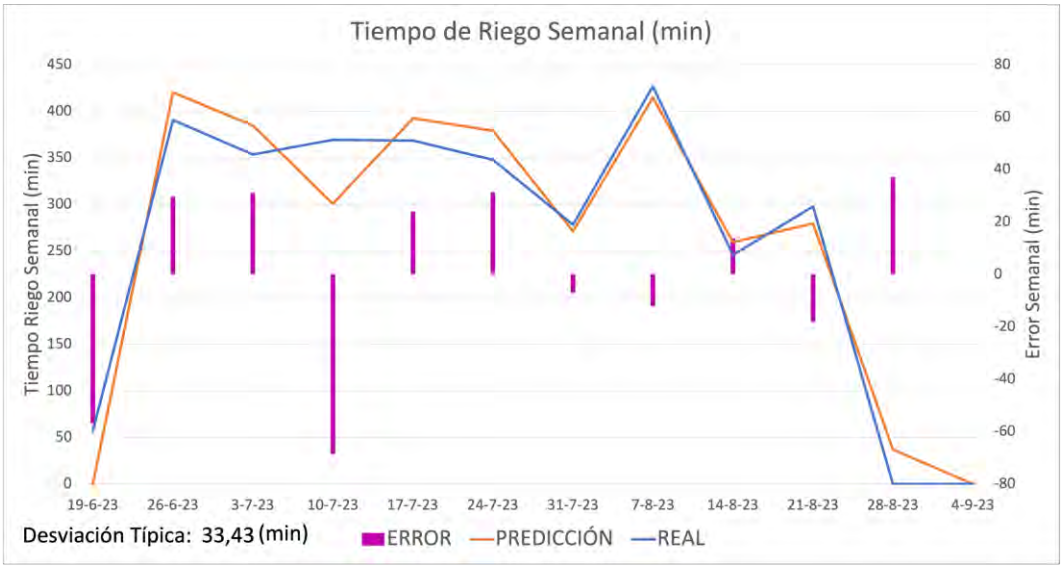


Fig. 6.6.2. Modelo de predicción de tiempo de encendido del sistema de riego a 7 días. Modelo para 2023 ajustado con datos de todo el proyecto

Las Fig. 6.6.3 y 6.6.4 muestran, respectivamente, el modelo preliminar obtenido con datos de 2024 y el modelo final para 2024 ajustado con todos los datos del proyecto. El modelo ajustado presenta una desviación típica de 99,97 minutos semanales, mejorando el modelo preliminar que presentaba una desviación típica de 107,94 minutos.

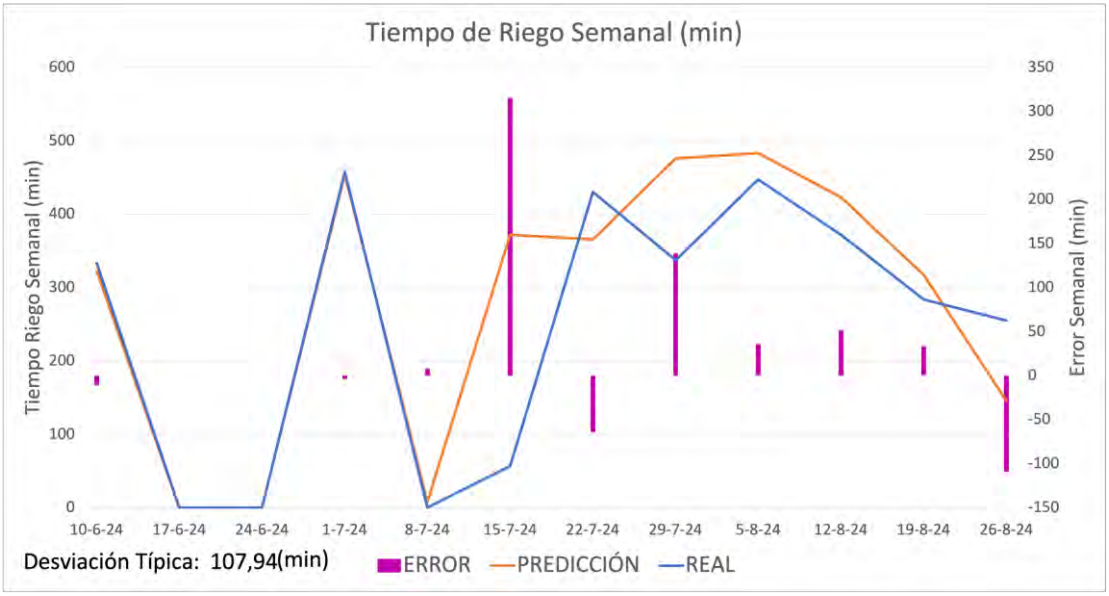


Fig. 6.6.3. Modelo de predicción de tiempo de encendido del sistema de riego a 7 días. Modelo preliminar con datos de 2024

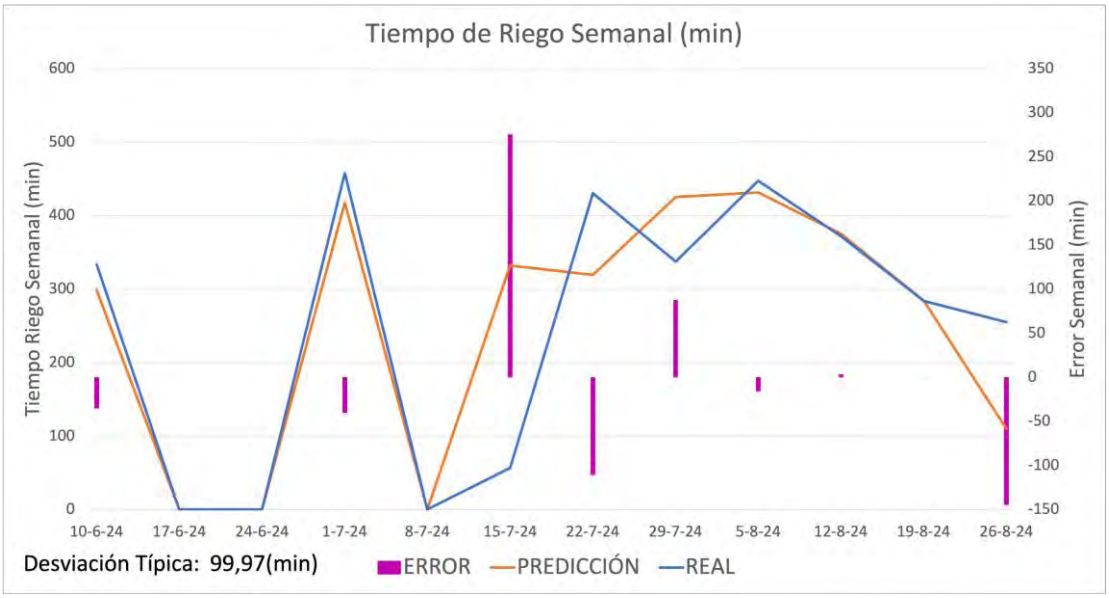


Fig. 6.6.4. Modelo de predicción de tiempo de encendido del sistema de riego a 7 días. Modelo para 2024 ajustado con datos de todo el proyecto

Las discrepancias entre el modelo de predicción de tiempo de encendido de riego y la realidad obtenida con los datos medidos una semana más tarde se producen en los eventos de lluvia, especialmente con lluvia tormentosa. Para minimizar este error, sería deseable que estos momentos de previsión de lluvia, el modelo de predicción de tiempo de encendido de riego se ejecutase dos veces a la semana en lugar de solo una.

La herramienta de gestión de riego muestra el valor de humedad de suelo medido por los sensores calibrados instalados a distintas profundidades, indicando si el valor medido se encuentra en la zona de capacidad máxima del suelo, en una zona sin estrés, en inicio de estrés o en la zona de estrés hídrico. Además, la herramienta muestra de forma combinada los valores de riego, lluvia y ET_c con los que calcula el balance hídrico de cada zona de riego.

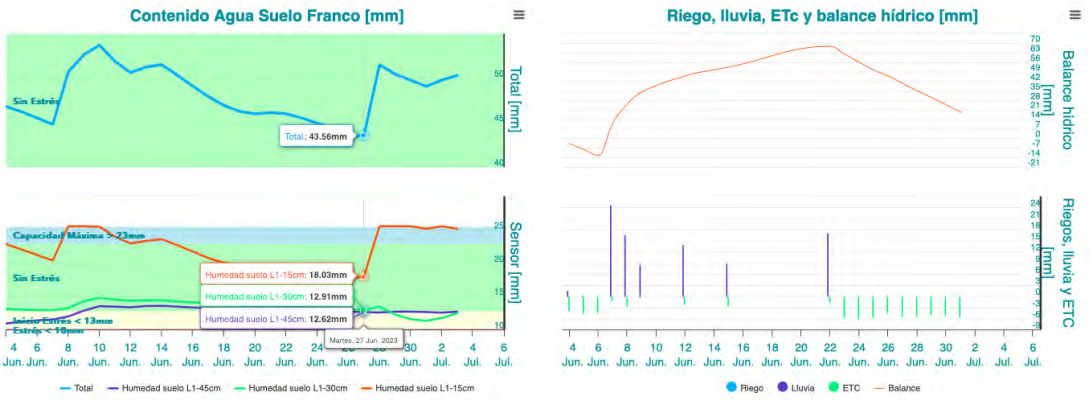


Fig. 6.6.5. Herramienta de gestión de riego (R6)

ACTIVIDAD 7. EJECUCIÓN DEL PLAN DE DIVULGACIÓN.

El plan de divulgación fue ejecutado por FEUGA, entidad con amplia experiencia en actividades de comunicación y transferencia, con la colaboración de todos los miembros del GO. Las actividades de divulgación fueron dirigidas a viticultores y cooperativas, empresas, investigadores, técnicos, administración, público en general. Se utilizaron canales virtuales, presenciales, y mixtos. El ámbito fue regional, estatal y/o europeo. Se elaboraron los siguientes materiales y se llevaron a cabo las acciones y/o actividades de comunicación y difusión que se indican:

Tarea 7.1. Logo y manual de estilo.

Se diseñó, entre todos los miembros, el logotipo de REGAVID, que fue empleado en las distintas comunicaciones relacionadas con el proyecto tanto presenciales y virtuales de ámbito regional, nacional, e internacional.



Imagen del logotipo del proyecto REGAVID en versión completa (izquierda) y reducida (derecha).

Asimismo, se elaboró el manual de identidad corporativa de REGAVID. Este manual tiene como propósito establecer las normas de uso y aplicación del símbolo y del logotipo que conforman la imagen corporativa de "REGAVID". El manual establece pautas de construcción, el uso de las tipografías y colores, así como las recomendaciones que permitan dotar de coherencia a la aplicación de la imagen gráfica tanto en medios digitales como impresos. El manual de identidad corporativa que se adjunta como anexo a este informe en el documento "*Anexo Divulgación_Manual identidad REGAVID*".

Aplicación de gestión del riego en viñedos

Herramienta de predicción de necesidades de riego en viñedos de clima atlántico: GO REGAVID

POR CANCELA J.J.[1*], FRANCO D.[2], REY D.[2], GAY J.A.[2], TUBÍO M.[3], MARTÍNEZ X.[3], RODRÍGUEZ-FEBEREIRO M.[1], FANDIÑO M.[1]
[1] GI-1716. Universidade de Santiago de Compostela.
[2] MONET Tecnología e Innovación SL.
[3] Bodegas Martín Códax.

El viñedo se ha cultivado hasta hace relativamente pocos años, finales del siglo XX, en condiciones de secano, este aspecto se ha modificado tras la derogación de la prohibición de regar el viñedo y los claros efectos del cambio climático (Cardell *et al.*, 2019), haciendo necesaria la aplicación de agua de riego en la mayoría de los viñedos españoles para garantizar su viabilidad. En los últimos 25 años se han llevado a cabo trabajos diversos sobre el manejo del riego en los viñedos españoles, si bien, en climas templados, como el del Norte de España, que no han requerido un uso generalizado del agua de riego para el viñedo, debido a la disponibilidad de precipitaciones en los meses de verano, existe la necesidad de adaptar los trabajos realizados en otras regiones españolas, a las condiciones particulares de Galicia. En algunos viñedos gallegos de gran tamaño se ha realizado una gestión del agua de riego basada en riegos puntuales, o para la aplicación de nutrientes (fertirrigación), existiendo un campo de mejora en el uso de los recursos hídricos. Actualmente es necesario desarrollar modelos de apoyo a la decisión para gestionar el agua de riego en tiempo real y evitar un mal uso de un recurso escaso, en especial en los meses críticos para el viñedo (junio-agosto). Además, se deben mantener los estándares de calidad proporcionados por la viticultura de secano tradicionalmente implementada en Galicia. Un aspecto clave para una buena gestión del riego es la necesidad de emplear modelos predictivos de los parámetros climáticos claves: precipitación y temperatura, así como la instauración de sensores de control del agua en el suelo, y de los volúmenes de riego aplicados. En general, la digitalización del viñedo (suelo, planta y clima) facilita el manejo y seguimiento del riego, recopilando datos en tiempo real de forma continua. El procesado de los datos de los sensores ubicados en los viñedos y clima debe ser analizado de forma integral mediante el uso de la inteligencia artificial, prediciendo las condiciones climáticas futuras, estableciendo un sistema robusto de manejo del agua de riego donde la productividad del agua y la gestión sostenible de recursos es el objetivo final.

El modelo desarrollado, REGAVID, vinculado a un Grupo Operativo en Galicia, pretende dotar de herramientas a los viticultores que faciliten la toma de decisión de: cuando, y cuanto regar, a partir de una base científica y experimental, considerando las necesidades particulares de la viticultura en Galicia. El modelo incluye la caracterización de las propiedades físicas del suelo, la variedad de uva, el manejo del dosel vegetal, la presencia de cubierta vegetal, las particularidades del sistema de riego localizado, así como la predicción de datos meteorológicos empleando inteligencia artificial.

Material y métodos

Descripción de la parcela y tratamientos de manejo de riego:

El estudio se llevó a cabo en la D.O.P. Monterrei dentro de una parcela comercial de la bodega Martín Códax de 75 ha, plantada con la variedad Godello en el año 2013. El viñedo está situado en el lugar de Bustelo, en el ayuntamiento de Vilardevós (Ourense) (Figura 1). El marco de plantación es de 1,5 x 2,4 m, con las viñas conducidas en espaldera y guyot doble. El sistema de riego localizado cuenta con goteros autocompensantes de 2,04 L h^{-1}, separados 0,75 m, datos derivados de la evaluación del sistema de riego en condiciones normales de funcionamiento. En el año 2022, se implementó un tratamiento secano y el riego habitual realizado por la bodega. Durante el año 2023, se fijaron diferentes manejos de riego: el propuesto

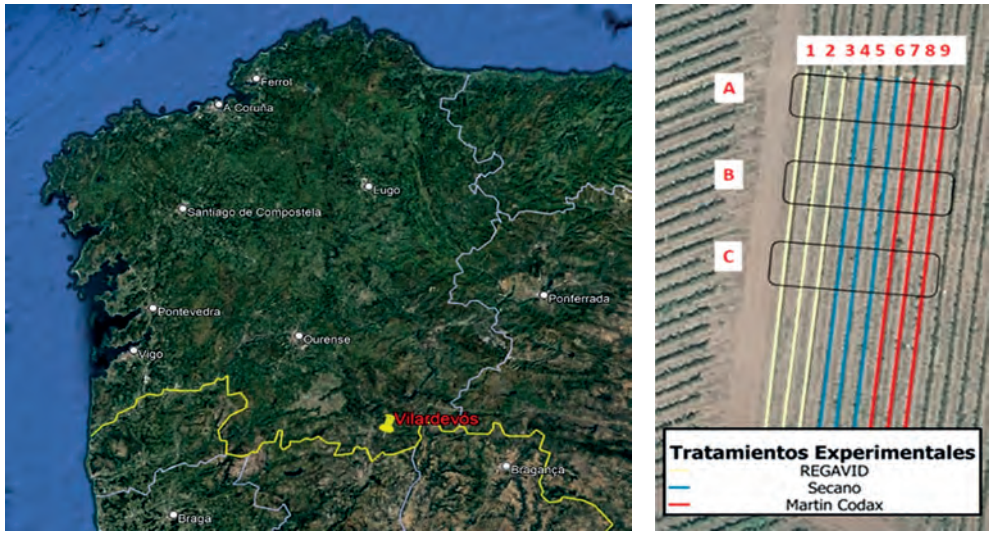


Figura 1. Localización viñedo estudio (Vilardevós-Ourense) y delineamiento de tratamientos de riego

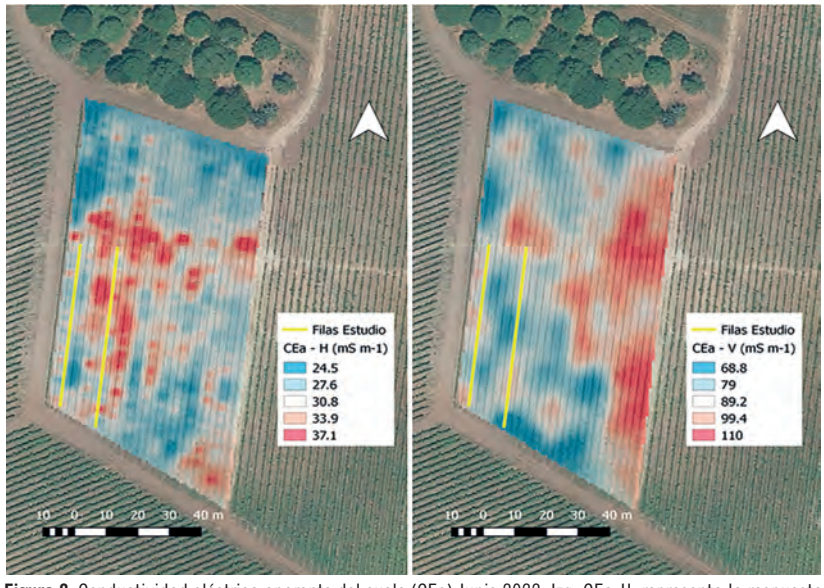


Figura 2. Conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa) Junio 2022. Izq: CEa-H, representa la respuesta de 0 a 75 cm; Dcha: CEa-V, representa la respuesta de 75 a 150 cm

por la bodega, y el basado en el modelo REGAVID, así como un tratamiento control sin agua de riego. En cada uno de los tratamientos se seleccionaron tres repeticiones (A, B y C) de nueve plantas, en las que se realizaron las diferentes medidas en el suelo y la planta (Figura 1). De la toma de muestras de suelo se deduce que se trata de un suelo franco limoso, con una fracción gruesa del 45 %, un pH de 5,6, y un contenido en materia orgánica de 7,6 %. Además, se determinó la variabilidad espacial de la parcela, determinando la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), empleando el equipo EM38 (Geonics, Ltd, Canada) (Figura 2).

Sensorización y modelización:

La importancia de la medición en continuo de variables como el estado hídrico de la planta y/o



Figura 3. Disposición de sensores Watermark y nodo de comunicación (izq.), contador en línea de la tubería de riego localizado (dcha.)

el estado de agua en el suelo son cruciales para un buen manejo del riego (Mirás-Avalos y Araujo, 2021). Hoy en día existen una multitud de sensores diversos, tanto para la medición de parámetros de suelo como de planta. En la parcela de Vilardevós, se instalaron sensores Watermark (Irrometer, USA), a tres profundidades 15, 30 y 45 cm, que permiten realizar el seguimiento en continuo del potencial de agua en el suelo. Además, se añadieron puntos de control del contenido de agua en el suelo a 15 y 45 cm, empleando un TDR-100 (Decagon Device, USA). Por último, se incorporaron contadores volumétricos que permiten conocer el volumen de agua aplicado en cada evento de riego, aspecto clave para un adecuado manejo del riego (Figura 3).

Para la modelización de las necesidades hídricas del cultivo y la calibración local de los coeficientes de cultivo se ha aplicado la metodología dual recogida en la monografía FAO-56 (Allen *et al.*, 1998). La modelización requiere de la medición de una serie de variables en el viñedo (altura y anchura del dosel vegetal y nivel de cobertura de la cubierta vegetal) en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo (Fandiño *et al.*, 2015). Además, se deben medir los parámetros climáticos que intervienen en el cálculo del balance de agua en el suelo para la aplicación de la ec. de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998), para lo que se ha empleado una estación localizada en la parcela de Martín Codax, así como datos de la estación agroclimática de Vilardevós (MeteoGalicia, Xunta de Galicia).

Un aspecto destacado de la herramienta de modelización es que se encuentra basada en diferentes modelos predictivos que permiten conocer, con una semana de antelación, los parámetros que intervienen en el balance simple de agua en el suelo: precipitación y evapotranspiración de referencia. Estos parámetros predichos, junto con los coeficientes de cultivo adaptados a las condiciones locales, nos permiten realizar una programación de riego semanal ajustada a las condiciones climáticas.

Resultados

La campaña 2022 ha sido empleada para la calibración inicial de los coeficientes de cultivo

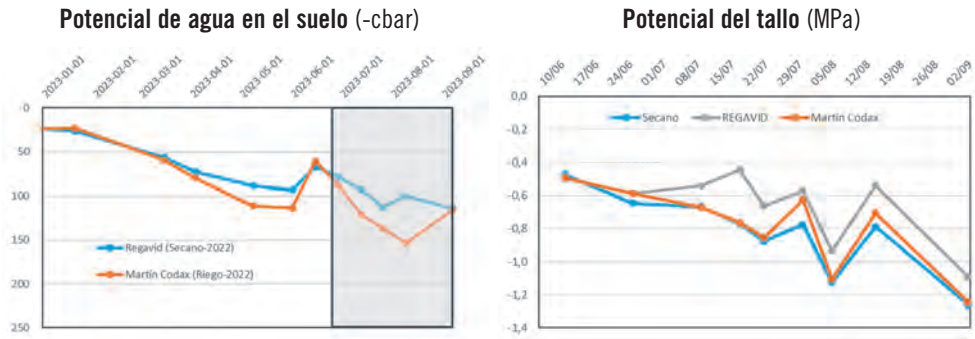


Figura 4. Dinámica del potencial de agua en el suelo (a), y el potencial de tallo (b). Campaña 2023

Tabla 1. Resultados productivos y cualitativos. Campañas 2022 y 2023

Tratamiento	Nº Racimos (2022-2023)	Producción planta (kg) (2022-2023)	Peso medio racimo (gr) (2022-2023)	Grados Brix (2022-2023)	Ac. Total (gr/L) (2022-2023)
Secano	20 – 31	1,70 – 4,63	85 – 155	24,2 – 20,3	4,88 – 3,73
Martín Codax	21 – 39	2,44 – 5,80	115 – 148	24,1 – 20,0	4,87 – 3,98
REGAVID	SD – 39	SD - 6,00	SD - 154	SD – 20,9	SD – 4,64

SD: Sin datos

ajustados a las condiciones locales y a la variedad Godello. obteniendo un $K_{c\ medio}$ = 0,85 (floración-envero) y un $K_{c\ final}$ = 0,65 (envero-vendimia). A estos valores se ha aplicado un coeficiente de estrés (Ks) de 0,5, antes de floración y de 0,25 tras la floración. Durante el año 2023, se ha realizado la validación de los coeficientes de cultivo determinados en 2022, aplicando las dosis de riego semanales según los resultados derivados de la modelización.

Dinámica del estado hídrico en el suelo y la planta. Parámetros productivos y cualitativos:
Los valores de potencial y contenido de agua del suelo y la previsión meteorológica, con una semana de antelación, han servido para programar el inicio del riego, así como la dosis de riego semanal. Para disparar el riego se ha considerado un valor medio de -75 cbar, a partir del cual se realizaron recomendaciones de riego semanales, iniciándose los riegos el 27 de junio, y finalizando los mismos el 4 de septiembre, días previos a la vendimia. La evolución a lo largo del año 2023 muestra que existen diferencias significativas para el potencial de agua en el suelo (Fig. 4a), con ligeras diferencias en el comportamiento mostrado por la planta (Fig 4b). La combinación de ambas medidas: suelo y planta, permite comprender la respuesta final que se ha obtenido a nivel de producción y calidad.

Los parámetros productivos muestran una tendencia a mayores producciones en los tratamientos regados, debido a un mayor número de racimo y al peso medio de cada racimo (Tabla 1). Los parámetros de calidad no muestran diferencias entre tratamientos para el grado brix, aunque con diferencias claras entre años. Por otra parte, el tratamiento REGAVID ha mostrado un mayor valor de acidez total en vendimia que el resto de tratamientos, aunque sin diferencias significativas.

Estrategias de riego. Plataforma REGAVID:
La integración de la información generada con el modelo predictivo REGAVID para el manejo del riego en el viñedo se encuentra en una versión beta (Figura 5), pendiente de incorporar las modificaciones derivadas del año 2024. El objetivo de la herramienta es facilitar al viticultor información fácilmente interpretable y que pueda tomar decisiones basadas en la información generada. En la aplicación web se prevé la incorporación de las recomendaciones de riego semanales, expresada en tiempos de riego, por lo que es necesario conocer los detalles del sis-

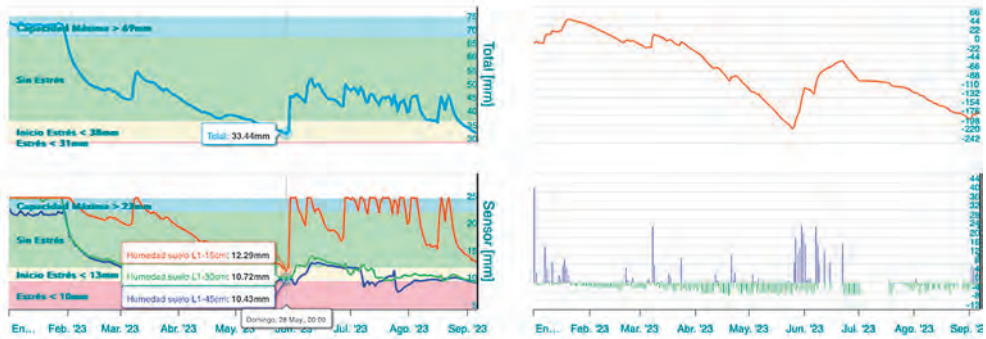


Figura 5. Visualización resultados web REGAVID (versión Beta). Monet Viticultura

tema de riego, número de sensores por planta, caudal y marco de plantación.

El uso de sensores de medición continua, Watermark, a diferentes profundidades permite conocer la dinámica del agua en el suelo y establecer umbrales para gestionar el riego (Figura 5). El sistema de apoyo a la gestión del riego permite definir una estrategia diferente de riego deficitario en función del estado del viñedo y de la temporada.

Conclusiones

La digitalización del viñedo incluyendo datos del estado del agua en el suelo a diferentes profundidades permite conocer el movimiento del agua en el suelo, una vez realizado un riego, así como el establecer límites que marquen el inicio y fin de las necesidades de riego. El empleo de la predicción de datos climáticos de calidad facilita el manejo eficiente del agua, mejorando los resultados del balance de agua en el suelo. Se requiere mejorar los modelos predicción en base al aprendizaje de los modelos empleados para la predicción, puesto que la existencia de eventos extremos dificulta su predicción a partir del día 3-4. Las reprogramaciones del riego de forma diaria son posibles, aunque dificultan la gestión del riego por parte del viticultor, por lo que se recomienda realizar las correcciones de dosis de riego, de ser necesario, en la semana siguiente. En conclusión, las herramientas flexibles de gestión del riego basadas en datos climáticos predichos con una semana de antelación son clave para la gestión del riego en climas templados, más aún con suelos con elevada fracción gruesas y con rápido drenaje.

Financiación

Ayuda para la ejecución de grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020.

Bibliografía

1. ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
2. CARDELL, M. F., AMENGUAL, A., ROMERO, R. (2019). Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. Regional Environmental Change, 19, 2299-2310.
3. CANCELA, J.J., FANDIÑO, M., REY, B.J., MARTÍNEZ, E.M. (2015). Automatic irrigation system based on dual crop coefficient, soil and plant water status for Vitis vinifera (cv Godello and cv Mencía). Agricultural Water Management, 151, 52-63.
4. MIRÁS-AVALOS, J.M., ARAUJO, E.S. (2021). Optimization of vineyard water management: Challenges, strategies, and perspectives. Water, 13(6), 746.

Proyecto REGAVID: herramienta de gestión de riego en viñedos de clima atlántico

Autores:

- Cancela J.J. Rodríguez-Febereiro M.; Fandiño M. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Terra.
- Franco D.; Rey D.; Gay J.A. Monet Tecnología e Innovación SL.
- Tubío M.; Martínez X. Bodegas Martín Códax.

El cultivo de viñedos en España ha evolucionado debido a la derogación de la prohibición de regar los viñedos y los efectos derivados del cambio climático. Actualmente es necesario aplicar riego en la mayoría de los viñedos para garantizar su viabilidad, prestando atención a las diferentes necesidades entre regiones. En Galicia, donde las condiciones climáticas son diferentes principalmente por una mayor disponibilidad de agua en los meses de verano, se están comenzando a aplicar métodos de riego puntuales o para la aplicación de nutrientes (fertirrigación). Sin embargo, es **necesario desarrollar modelos de apoyo a la decisión para gestionar el riego de manera eficiente**, utilizando tecnologías que permita conocer las necesidades hídricas reales del viñedo para impedir el despilfarro de un bien como el agua, cada vez más preciado y escaso, garantizando la máxima calidad en el producto final.

El **Grupo Operativo** gallego **REGAVID** ha desarrollado un **modelo diseñado para ayudar a los viticultores gallegos a tomar decisiones informadas sobre cuándo y cuánto regar**, considerando diversas variables como las propiedades del suelo, la variedad de uva y las condiciones climáticas previstas. El proyecto cuenta con un presupuesto de 180.000,00€ (subvencionado en su totalidad) y está siendo liderado por la empresa Monet Viticultura, con la participación de Bodegas Martín Códax, el grupo de investigación de Proyectos y Planificación (PROEPLA) de la Universidade de Santiago de Compostela y la Fundación Empresa Universidad Gallega (FEUGA).

El modelo desarrollado en REGAVID incluye la caracterización de las propiedades físicas del suelo, la variedad de uva, el manejo del dosel vegetal, la presencia de cubierta vegetal, las particularidades del sistema de riego localizado y la predicción de datos meteorológicos empleando inteligencia artificial. Para llevar a cabo la programación del riego, se ha realizado la calibración de los coeficientes culturales, adaptados al sistema de la parcela de estudio, siguiendo la metodología Dual (FAO-56).

El estudio se llevó a cabo en una parcela de 75 ha de la bodega Martín Codax en la D.O. Monterrei, plantada con la variedad Godello en 2013, ubicada en el lugar de Bustelo, en el ayuntamiento de Vilardevós (Ourense), y que utiliza un sistema de riego localizado con goteros autocompensantes. En 2022 se implementó un tratamiento secano y el riego habitual de la bodega. En 2023, se establecieron diferentes manejos de riego, incluyendo el propuesto por la bodega y el basado en el modelo REGAVID, junto con un tratamiento control sin riego. Se tomaron muestras de suelo que revelaron un suelo franco limoso con pH de 5,6 y contenido de materia orgánica de 7,6 %. Además, se evaluó la variabilidad espacial de la parcela mediante la medición de la conductividad eléctrica aparente del suelo.

Resulta de gran relevancia la **medición continua del estado hídrico de la planta y del agua en el suelo** para un manejo adecuado del riego. En la parcela de Vilardevós, se instalaron sensores del potencial de agua en el suelo a tres profundidades y puntos de

control del contenido de agua en el suelo, junto con contadores volumétricos para conocer el volumen de agua aplicado en cada evento de riego. Además, se modelaron las necesidades hídricas del cultivo y se calibraron los coeficientes de cultivo, midiendo variables como altura y anchura del dosel vegetal y niveles de cobertura de la cubierta vegetal en diferentes etapas de crecimiento del cultivo, así como parámetros climáticos para calcular el balance de agua en el suelo. La herramienta de modelización se basa en modelos predictivos que permiten conocer con una semana de antelación los parámetros clave para el balance de agua en el suelo, lo que facilita la programación de riego ajustada a las condiciones climáticas locales.

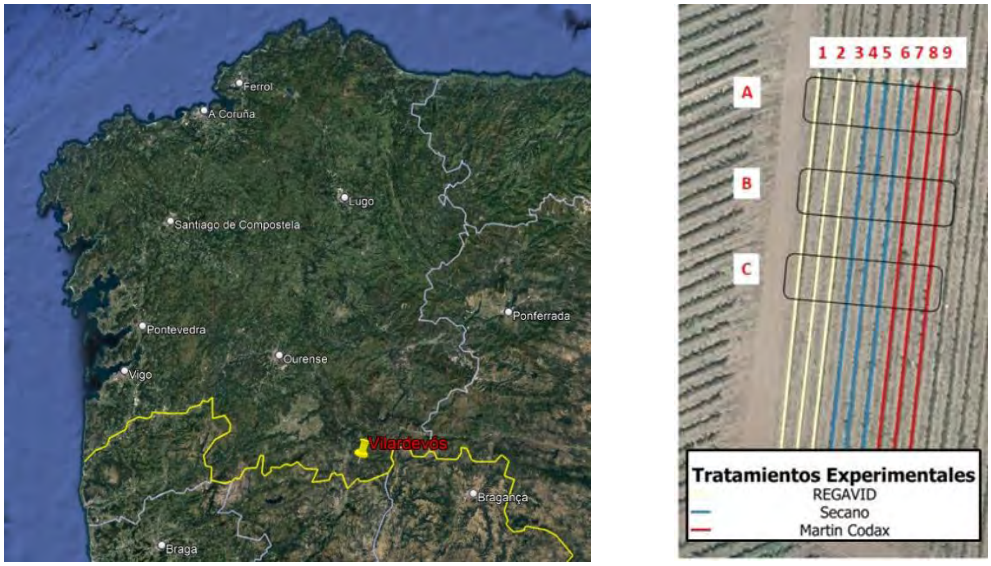


Ilustración 1. Localización del viñedo de estudio (Vilardevós, Ourense) y delineamiento de tratamientos de riego.

Durante la campaña 2022 se calibraron los coeficientes de cultivo para la variedad Godello, obteniendo valores medios de Kc de 0,85 (floración-envero) y 0,65 (envero-vendimia), ajustados a las condiciones locales. Se aplicaron coeficientes de estrés (Ks) de 0,5 antes de la floración y 0,25 después de ella. En 2023, se validaron estos coeficientes mediante la aplicación de dosis de riego semanales según la modelización. El inicio y la dosis de riego semanal se programaron según los valores de potencial y contenido de agua del suelo, así como la previsión meteorológica. Se estableció un valor medio de -75 cbar para iniciar el riego, con riegos realizados desde el 27 de junio hasta el 4 de septiembre. Se observaron diferencias significativas en el potencial de agua en el suelo y ligeras diferencias en la planta a lo largo de 2023. **Los tratamientos regados mostraron mayores producciones debido a un mayor peso medio del racimo**. No hubo diferencias significativas en los parámetros de calidad, aunque el tratamiento REGAVID mostró mayor acidez total en vendimia.

La plataforma REGAVID, aún en versión beta, integra la información generada para facilitar al viticultor decisiones basadas en datos. Incorpora recomendaciones de riego semanales, expresadas en tiempos de riego y se espera que incluya detalles del sistema de riego y sensores utilizados. Los sensores empleados permiten conocer la dinámica del agua en el suelo y establecer umbrales para gestionar el riego, proporcionando una estrategia de riego deficitario según el estado del viñedo y la temporada.

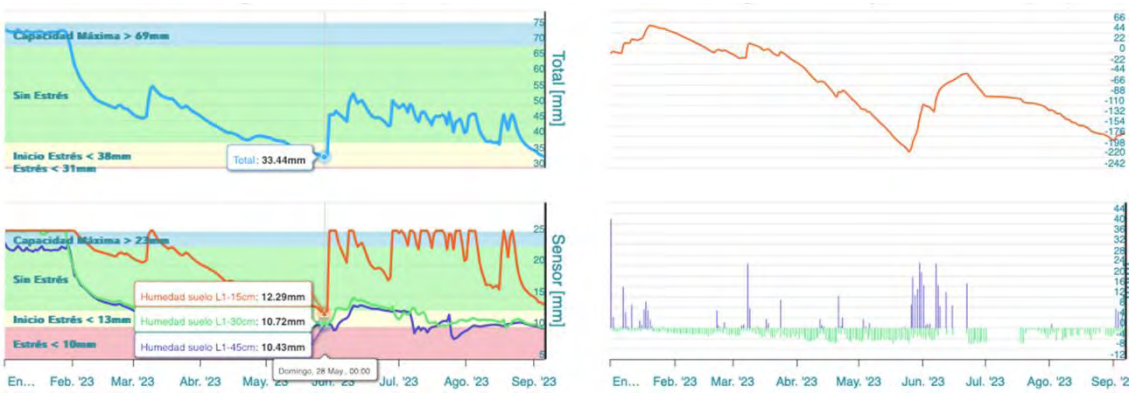


Ilustración 2. Visualización de resultados web REGAVID (versión Beta). Monet viticultura.

En conclusión, la digitalización del viñedo, con datos del estado del agua en el suelo a diferentes profundidades, proporciona información crucial sobre el movimiento del agua y establece límites para las necesidades de riego. La predicción de datos climáticos de calidad mejora la eficiencia del manejo del agua y el balance hídrico en el suelo. Sin embargo, se necesita mejorar los modelos de predicción, especialmente para eventos extremos, ya que su predicción más allá de los primeros días es desafiante. Aunque es posible reprogramar el riego diariamente, esto puede dificultar la gestión del viticultor, por lo que se recomienda realizar correcciones de dosis de riego en la semana siguiente. En resumen, las **herramientas flexibles de gestión del riego basadas en datos climáticos predichos con una semana de antelación** son esenciales para la gestión del riego en climas templados, especialmente en suelos con alta fracción gruesa y rápido drenaje.

Presupuesto total del proyecto: 180.000,00 € Subvención: 180.000,00 €

Este proyecto está financiado por las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de la Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020, con fondos propios de la Xunta de Galicia en un 22,5% y con fondos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en un 2,5%. La Consellería do Medio Rural es el órgano de la Administración Galega al que corresponde proponer y ejecutar las directrices generales en el ámbito rural, y engloba las competencias en materia de agricultura, ganadería, desarrollo rural y ordenación comarcal, estructuras rurales, industrias agroalimentarias y forestales, montes, prevención y defensa de los incendios forestales.

AXENCIA GALEGA DA CALIDADE ALIMENTARIA
Fondo Europeo Agrícola de Desenvolvemento Rural: Europa inviste no rural
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
Xacobeo 21·22

Herramienta REGAVID para la toma de decisiones en la gestión del riego en viñedos

Autores:

- Cancela J.J. Rodríguez-Febereiro M.; Fandiño M. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Terra.
- Franco D.; Rey D.; Gay J.A. Monet Tecnología e Innovación SL.
- Tubío M.; Martínez X. Bodegas Martín Códax.

Los efectos del cambio climático se hacen notar en agricultura, haciendo evolucionar las metodologías empleadas para adaptarse a las nuevas condiciones existentes. El cultivo de viñedos no es una excepción, siendo necesario en la actualidad aplicar riego en la mayoría de estos cultivos para garantizar su viabilidad, teniendo siempre en cuenta las diferentes necesidades regionales. Concretamente en Galicia, donde la disponibilidad de agua en verano es mayor que en otras áreas de España, se está comenzando a aplicar métodos de riego puntuales o para la aplicación de nutrientes (fertirrigación), resultando **imprescindible el desarrollo de modelos de apoyo a la decisión para gestionar el riego** de manera eficiente. Para ello, se emplean tecnologías que permiten conocer las necesidades hídricas reales del viñedo, evitando el desperdicio de agua, un recurso cada vez más valioso, y garantizando la máxima calidad del producto final.

En este contexto nace el **Grupo Operativo** gallego **REGAVID**, que ha creado un **modelo que ayuda a los viticultores gallegos a tomar decisiones informadas sobre cuándo y cuánto regar**, considerando factores como las propiedades del suelo, la variedad de uva y las condiciones climáticas previstas. El proyecto cuenta con un presupuesto de 180.000,00 € totalmente subvencionado, es liderado por Monet Viticultura e incluye la participación de Bodegas Martín Códax, el grupo de investigación de Proyectos y Planificación (PROEPLA) de la Universidade de Santiago de Compostela y la Fundación Empresa Universidad Gallega (FEUGA).

El modelo desarrollado en REGAVID evalúa las características físicas del suelo, la variedad de uva, el manejo del dosel vegetal, la presencia de cubierta vegetal, las particularidades del sistema de riego localizado y las predicciones meteorológicas empleando inteligencia artificial. Para la programación del riego, se ha calibrado los coeficientes culturales, adaptados al sistema de la parcela de estudio, siguiendo la metodología Dual (FAO-56).

El estudio se llevó a cabo en una parcela de la D.O. Monterrei cultivada con variedad Godello en el año 2013 por la bodega Martín Códax (lugar Bustelo, Vilardebós, Ourense), la cual utiliza un sistema de riego localizado con goteros autocompensantes. En dicha parcela se implementó en 2022 un tratamiento secano y el riego habitual de la bodega, mientras que en 2023 se establecieron diferentes manejos de riego: el propuesto por la bodega, el basado en el modelo REGAVID y un tratamiento control sin riego. Se tomaron muestras de suelo que revelaron un suelo franco limoso con pH de 5,6 y un 7,6% de materia orgánica. También se midió la conductividad eléctrica aparente del suelo para evaluar la variabilidad espacial de la parcela.

La **medición continua del estado hídrico de la planta y del agua en el suelo** es crucial para un manejo adecuado del riego. En la parcela de Vilardevós, se instalaron sensores a tres profundidades y se midió el contenido de agua del suelo, además de contadores volumétricos para registrar el agua aplicada en cada riego. Además, se modelaron las necesidades hídricas del cultivo y se calibraron los coeficientes de cultivo, midiendo

variables como la altura y anchura del dosel vegetal y los niveles de cobertura de la cubierta vegetal en diferentes etapas de crecimiento del cultivo, así como parámetros climáticos para calcular el balance de agua en el suelo. Esta modelización predictiva ha permitido anticipar con una semana de antelación los parámetros clave para el balance hídrico del suelo, facilitando una programación de riego ajustada a las condiciones climáticas locales.

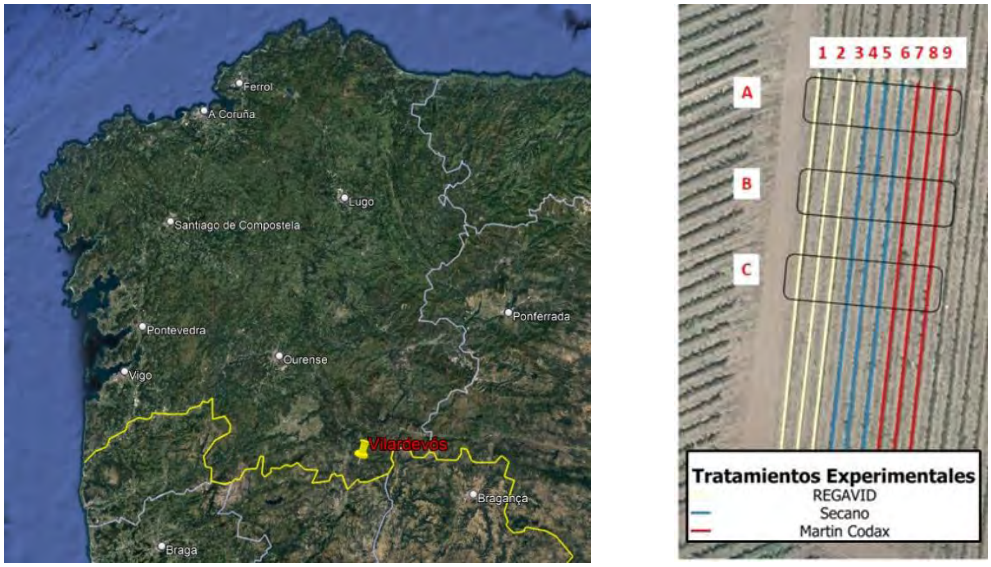


Ilustración 1. Localización del viñedo de estudio (Vilardevós, Ourense) y delineamiento de tratamientos de riego.

Durante la campaña 2022 se calibraron los coeficientes de cultivo para la variedad Godello, obteniendo valores medios de Kc de 0,85 (floración-envero) y 0,65 (envero-vendimia), ajustados a las condiciones locales. Se aplicaron coeficientes de estrés (Ks) de 0,5 antes de la floración y 0,25 después de ella. En 2023, se validaron estos coeficientes mediante la aplicación de dosis de riego semanales según la modelización. El inicio y la dosis de riego semanal se programaron según los valores de potencial y contenido de agua del suelo, así como la previsión meteorológica. Se estableció un valor medio de -75 cbar para iniciar el riego, con riegos realizados desde el 27 de junio hasta el 4 de septiembre. Se observaron diferencias significativas en el potencial de agua en el suelo y ligeras diferencias en la planta a lo largo de 2023. **Los tratamientos regados mostraron mayores producciones debido a un mayor peso medio del racimo**, sin presentar diferencias significativas en los parámetros de calidad, aunque el tratamiento REGAVID mostró mayor acidez total en vendimia.

La plataforma REGAVID , en fase beta, integra toda esta información para facilitar al viticultor la toma de decisiones basadas en datos. Proporciona recomendaciones semanales de riego, expresadas en tiempos de riego, y se espera que incluya detalles del sistema de riego y sensores utilizados. Los sensores empleados permiten conocer la dinámica del agua en el suelo y establecer umbrales para gestionar el riego, ofreciendo una estrategia de riego deficitario adaptada al estado del viñedo y la temporada.

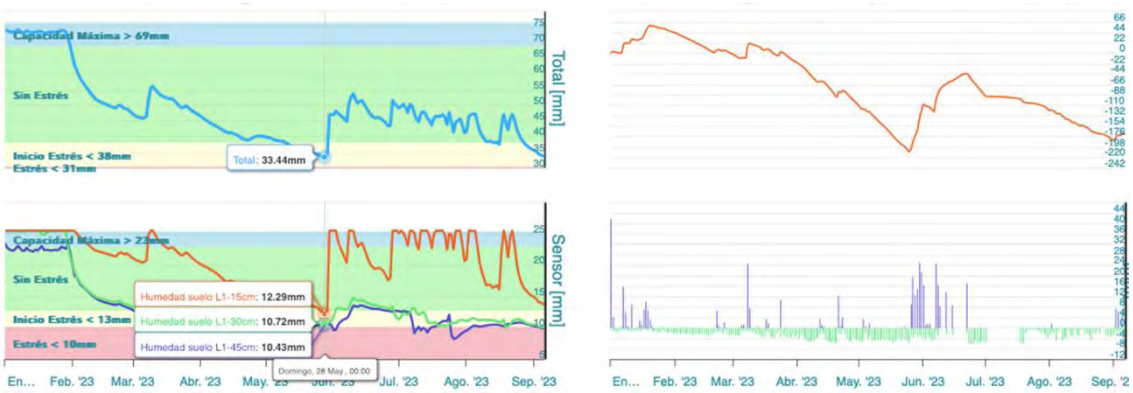


Ilustración 2. Visualización de resultados web REGAVID (versión Beta). Monet viticultura.

En resumen, la digitalización del viñedo con datos del estado hídrico del suelo a diferentes profundidades proporciona información esencial sobre el movimiento del agua y las necesidades de riego. La predicción de datos climáticos de calidad mejora la eficiencia del manejo del agua y el balance hídrico en el suelo. Sin embargo, es necesario mejorar los modelos predictivos, especialmente para eventos extremos, ya que su predicción más allá de los primeros días es incierta. Aunque es posible ajustar el riego diariamente, es recomendable realizar correcciones de dosis de riego en la semana siguiente para facilitar la gestión del viticultor. Se concluye, por tanto, que las **herramientas flexibles de gestión del riego basadas en datos climáticos predichos con una semana de antelación** son vitales para la gestión del riego en climas templados, especialmente en suelos con alta fracción gruesa y rápido drenaje.

Presupuesto total del proyecto: 180.000,00 € Subvención: 180.000,00 €

Este proyecto está financiado por las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de la Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020, con fondos propios de la Xunta de Galicia en un 22,5% y con fondos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en un 2,5%. La Consellería do Medio Rural es el órgano de la Administración Galega al que corresponde proponer y ejecutar las directrices generales en el ámbito rural, y engloba las competencias en materia de agricultura, ganadería, desarrollo rural y ordenación comarcal, estructuras rurales, industrias agroalimentarias y forestales, montes, prevención y defensa de los incendios forestales.



Aplicación de gestión del riego en viñedos

GO REGAVID. Herramienta de predicción de necesidades de riego en viñedos de clima atlántico

Franco D.[1], Cancela J.J.[2*], Rey D.[1], Gay J.A.[1], Tubío M.[3], Martínez X.[3], Fandiño M.[2], Rodríguez-Febereiro M.[2]

[1] *MONET Tecnología e Innovación SL. Rúa Das Pontes 4, 36350 Nigrán, Pontevedra, España*

[2] *GI-1716. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Terra, Lugo, España*

[3] *Bodegas Martín Códax. Burgáns 91 - 36633 Vilariño, Cambados – Pontevedra, España*

e-mail: debora@monet-ti.com

Introducción

El viñedo se ha cultivado hasta hace relativamente pocos años, finales del siglo XX, en condiciones de secano, este aspecto se ha modificado tras la derogación de la prohibición de regar el viñedo y los claros efectos del cambio climático (Cardell et al., 2019), haciendo necesaria la aplicación de agua de riego en la mayoría de los viñedos españoles para garantizar su viabilidad. En los últimos 25 años se han llevado a cabo trabajos diversos sobre el manejo del riego en los viñedos españoles, si bien, en climas templados, como el del Norte de España, que no han requerido un uso generalizado del agua de riego para el viñedo, debido a la disponibilidad de precipitaciones en los meses de verano, existe la necesidad de adaptar los trabajos realizados en otras regiones españolas, a las condiciones particulares de Galicia. En algunos viñedos gallegos de gran tamaño se ha realizado una gestión del agua de riego basada en riegos puntuales, o para la aplicación de nutrientes (fertirrigación), existiendo un campo de mejora en el uso de los recursos hídricos. Actualmente es **necesario desarrollar modelos de apoyo a la decisión para gestionar el agua de riego en tiempo real y evitar un mal uso de un recurso escaso, en especial en los meses críticos para el viñedo** (junio-agosto). Además, se deben mantener los estándares de calidad proporcionados por la viticultura de secano tradicionalmente implementada en Galicia. Un aspecto clave para una buena gestión del riego es la necesidad de emplear modelos predictivos de los parámetros climáticos claves: precipitación y temperatura, así como la instauración de sensores de control del agua en el suelo, y de los volúmenes de riego aplicados. En general, la digitalización del viñedo (suelo, planta y clima) facilita el manejo y seguimiento del riego, recopilando datos en tiempo real de forma continua. El procesado de los **datos de los sensores ubicados en los viñedos y clima debe ser analizado de forma integral mediante el uso de la inteligencia artificial**, prediciendo las condiciones climáticas futuras, estableciendo un sistema robusto de manejo del agua de riego donde la productividad del agua y la gestión sostenible de recursos es el objetivo final.

El modelo desarrollado, **REGAVID**, vinculado a un Grupo Operativo en Galicia, pretende dotar de herramientas a los viticultores que faciliten la toma de decisión de: cuando, y cuanto regar, a partir de una base científica y experimental, considerando las necesidades particulares de la viticultura en Galicia. El modelo incluye la caracterización de las propiedades físicas del suelo, la variedad de uva, el manejo del dosel vegetal, la presencia de cubierta vegetal, las particularidades del sistema de riego localizado, así como la predicción de datos meteorológicos empleando inteligencia artificial.

Material y métodos

Descripción de la parcela y tratamientos de manejo de riego:

El estudio se llevó a cabo en la **D.O. Monterrei dentro de una parcela comercial de la bodega Martín Codax de 75 ha, plantada con la variedad Godello** en el año 2013. El viñedo está situado en el lugar de Bustelo, en el ayuntamiento de Vilardevós (Ourense) (Figura 1). El marco de plantación es de 1,5 x 2,4 m, con las viñas conducidas en espaldera y guyot doble. El sistema de riego localizado cuenta con goteros autocompensantes de 2,04 L h^{-1}, separados 0,75 m, datos derivados de la evaluación del sistema de riego en condiciones normales de funcionamiento. En el año 2022, se implementó un tratamiento secano y el riego habitual realizado por la bodega. Durante el año 2023, se fijaron diferentes manejos de riego: el propuesto por la bodega, y el basado en el modelo REGAVID, así como un tratamiento control sin agua de riego (secano). En cada uno de los tratamientos se seleccionaron tres repeticiones (A, B y C) de nueve plantas, en las que se realizaron las diferentes medidas en el suelo y la planta (Figura 1). De la

toma de muestras de suelo se deduce que se trata de un suelo franco limoso, con una fracción gruesa del 45 %, un pH de 5,6, y un contenido en materia orgánica de 7,6 %. Además, se determinó la variabilidad espacial de la parcela, determinando la conductividad eléctrica aparente del suelo (CE_a), empleando el equipo EM38 (Geonics, Ltd, Canada) para evaluar la variabilidad espacial en la parcela de estudio.

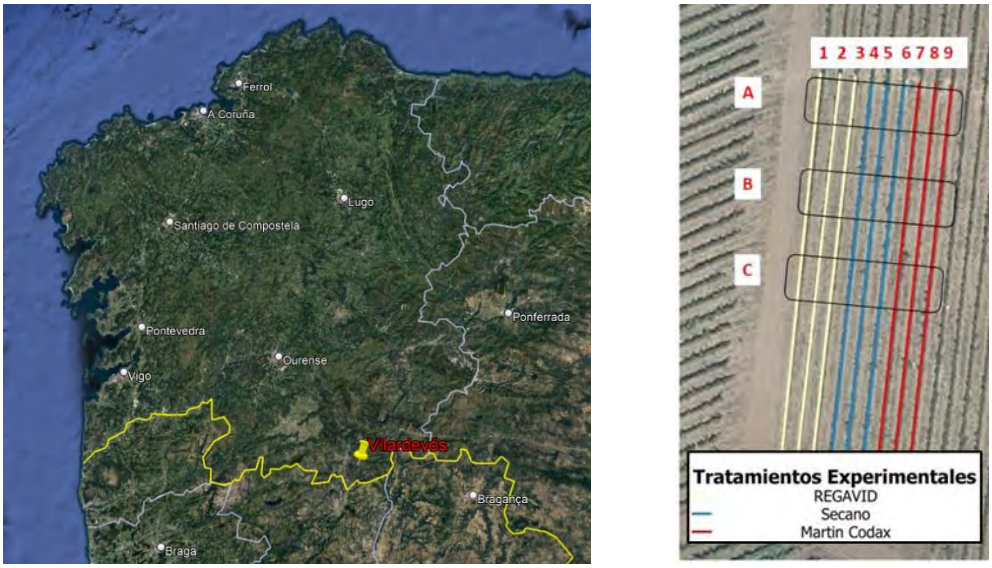


Figura 1. Localización viñedo estudio (Vilardevós-Ourense) y delineamiento de tratamientos de riego

Sensorización y modelización:

La importancia de la medición en continuo de variables como el estado hídrico de la planta y/o el estado de agua en el suelo son cruciales para un buen manejo del riego (Mirás-Avalos y Araujo, 2021). Hoy en día existen una multitud de sensores diversos, tanto para la medición de parámetros de suelo como de planta. En la parcela de Vilardevós, se instalaron sensores Watermark (Irrometer, USA), a tres profundidades 15, 30 y 45 cm, que permiten realizar el seguimiento en continuo del potencial de agua en el suelo. Además, se añadieron puntos de control del contenido de agua en el suelo a 15 y 45 cm, empleando un TDR-100 (Decagon Device, USA). Por último, se incorporaron contadores volumétricos que permiten conocer el volumen de agua aplicado en cada evento de riego, aspecto clave para un adecuado manejo del riego (Figura 2).

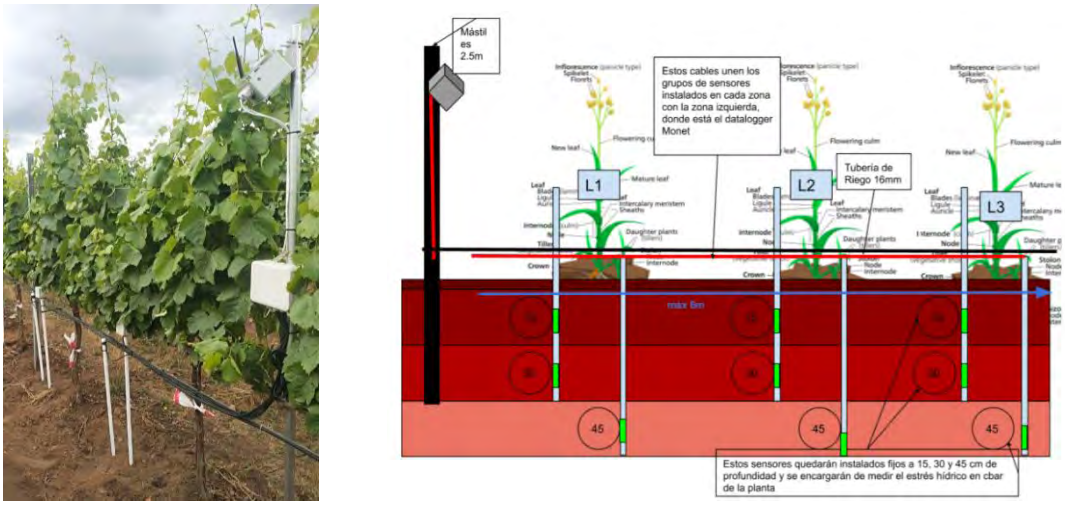


Figura 2. Disposición de sensores Watermark y nodo de comunicación (izq.), esquema de instalación de sensores (dcha.)

Para la modelización de las necesidades hídricas del cultivo y la **calibración local de los coeficientes de cultivo se ha aplicado la metodología dual** recogida en la monografía FAO-56 (Allen et al., 1998). La

modelización requiere de la medición de una serie de variables en el viñedo (altura y anchura del dosel vegetal y nivel de cobertura de la cubierta vegetal) en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo (Fandiño et al., 2015). Además, se deben medir los parámetros climáticos que intervienen en el cálculo del balance de agua en el suelo para la aplicación de la ec. de Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), para lo que se ha empleado una estación localizada en la parcela de Martín Codax, así como datos de la estación agroclimática de Vilardevós (MeteoGalicia, Xunta de Galicia).
Un aspecto destacado de la herramienta de modelización es que se encuentra basada en diferentes modelos predictivos que permiten conocer, con una semana de antelación, los parámetros que intervienen en el balance simple de agua en el suelo: precipitación y evapotranspiración de referencia. Estos parámetros predichos, junto con los coeficientes de cultivo adaptados a las condiciones locales, nos permiten realizar una programación de riego semanal ajustada a las condiciones climáticas.

Resultados

La campaña 2022 ha sido empleada para la calibración inicial de los coeficientes de cultivo ajustados a las condiciones locales y a la variedad Godello, obteniendo un $K_{c\ medio}$ = 0,85 (floración-envero) y un $K_{c\ final}$ = 0,65 (envero-vendimia). A estos valores se ha aplicado un coeficiente de estrés (Ks) de 0,5, antes de floración y de 0,25 tras la floración. Durante los años 2023 y 2024, se ha realizado la validación de los coeficientes de cultivo determinados en 2022, aplicando las dosis de riego semanales según los resultados derivados de la modelización. Los coeficientes culturales finales tras su aplicación en las campañas 2023 y 2024 han sido: $K_{c\ medio}$ = 0,45 (floración-envero) y un $K_{c\ final}$ = 0,25 (envero-vendimia).

Dinámica del estado hídrico en el suelo y la planta. Parámetros productivos y cualitativos

Los valores de potencial y contenido de agua del suelo y la previsión meteorológica, con una semana de antelación, han servido para programar el inicio del riego, así como la dosis de riego semanal. Para disparar el riego se ha considerado un valor medio de -75 cbar, a partir del cual se realizaron recomendaciones de riego semanales, iniciándose los riegos el 27 de junio, y finalizando los mismos el 4 de septiembre, días previos a la vendimia. La evolución a lo largo del año 2023 muestra que existen diferencias significativas para el potencial de agua en el suelo (Fig. 3a), con ligeras diferencias en el comportamiento mostrado por la planta (Fig 3b). La combinación de ambas medidas: suelo y planta, permite comprender la respuesta final que se ha obtenido a nivel de producción y calidad.

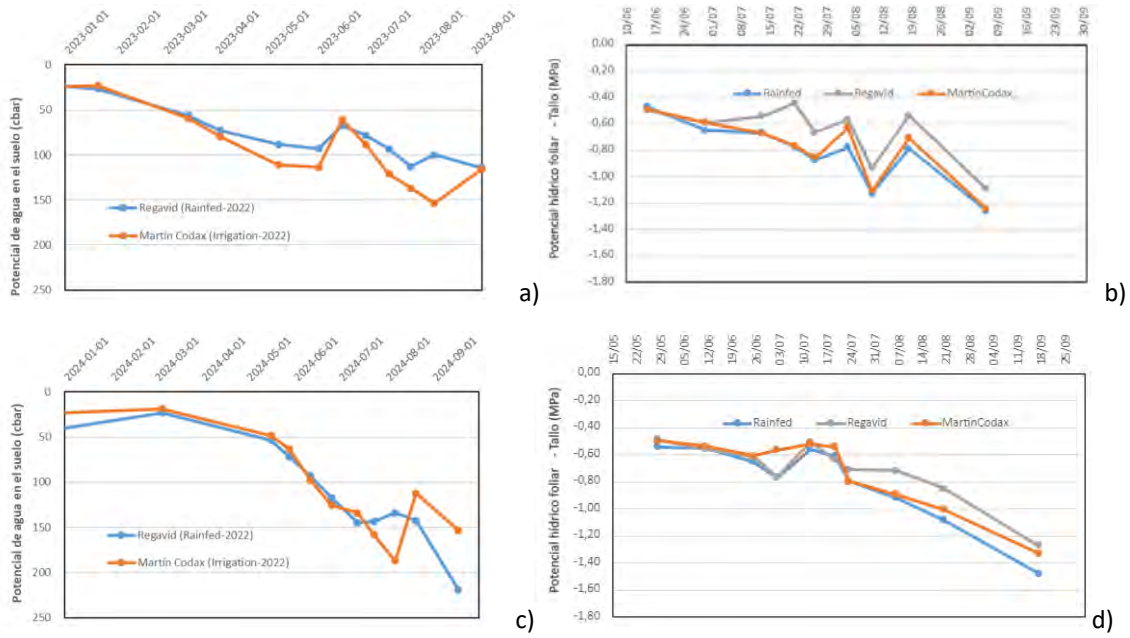


Figura 3. Dinámica del potencial de agua en el suelo (a y c), y el potencial de tallo (b y d). Campañas 2023 y 2024

Los parámetros productivos muestran una tendencia a mayores producciones en los tratamientos regados, debido a un mayor número de racimo y al peso medio de cada racimo (Tabla 1). En la campaña 2024 se

obtuvieron mayores producciones en el tratamiento secano, debido a problemas fitosanitarios que afectaron a la parcela en los meses de desarrollo vegetativo y del racimo. Los parámetros de calidad no muestran diferencias entre tratamientos para el grado brix, aunque con diferencias claras entre años. Por otra parte el tratamiento REGAVID ha mostrado un mayor valor de acidez total en vendimia que el resto de tratamientos, aunque sin diferencias significativas.

Tabla 1. Resultados productivos y cualitativos. Campañas 2022, 2023 y 2024

Tratamiento	Nº Racimos (2022-23-24)	Producción planta (kg) (2022-23-24)	Peso medio racimo (gr) (2022-23-24)	Grados Brix (2022-23-24)	Ac. Total (gr/L) (2022-23-24)
Secano	20 – 31 – 26	1,70 – 4,63 – 1,96	85 – 155 – 83	24,2 – 20,3 – 21,2	4,9 – 3,7 – 7,5
Martín Codax	21 – 39 – 23	2,44 – 5,80 – 1,65	115 – 148 – 67	24,1 – 20,0 – 22,4	4,9 – 4,0 – 7,7
REGAVID	SD – 39 – 22	SD – 6,00 – 1,37	SD – 154 – 60	SD – 20,9 – 21,7	SD – 4,6 – 8,5

SD: Sin datos

Estrategias de riego. Plataforma REGAVID

La integración de la información generada con el modelo predictivo REGAVID para el manejo del riego en el viñedo se encuentra en una versión beta (Figura 4), pendiente de incorporar las modificaciones derivadas del año 2024. El objetivo de la herramienta es facilitar al viticultor información fácilmente interpretable y que pueda tomar decisiones basadas en la información generada. En la aplicación web se prevé la incorporación de las recomendaciones de riego semanales, expresada en tiempos de riego, por lo que es necesario conocer los detalles del sistema de riego, número de sensores por planta, caudal y marco de plantación.

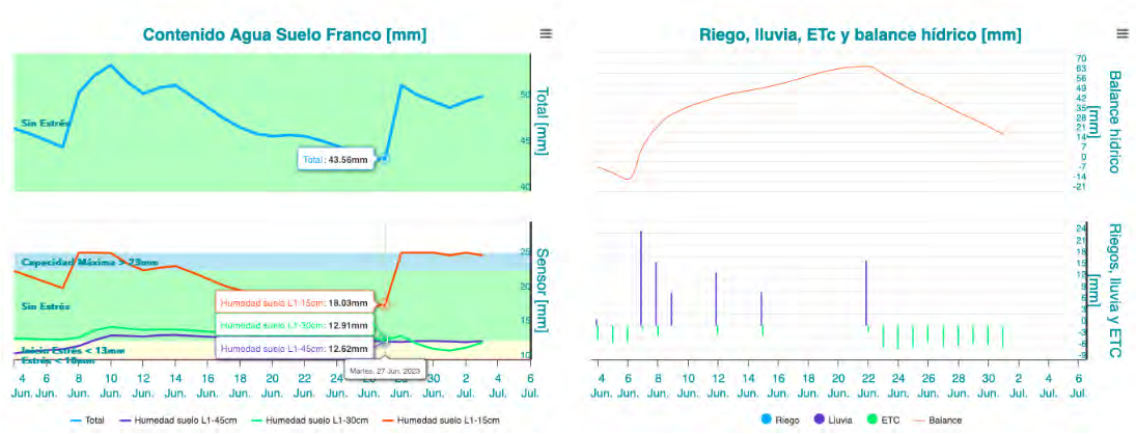


Figura 4. Visualización resultados web REGAVID (versión Beta). Monet Viticultura

El uso de sensores de medición continua, Watermark, a diferentes profundidades permite conocer la dinámica del agua en el suelo y establecer umbrales para gestionar el riego (Figura 4). El sistema de apoyo a la gestión del riego permite definir una estrategia diferente de riego deficitario en función del estado del viñedo y de la temporada.

Conclusiones

La digitalización del viñedo incluyendo datos del estado del agua en el suelo a diferentes profundidades permite conocer el movimiento del agua en el suelo, una vez realizado un riego, así como el establecer límites que marquen el inicio y fin de las necesidades de riego. El empleo de la predicción de datos climáticos de calidad facilita el manejo eficiente del agua, mejorando los resultados del balance de agua en el suelo. Se requiere mejorar los modelos predicción en base al aprendizaje de los modelos empleados para la predicción, puesto que la existencia de eventos extremos dificulta su predicción a partir del día 3-4, en momentos donde se prevén precipitaciones, donde no es necesario regar. Las reprogramaciones del riego de forma diaria son posibles, aunque dificultan la gestión del riego por parte del viticultor, por lo que se recomienda realizar las correcciones de dosis de riego, de ser necesario, en la semana siguiente. En conclusión, las **herramientas flexibles de gestión del riego basadas en datos climáticos predichos con una semana de antelación** son clave para la gestión del riego en climas templados, más aún con suelos con elevada fracción gruesas y con rápido drenaje.

Financiación

Ayuda para la ejecución de grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020.

Bibliografía

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

Cancela, J.J., Fandiño, M., Rey, B.J., Martínez, E.M. (2015). Automatic irrigation system based on dual crop coefficient, soil and plant water status for *Vitis vinifera* (cv Godello and cv Mencía). Agricultural Water Management, 151, 52-63.

Cardell, M. F., Amengual, A., Romero, R. (2019). Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. Regional Environmental Change, 19, 2299-2310.

Mirás-Avalos, J.M., Araujo, E.S. (2021). Optimization of vineyard water management: Challenges, strategies, and perspectives. Water, 13(6), 746.