

INFORME ANUAL DE RESULTADOS

Parcela demostrativa de equipos de sensorización para una agricultura sostenible en el Campo de Cartagena, en cumplimiento de la Ley 3/2020 de recuperación y protección del Mar Menor.

AÑO: **2022**

CÓDIGO PROYECTO: **22CTP1_1**

Área:	FERTIRRIGACIÓN
Ubicación:	Torre-Pacheco (Murcia)
Coordinación:	Plácido Varó Sánchez en sustitución de Joaquín Navarro, CIFEA Torre Pacheco
Autores:	José Banegas, Plácido Varó y Fulgencio Sánchez, CIFEA Torre Pacheco
Duración:	Enero-Diciembre 2022
Financiación:	Programa de Desarrollo Rural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia 2014-2020



Contenido

1. RESUMEN.....	3
2. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.....	5
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
3.1. Cultivo y variedades, características generales.....	8
3.2. Ubicación del proyecto y superficie.....	10
3.3. Diseño estadístico y características de las parcelas demostración.....	11
3.4. Características del agua, suelo y clima.....	11
3.5. Preparación suelo, marco y densidad de plantación. Sistema de formación y/o entutorado. .	17
3.6. Riegos y abonados.....	18
3.7. Tratamientos fitosanitarios y control de malas hierbas.	19
3.8. Dispositivos instalados.....	20
3.9. Análisis a realizar.....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Parámetros y controles realizados.....	21
4.2 Medidas de la humedad del suelo mediante sensores.....	22
4.3 Resultados: producción, calidad, rentabilidad, etc.....	26
4.4 Desarrollo de los objetivos propuestos.....	26
5. CONCLUSIONES.....	28
6. ACTUACIONES DE DIVULGACION REALIZADAS.....	29
7. REPORTAJE FOTOGRAFICO.....	29



1. RESUMEN.

Se considera necesario orientar a los agricultores en el cumplimiento de la Ley 3/2020 de recuperación y protección del Mar Menor, mediante la adopción de nuevas tecnologías de riego que permitan uso más eficiente del agua, dada la importancia de la agricultura en la Región de Murcia y la necesidad de reducir el consumo de este recurso tan limitado, además de evitar la contaminación difusa por nitratos.

Este proyecto pretende dar a conocer los resultados de dispositivos y técnicas aplicados al ahorro de agua y fertilizantes y supone la instalación de unas parcelas demostrativas para la aplicación de estas técnicas y dispositivos, en el contexto de la legislación vigente a aplicar, como son el Código de Buenas Prácticas Agrarias, la Ley 3/2020 y la normativa de las Zonas Vulnerables.

En la anualidad 2022 la parcela demostrativa ha consistido en el establecimiento en el interior de un invernadero en el CIFEA de Torre-Pacheco de diversos cultivos hortícolas (pimiento, tomate, berenjena, judías, calabacín, etc.) y la instalación de dispositivos para una gestión más eficiente de la fertirrigación. La instalación de los sensores para la medida de humedad gravimétrica se realizó el 11 de marzo de 2022 para la campaña en curso.

Se ha realizado biosolarización y aporte de materia orgánica para la mejora del suelo y está en marcha un nuevo cultivo para el ciclo de otoño-invierno 2022 en el cual se han instalado los dispositivos de medición de humedad del suelo y control del riego. Este cultivo demostrativo se alargará hasta la primavera de 2023.

Básicamente se pretende evaluar el comportamiento de los dispositivos para el control del riego instalados, preparando en primer lugar la tierra del invernadero mediante un subsolado y posteriormente un pase de fresadora para enterrar el estiércol de fondo. En anualidades anteriores y tras los resultados de los análisis de suelos y datos ofrecidos por los dispositivos colocados, se añadió para la mejora del suelo paja, azufre o arena fina, con buenos resultados.

Como mejor opción disponible de entre las estudiadas en la anualidad 2019, se instaló en marzo de 2022 un sistema de medida de la humedad gravimétrica por sensores con datalogger tipo Em y se colocaron tres sondas 10HS a tres profundidades, 15, 30 y 50 cm, con su correspondiente software.

Estos sensores de tipo capacitivo FDR constan de dos placas de un material conductor separadas por una pequeña distancia y miden el contenido de agua en el suelo a partir de la constante dieléctrica del mismo. Sus lecturas se expresan en contenido volumétrico de agua en el suelo (m^3 de agua/ m^3 de



suelo). Se eligieron por ser su instalación sencilla a cualquier profundidad y orientación en el perfil del suelo, por ser un diseño robusto y de larga duración para monitorizar a largo plazo y por la comodidad en la extracción de los datos, que se disponen en el ordenador o en el móvil; aunque requieren control por técnico o empresa cualificada.

Con estos sensores se establecen los límites de “Capacidad de Campo” y “Punto de Marchitez” y por lo tanto es posible conocer la humedad mínima aceptable para establecer la estrategia de riego, una vez programado el riego por el método de la FAO. Estos dispositivos, ensayados ya durante cuatro años se han mostrado adecuados para manejar el riego en hortícolas, teniendo en cuenta que la tolerancia del cultivo a la cantidad de agua disponible en el suelo varía durante su desarrollo, ajustando los umbrales de riego a las necesidades del cultivo en cada una de sus fases.

En marzo de 2022 se realizó también la instalación de los dispositivos FullStock, que permiten intuir de una manera directa el movimiento del agua en el suelo. Los datos obtenidos indican que la concentración de nitratos en la sondas a 20 cm es similar a la concentración en sondas a 40 cm y muy elevada, como consecuencia de un exceso de abonado. Ello se debe a que todo el invernadero se abona igual y atendiendo las necesidades máximas de plantas como el tomate, con lo que otros cultivos están sobrefertilizados por extraer menos y partir de un suelo altamente fertilizado.

Como ya se comprobó en la anualidad 2021, se produce una sobrefertilización con el sistema de conductividades, que es necesario corregir, ya que las plantas dejan percolar gran parte de los nitratos aportados, que exceden a sus necesidades.

Se observa que la sobrefertilización se produjo en momentos puntuales, como el inicio del cultivo, con conductividades de hasta 6,86 microsiemens por cm, para estabilizarse después el abonado, dando conductividades en el entorno de 2 microsiemens por cm. Se ha realizado la medición de los iones en estos dispositivos por un equipo de medición de nutrientes, que proporciona información de 7 iones/nutrientes, pH, conductividad y dureza en tiempo real, adquirido en 2022 y enseñado a los técnicos y agricultores que han visitado el proyecto.

El dispositivo FullStock, así como cualquier sonda de succión sería adecuado tomando muestras de lixiviado a dos profundidades para el seguimiento del control del riego y por el contrario, el método de conductividades fijas para el abonado habría que desecharlo si no se tiene en cuenta algún parámetro más como la medida de las sondas, porque como hemos visto nos ha llevado a una sobrefertilización en el invernadero y a la consiguiente lixiviación.



En general, confirmamos, como en anualidades anteriores, que los sistemas de monitorización de la humedad en el suelo son herramientas muy útiles para mejorar la eficacia del modelo de programación de riego de la FAO, basado en su combinación con el uso de sensores de humedad del suelo. Se da por cerrado el proyecto, considerando que los sensores de humedad volumétrica en suelo han resultado más eficaces para el control de la fertirrigación que otros dispositivos.

Con este proyecto se ha evidenciado que el uso de los dispositivos repercute directamente en un menor consumo de agua y fitosanitarios, sin ver mermadas las producciones del cultivo. Los dispositivos pretenden caracterizar y corregir los defectos de un mal empleo del riego y la fertilización.

2. OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.

La Ley 3/2020 de recuperación y protección del Mar Menor establece la necesidad de controlar los parámetros de calidad del agua de riego, así como el uso de la misma y la gestión eficiente del riego y de la fertilización, hasta el punto que sanciona con infracción leve las explotaciones que no aplican técnicas de gestión eficiente del riego y considera infracción grave lo siguiente:

- a) Incumplimiento del Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Región de Murcia.
- b) No cumplimentar adecuadamente el cuaderno de explotación o anotar en él datos falsos.
- c) Rebasar los límites de abonado o abonar en épocas distintas de las permitidas.
- d) Aplicar abonos orgánicos o inorgánicos de forma inadecuada.
- e) No aplicar los fertilizantes en las condiciones establecidas en el programa de actuación.

Además, la Región de Murcia muestra históricamente una escasez de recursos hídricos que está cifrada en 400 hm³ según la previsión actual del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura 2015-2021 aprobada por el RD 1/2016 del 8 de Enero.

El fin último del proyecto es establecer una parcela demostrativa y educativa a los agricultores sobre dispositivos de control del riego que les haga conscientes sobre el uso racional del agua y la fertilización, para evitar pérdidas de la misma y de nitratos, entendiendo que una visión práctica les comprometerá a hacer un mejor manejo de la fertirrigación.

Cuando el técnico de una explotación agrícola ajusta una solución nutritiva para un determinado cultivo lo hace porque considera que esas concentraciones iónicas que ha calculado van a llegar a la planta a través de los goteros instalados en la parcela. Sin embargo, a veces por diversos factores,



como un desajuste, una mala calibración del equipo de fertirriego, un mal funcionamiento o incluso por un mal manejo en la aplicación, las cantidades de fertilizante inicialmente programadas no son las que finalmente salen por los goteros.

Por este motivo es importante llevar a cabo unas acciones de control para verificar que esta composición a nivel de parcela coincide con la que se programó. Para ello, se deben tomar muestras del agua de riego, además de instalar dispositivos de control en el terreno que, con un mayor o menor grado tecnológico, aportarán información acerca de la gestión del agua y los nutrientes.

LOS OBJETIVOS CONSEGUIDOS CON EL PROYECTO EN EL AÑO 2022 SON LOS SIGUIENTES:

Instalación de sondas de humedad en parcela demostrativa.

Durante el año 2020, 2021 y 2022 la instalación de estos dispositivos en la misma parcela se ha demostrado eficiente, fiable, fácil de utilizar y con un aporte de datos robusto. La importancia de determinar el frente de humectación se debe a que cada vez que se riega, el agua y los solutos se mueven el perfil del suelo debido a la fuerza de la gravedad y la capilaridad, siendo la humedad inicial del suelo y la duración e intensidad del riego las que condicionan la profundidad del frente de humectación. Si es demasiado intenso, el agua percola, arrastrando nitratos y otros elementos hacia capas profundas y finalmente hacia el acuífero y el Mar Menor, en lo que se denominó por Pratt en 1948 como “contaminación difusa”.

Se ha repetido en 2022 con la instalación de un equipo de monitorización que mide de forma precisa el contenido volumétrico de agua a tres profundidades y con la instalación de un contador en la línea de goteros, con transmisión de datos al ordenador por datalogger.

El objetivo de la instalación de este dispositivo ha sido enseñarlo y además ha servido para el control adecuado de la fertirrigación.

Instalación de dispositivo FullStop en parcela demostrativa.

Durante el año 2021 se adquirieron tres dispositivos FullStop, que se instalaron a tres profundidades, comprobando su eficiencia. Se trata de detectores del frente de humectación, de bajo coste y lectura por simple visión, que detecta la profundidad del suelo mojado y permite obtener muestras de solución para realizar medidas de la conductividad eléctrica y nitratos. Como si fuera un lisímetro de muy baja succión, los FullStop indican donde se acumulan las sales y si se produce lavado de nitratos y sales por debajo de la profundidad radicular.



El objetivo de la instalación de este dispositivo en 2022, además de enseñarlo es que sirva para el control adecuado de la fertirrigación, para lo que se han tomado muestras periódicas de la solución y se ha analizado en un espectrofotómetro ubicado en el CIFEA de Torre-Pacheco.

Instalación de equipo de medición de nutrientes en parcela demostrativa.

Este dispositivo es nuevo y se adquirió en 2022. Se trata de un equipo de medición de nutrientes que proporciona información de 7 iones/nutrientes, pH, conductividad y dureza en tiempo real. El equipo consta de sonda multi ión de 25mm \varnothing que incorpora electrodos selectivos individuales para cada ion y windows especialmente diseñado para la gestión de datos, anotación de la descripción de la muestra, y su posterior exportación a ficheros csv o excel. Permite obtener resultados en 1 minuto por muestra, analizando hasta 10 parámetros simultáneamente: nitrato, amonio, potasio, calcio magnesio, sodio y cloruro, pH, conductividad eléctrica y dureza.

El objetivo de la instalación de este dispositivo, además de enseñarlo ha sido comprobar que sirve para el control adecuado de la fertirrigación para los agricultores. Se han contrastado los datos de nitratos medidos en el espectrofotómetro y se ha verificado la bondad de las medidas de este equipo.



Transferir a los agricultores y técnicos del sector los conocimientos obtenidos.

Para el cumplimiento de este objetivo de transferir al sector los resultados de la investigación, se ha llevado a agricultores y técnicos a las parcelas demostrativas y enseñado el funcionamiento de los dispositivos en el ordenador, en especial en lo que respecta a las curvas de humedad volumétrica en el suelo. Fotografías de algunas de estas visitas se ponen en el apartado de divulgación.

En particular se ha informado a agricultores y técnicos sobre:



- 1) Las medidas que reducen el impacto ambiental y optimizan el riego y el abonado nitrogenado en los cultivos.
- 2) Los dispositivos que permiten controlar la fertirrigación y optimizarla.
- 3) Los efectos medioambientales y económicos de la falta de control del riego y el abonado.
- 4) Las actuaciones a realizar para el cumplimiento del Código de Buenas Prácticas Agrarias.
- 5) Las actuaciones a realizar para el cumplimiento de las limitaciones en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.
- 6) Las actuaciones a realizar para el cumplimiento de la Ley 3/2020 del Mar Menor.

Elaboración de una memoria que indique las estrategias para reducir el drenaje de agua y la lixiviación de nitratos.

Estas memorias son las anuales de resultados que se publican en la web del Servicio, en las que se han ido estableciendo recomendaciones sobre los distintos aspectos estudiados, especialmente para el ajustado cálculo de las necesidades de abono y riego y las posibles alternativas que reducen la emisión de nitratos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Cultivo y variedades, características generales.

Los cultivos en este ciclo de otoño de 2022- primavera de 2023 son de varias hortalizas bajo invernadero en un invernadero multicapilla del CIFEA, ocupando una superficie de 675 m² y han sido:

- Tomates: Cherry, canario de rama, tipo Raf marmande.
- Pimiento California rojo y Lamuyo.
- Judías verdes de enrame planas.
- Berenjena variedad Bonica.
- Plantas de hoja: Acelgas y perejil.
- Calabacín alargado verde-negro.
- Otras hortalizas: Guisantes.





Foto nº 2. Aspecto de los cultivos de porte bajo, berenjena (11/02/2022).



Foto nº 3. Aspecto de los cultivos de porte alto, tomate (11/02/2022).

Las características del ensayo se reflejan a continuación:

Dado que el trasplante comienza en noviembre-diciembre y se levanta en mayo-junio, en la anualidad 2022 se han realizado dos cultivos de este ciclo de otoño-invierno, ambos de varias hortalizas bajo invernadero en un invernadero multicapilla del CIFE: pimiento, berenjena, tomate,



judías, berenjenas, calabacines.... Se pretende tener la máxima variabilidad de especies dentro del reducido espacio del invernadero, lo que contribuye también al objetivo de rotación de cultivos.

3.2. Ubicación del proyecto y superficie.

El proyecto está ubicado en el CIFEA de Torre-Pacheco, en el invernadero que marca la flecha.



Foto nº 4. Ortofoto del CIFEA de Torre-Pacheco con ubicación del ensayo.

La superficie de la parcela demostrativa es de unos 675 m², que es la superficie que se dedica al cultivo de las distintas hortalizas, espacio que se ha visto suficiente para el cultivo y para colocar todos los dispositivos a ensayar.



3.3. Diseño estadístico y características de las parcelas demostración.

Las parcelas demostrativas han contado esta anualidad 2022 con los siguientes aparatos y dispositivos, cuya instalación se realizó una vez instalado el cultivo:

- Instalación de sistema de medida de la humedad gravimétrica por sensores HS con datalogger tipo Em, colocación en el interior del invernadero y tres sondas a tres profundidades, con su correspondiente software de transmisión de datos.
- Instalación de dispositivo FullStop a tres profundidades, para detectar visualmente el frente de humectación.
- Instalación de sonda y equipo de medición de nutrientes, para analizar 10 parámetros simultáneamente: nitrato, amonio, potasio, calcio magnesio, sodio y cloruro, pH, conductividad eléctrica y dureza.

Con este proyecto se ha evidenciado que el uso de los dispositivos referenciados repercute directamente en un menor consumo de agua y fitosanitarios, sin ver mermadas las producciones del cultivo. Los dispositivos posibilitan caracterizar y corregir los defectos de un mal empleo del riego y la fertilización.

3.4. Características del agua, suelo y clima

Con los créditos disponibles del Programa de Desarrollo Rural 2014-2020, cofinanciado por el FEADER, se han podido realizar análisis de los suelos del invernadero, en laboratorio especializado.

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo del invernadero es profundo, con una textura franco-limosa, un contenido de materia orgánica muy alto (5,37%) y muy alta salinidad. La realización de este análisis final del suelo, cuya muestra fue tomada en mayo de 2022, ha servido para ver como se ha reducido desde 2019 el elevado nivel de salinidad del suelo en todos los elementos y principalmente en nitratos.

En esta parcela se ha comprobado lo importante que resulta la realización de análisis de suelos, que en nuestro caso va a permitir corregir la excesiva salinidad producto de muchos años de cultivos sucesivos y fuertes abonados, así como controlar el elevado aporte de materia orgánica y compuestos nitrogenados.



ANÁLISIS DE SUELO REALIZADO EL 20/05/2022

Determinaciones <i>(Parameters)</i>	Re
*Extracto acuoso	1
pH (a 22.5°C)	
*Color	10
Determinaciones <i>(Parameters)</i>	Re
Conductividad (extracto acuoso 1:2, a 25°C)	
Cloruros (en el extracto acuoso)	
Sulfatos (en el extracto acuoso)	
*Sodio (en el extracto acuoso)	
*Sodio asimilable	
*Bicarbonatos	
Determinaciones <i>(Parameters)</i>	Re
Nitratos	
Nitrógeno Nítrico	
Fósforo asimilable (Morgan)	

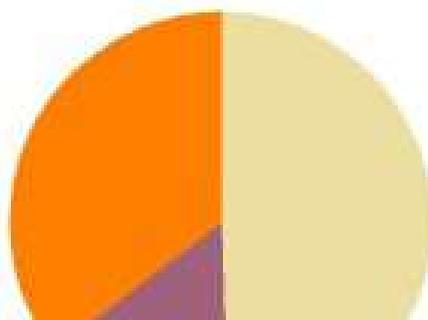
16.01/2025.12.50.40

Esto es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico administrativo archivado por la Comunidad Autónoma de Murcia, según artículo 27.3.c) de la Ley 39/2015. Los firmantes y las fechas de firma se muestran en los recuadros. Su autenticidad puede ser contrastada accediendo a la siguiente dirección: <https://sede.carm.es/verificardocumentos> e introduciendo el código seguro de verificación (CSV) CARM-39040638-4400-555-32e4-00505696280



CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓN		
Determinaciones (Parameters)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)
*Calcio de cambio		11.9 (meq/100g)
*Magnesio de cambio		2.43 (meq/100g)
*Potasio de cambio		2.28 (meq/100g)
*Sodio de cambio		0.221 (meq/100g)
*Capacidad de cambio		16.8 (meq/100g)
MICROELEMENTOS Y OTRAS DETERMINACIONES		
Determinaciones (Parameters)	Resultado (Result)	(Unidades) (Units)
*Hierro asimilable		22.1 (mg/kg)
*Boro asimilable		2.42 (mg/kg)
*Manganeso asimilable		18.5 (mg/kg)
*Cobre asimilable		3.53 (mg/kg)
*Zinc Asimilable		21.2 (mg/kg)
*Caliza total		49.0 (%)
*Caliza activa		11.5 (%)
DETERMINACIONES OPCIONALES		
Determinaciones	Resultado	(Unidades)

*TEXTURA (USDA)(SUE0008) : Arci



RESULTADOS FUERA DEL RANGO
(Results out of accreditation range)

Determinaciones (Parameters)	Res (F)
Carbono Orgánico Total (COT)	

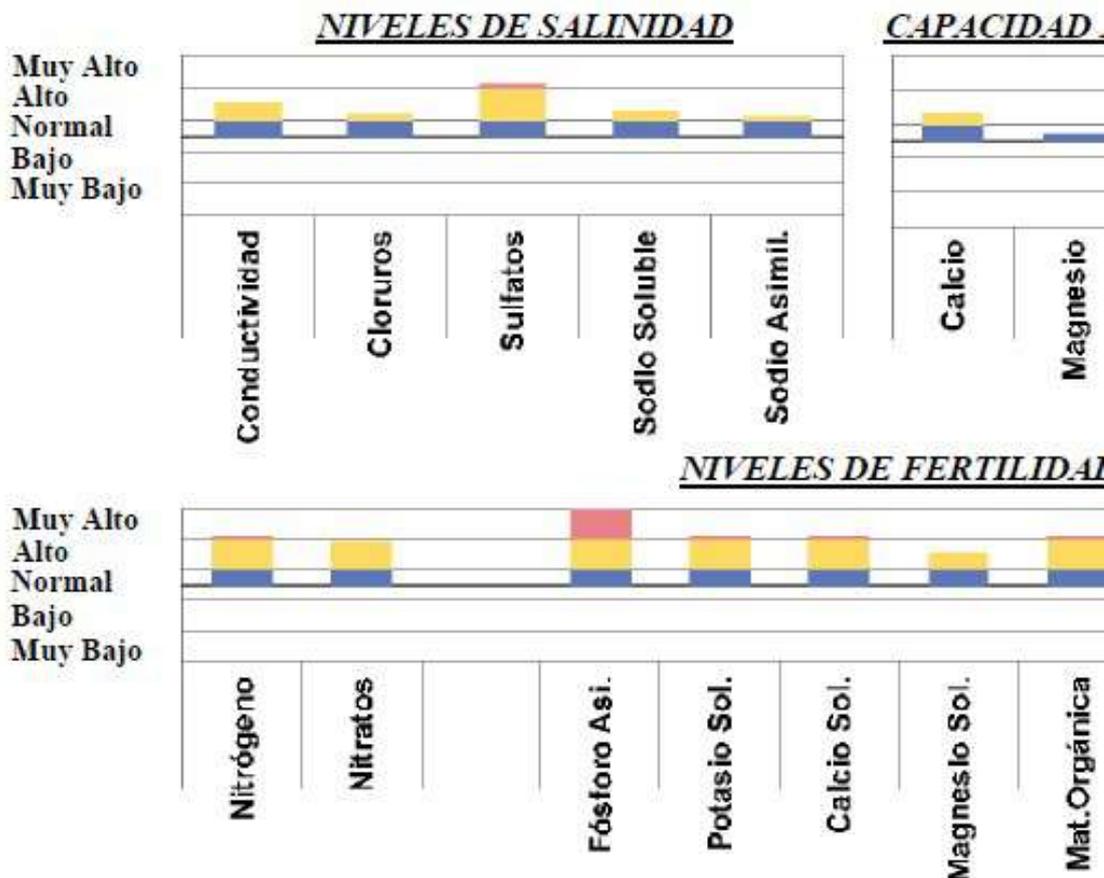
16/01/2025 12:50:40

Esto es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico administrativo archivado por la Comunidad Autónoma de Murcia, según artículo 27.3.c) de la Ley 39/2015. Los firmantes y las fechas de firma se muestran en los recuadros. Su autenticidad puede ser contrastada accediendo a la siguiente dirección: <https://sede.carm.es/verificardocumentos> e introduciendo el código seguro de verificación (CSV) CARM-39040638-4400-555-32e4-00505696280



INFORME AGRONÓMICO

1.-NIVELES.



2.-EXTRACTO 1:2 (SUELO:AGUA).

DETERMINACIÓN				
pH	7.60			
Conductividad eléctrica	3.48 (mS/cm)			
S.A.R.	1.33			
Elementos en el extracto	Resultado informe		mg/l	me
Sulfatos	25.8 (meq/l)	8619.26 Kg/Ha	1238.40	25
Cloruros	4.2 (meq/l)	1037.74 Kg/Ha	149.10	4.
Nitratos	272 (mg/kg de N)	947.12 Kg(N)/Ha	602.64	9.

Respecto a la concentración de sales, el suelo presenta niveles altos en sodio y cloruros y muy altos en sulfatos. Por su CE (3,48 mmho/cm) el suelo se clasifica como salino (entre 1,5 y 5), contribuyendo los nutrientes como el calcio, magnesio, otasio y nitratos también a la conductiuidad. El pH, que mide la reacción del suelo, es alto.



3.- CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONÍ

DETERMINACIÓN	meq/100 g suelo	ÓPTIMO	ppm	(⁹)
<i>C.I.C.(suma de cationes)</i>	16.80	10 - 20		
<i>Calcio</i>	11.90	6 - 10.50	2380.00	70
<i>Magnesio</i>	2.43	1.30 - 3	295.25	14
<i>Potasio</i>	2.28	0.70 - 1.20	891.48	13
<i>Sodio</i>	0.22	< 0.50	50.83	1.

La capacidad de intercambio catiónico o posibilidad que tiene el suelo de retener elementos en forma catiónica es óptima. La saturación de sodio es del 1,32%, por lo que la sodificación del suelo se considera normal.

4.- ELEMENTOS ASIMILABLES y OTRAS D

MICROELEMENTOS ASIMILABLES		ÓPTIMO
BORO (ppm):	2.42	1.50 - 3
HIERRO (ppm):	22.10	2 - 4
MANGANESO (ppm):	18.50	1 - 3
COBRE (ppm):	3.53	1.20 - 2
ZINC (ppm):	21.20	1.25 - 2.50
MOLIBDENO (ppm):		
MACROELEMENTOS ASIMILABLES		ÓPTIMO
FÓSFORO (ppm):	294.00	30 - 50
SODIO (ppm):	273.00	< 250
POTASIO (ppm):	1440.00	280 - 420
CALCIO (ppm):	3140.00	1300 - 3700

Los valores de los cationes asimilables (Calcio, Magnesio, Potasio) junto con Fósforo, Materia Orgánica y Nitrógeno, informan del grado de fertilidad que presenta el suelo.

- Este suelo presenta una **Relación Carbono/Nitrógeno** BAJA (menor que 10), lo que indicaría una excesiva liberación de Nitrógeno nítrico.
- **CARBONATO CÁLCICO**, el "Total" toma valores **muy altos**; el "Activo" toma valores **altos**, lo que podría producir el bloqueo de ciertos nutrientes: Hierro(clorosis Férrica), Zinc, Cobre, Manganeso, Fósforo, Potasio y Magnesio. Se pueden ir amortiguando estos niveles excesivos mediante la aplicación de Ácidos en el abonado, así como para contrarrestar la absorción de estos nutrientes se pueden hacer aportaciones extras de Materia Orgánica.
- **La densidad aparente (Da)** es la razón de la masa de suelo seco al volumen de dicho suelo en su estado natural, es decir, considerando el volumen que ocupan las partículas sólidas y los poros.
- **TEXTURA**. Se trata de un suelo "**pesado**", con **alta** capacidad de retención de agua y abonos.



· **CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE (CRAD):** Se calcula a partir de la textura, la densidad aparente (Da) y los elementos gruesos mayores de 2 mm. En este suelo se ha obtenido $CRAD=0.119$ [mm agua/mm suelo]. Si el espesor del suelo es de 30 cm (300 mm) tendremos que:

$$CRAD \times 300 \text{ [mm]} = 35.7 \text{ [mm agua]} = 35.7 \text{ [l/m}^2\text{]} = 357 \text{ [m}^3\text{/ha]}$$

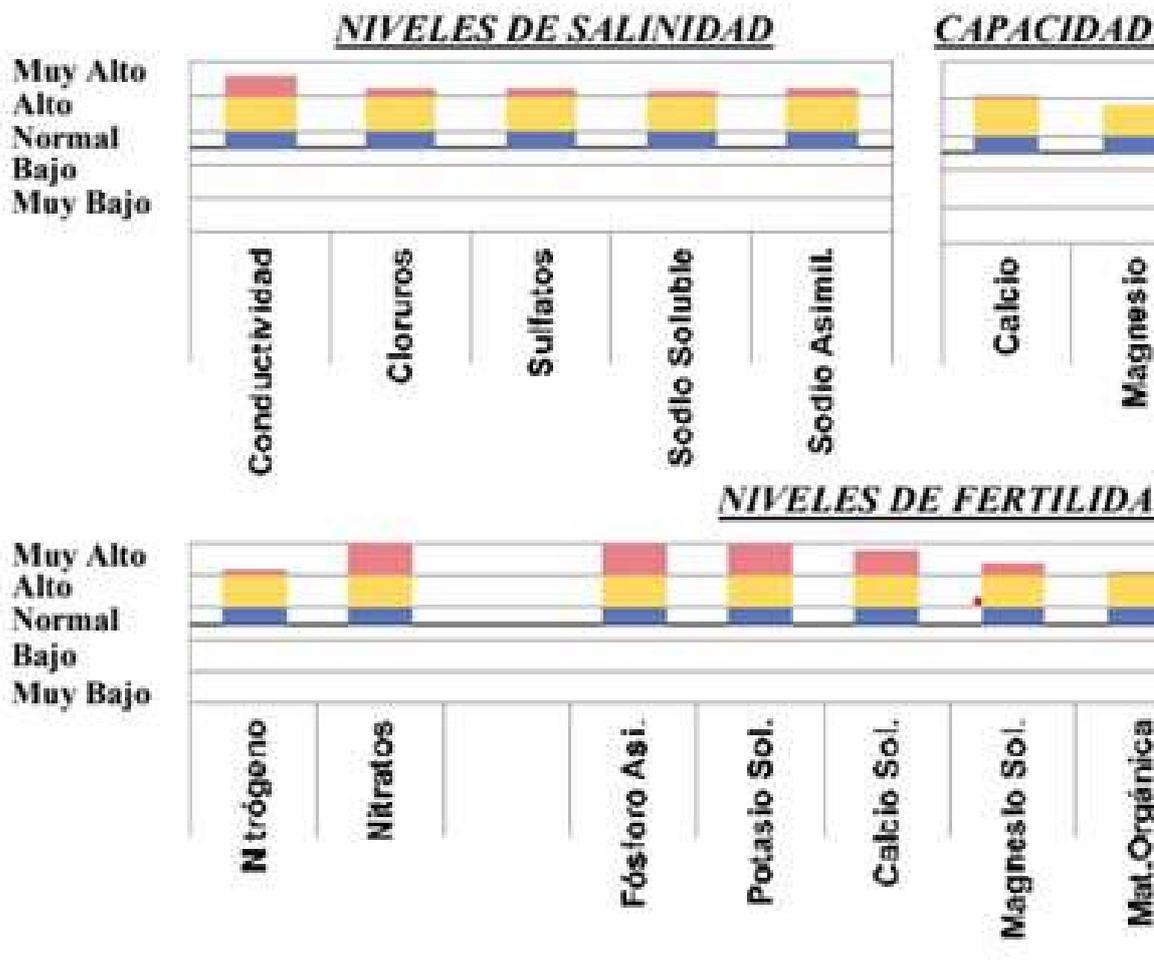
CONSIDERACIONES FINALES.

SALINIDAD.- Salino. Los iones más tóxicos, Sodio y Cloruros se en La sodicidad del Suelo o Saturación de Sodio es normal.

FERTILIDAD.- De los datos observados en la tabla de fertilidad, el alto, así como el valor de la **Materia Orgánica**, para este tipo de suel fracción de Nitrógeno es bastante fluctuante. **Potasio asimilable**, pres

Si comparamos con el análisis realizado en julio de 2019, vemos una importante reducción de sales en el suelo por la aplicación de buenas prácticas agrarias y el control adecuado del riego y la fertilización:

NIVELES EN EL SUELO JULIO 2019



Las sales presentaban niveles muy altos de sodio, cloruros y sulfatos y en 2022 bajaron a altos y solo permanecían muy altos los sulfatos. La CE del suelo en 2019 era de 15 mmho/cm y bajó a 3,48, pasando de muy salino a salino. Como consecuencia de la bajada de sales, la saturación de sodio pasó del 3,78% en 2019 al 1,32% en 2022.

La textura del suelo en 2019 lo permitía clasificar como suelo “medio” con buena capacidad de retención de agua y abonos, la textura en 2022 lo clasifica como suelo “pesado”, con alta capacidad de retención de agua y abonos. Esta mejora se ha debido a la aplicación de enmiendas como paja, arena, etc. a lo largo de estos dos ciclos de cultivo. La mayor capacidad de retención de abonos redundaba en una menor lixiviación.

En el suelo de 2019 se obtuvo una capacidad de retención de agua disponible de $CRAD=0.0904$ [mm agua/mm suelo]. Si el espesor del suelo es de 30 cm (300 mm) tendremos que $CRAD \times 300$ [mm] = 27,12 [mm agua] = 27,12 [l/m²] = 271,2 [m³/ha]. Es decir, las sucesivas enmiendas aplicadas han conseguido aumentar la CRAD, que en 2022 es de 357 [m³/ha], por lo que el suelo tiene más capacidad de retención de agua y por lo tanto lixivia menos.

3.5. Preparación suelo, marco y densidad de plantación. Sistema de formación y/o entutorado.

Antes de realizar el trasplante se realizaron dos labores de subsolador, otras dos de rotovator y, por último, un corte de tierra con tilde para dejar definidos los caballones. En las zonas con acolchado se realizó la labor correspondiente para su colocación.

La plantación se realizó a mano y las plantas provenían de semillero, algunas del propio CIFEA. El marco de plantación medio es de 1 metro entre líneas y 20 cm entre plantas colocadas a dos caras. La densidad es de unas 8 plantas/m² (en total unas 4.000 plantas, dejando los bordes). El marco de plantación del pimiento y tomate es de una planta por gotero, a una separación de 33 cm y constituye casi la mitad de las plantas del invernadero, por lo tanto una densidad de 0,33 plantas por m² o lo que es lo mismo, 3 plantas por m².

Una vez levantado el cultivo anterior, a finales de junio de 2022, se procedió a realizar un pase de subsolador al objeto de preparar el suelo para la solarización. Se aplicó arena para mejorar la estructura, y muy poco estiércol, ya que anteriormente se vio en el análisis de suelo un elevado contenido de materia orgánica.



Foto nº 5. Preparación del terreno para la siguiente campaña (21/09/2022).



La plantación se realizó a mano y las plantas provenían, generalmente, de semillero realizado en el propio CIFEA. Se extendió film plástico en cada fila de plantas para retener la humedad cerca de las raíces y los calabacines tuvieron que acolcharse.



Foto nº 6. Mitad de ciclo de la plantación de la nueva campaña (11/02/2022).

El estiércol aplicado presenta un contenido de humedad del 41,26% y sobre muestra seca un 60,4% de materia orgánica. El contenido de N es bajo 1,68 % sobre muestra seca, el de P de 1,53% y el de potasio de 2,46%. El contenido más elevado de los macronutrientes es el de calcio, con un 14,5% en forma de CaO y de azufre con un 7,72% de SO₃.

3.6. Riegos y abonados.

Para realizar una gestión eficiente del riego y el abonado nitrogenado hay que tener en cuenta que la lixiviación de nitratos a capas profundas o por escorrentía depende de dos variables insolubles; aporte de nitratos y agua de riego o lluvia. El excesivo aporte de agua o su deficiente distribución contribuyen al arrastre de los iones nitrato y el aumento de la contaminación.

La cantidad de agua aplicada por unidad de superficie y la frecuencia de los riegos se ha ido acomodando a la capacidad de retención de humedad del terreno con el fin de evitar pérdidas de agua en profundidad, lejos del alcance de las raíces, con la consiguiente lixiviación de elementos nutritivos móviles.

16/01/2025 12:50:40
VARO VLEDO, PLACIDO
Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico administrativo archivado por la Comunidad Autónoma de Murcia, según artículo 27.3.c) de la Ley 39/2015. Los firmantes y las fechas de firma se muestran en los recuadros. Su autenticidad puede ser contrastada accediendo a la siguiente dirección: <https://sede.carm.es/verificadocuments> e introduciendo el código seguro de verificación (CSV) CARM-39040638-4400-5555-32e4-00505696280



En relación al abonado, por la variedad de cultivos, no ha sido posible establecer formulaciones por cultivo siguiendo la calculadora de nitrógeno, pues todo el invernadero se abonó igual. Lo que se ha hecho es, en consonancia con la Ley 3/2020 de recuperación y protección del Mar Menor, aplicar menos abonado nitrogenado utilizando únicamente los siguientes fertilizantes: aminoácidos, nitrato cálcico, nitrato potásico, sulfato magnésico y fosfato monopotásico, eliminado el nitrato amónico que inclinaría el abonado hacia más dosis de N.

3.7. Tratamientos fitosanitarios y control de malas hierbas.

Durante todo el ciclo de cultivo se realizó muestreo del estado sanitario de la plantación y en función de este se han ido aplicando los tratamientos fitosanitarios necesarios. Se aplicaron preferentemente productos autorizados en las normas técnicas de Producción Integrada de la Región de Murcia.

Durante todo el ciclo de cultivo se observó la presencia de malas hierbas procediendo a su eliminación de forma manual o mecánica. No se consideró conveniente el empleo de herbicidas por la poca superficie del invernadero y la multitud de especies ensayadas en ese poco espacio.

Dado que esta campaña el problema de humedades ha sido mínimo, los tratamientos fitosanitarios realizados en la cosecha 2021/2022 se han limitado a:

- El insecticida abamectina para el control de focos de formas móviles de tetraníquidos (arañas rojas y amarillas) y tarsonémidos (arañas blancas), que afecta al sistema nervioso del insecto por inhibición de los signos nerviosos.
- Un fungicida compuesto por *Trichoderma atroviride* y *Trichoderma asperellum*, preventivo contra enfermedades de suelo (*Phythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Rhizoctonia*, etc). Es un fungicida biológico no tóxico, no residual, no alergénico y respetuoso con la fauna auxiliar.
- El insecticida Imidacloprid contra focos de mosca blanca.
- Azufre sublimado contra la araña roja y el oidio.



Foto nº 7. Sublimador de azufre en el invernadero (18/02/2022).





Foto nº 8. Aspecto de hoja de pepino afectada por oidio (11/02/2022).

Se han realizado además sueltas de auxiliares, como la de *Amblyseius swirskii*, que se muestra como un eficaz depredador de las larvas jóvenes de varias especies de trips, y los huevos y larvas de mosca blanca (tanto *Trialeurodes vaporariorum* como *Bemisia tabacum*) y la colocación de una colmena de abejorros (*Bombus terrestris*) para favorecer la polinización.

3.8. Dispositivos instalados.

Se instaló un sistema de medida de la humedad gravimétrica por sensores HS con datalogger tipo Em, caudalímetro y tres sondas a tres profundidades en suelo en el interior del invernadero, con su correspondiente software de transmisión de datos y placa solar de alimentación.



Foto nº 9. Dispositivo de humedad volumétrica en suelo colocado en el invernadero (11/03/2022).



Asimismo, se instalaron cuatro dispositivos FullStock para la observación rápida del estado de humedad del suelo, con posibilidad de obtener drenaje para el control del abonado en función de la conductividad de las distintas profundidades (20 y 40 cm).



Foto nº 10. Aspecto del dispositivo FullStock y su instalación (11/03/2022).

3.9. Análisis a realizar.

Durante el ciclo de cultivo de primavera de 2021 se realizaron análisis del agua empleada y de suelo.

Se ha medido la concentración de nitratos del agua extraída en las sondas de succión de los Fulstock, midiendo también el pH y la conductividad.

Posteriormente, las muestras recogidas se analizaban en laboratorio, obteniendo así la concentración iónica de la misma, además de los valores de CE y pH. Se ha realizado la comparación entre la medida de nitratos en espectrofotómetro mediante una curva calibrada y la medida en una sonda continua de iones adquirida a tal efecto (sonda IMACIMUS), siendo los resultados satisfactorios.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Parámetros y controles realizados.

A lo largo del cultivo se han realizado las mediciones y observaciones siguientes:

- Sanidad general de la planta (presencia de enfermedades).
- Consumo de agua en el invernadero.



- Tratamientos fitosanitarios.
- Datos de humedad volumétrica en el suelo.
- Concentración de nitratos del agua extraída en las sondas de succión (FullStock).

4.2 Medidas de la humedad del suelo mediante sensores.

Se colocaron en marzo de 2022 tres sensores para medida de humedad gravimétrica en suelo en el invernadero objeto de ensayo, en el cultivo de pimiento y las profundidades de 15, 30 y 50 cm. La instalación se realizó mediante barrena para no alterar el suelo. Las sondas de humedad gravimétrica miden la fuerza que necesita la planta para extraer el agua y se basan en la constante dieléctrica del suelo, que se transforma en contenido de humedad. Estas sondas no dependen de la textura del suelo y su medida y son equivalentes a los tensiómetros, que dan la fuerza necesaria para extraer el agua.

El datalogger manda cada hora los paquetes de datos, que toma cada 5 minutos. El dispositivo tiene alarmas que saltan para valores críticos. Se pueden instalar sondas para riego, fertilizantes, humedad gravimétrica, potencial matricial, conductividad aparente del suelo, caudalímetro, CE de agua de riego, sondas ambientales, pluviómetros dendrómetros, luxómetro, etc.

Las sondas instaladas en el invernadero han sido: caudalímetro en la línea de portagoteros y 3 sondas de conductividad aparente del suelo a 15, 30 y 50 cm.

El fundamento de estas sondas es que al regar se lleva el bulbo húmedo a saturación, con un equilibrio agua-suelo-aire casi a capacidad de campo y en ese estado la planta obtiene el agua del suelo casi sin coste energético. La otra barrera que debemos controlar es el punto de marchitez, a la que no debemos llegar, entre ambas se deben producir los riegos. Con la gráfica de porcentaje volumétrico de agua se ha identificado el punto crítico al a partir del cual debo dar el siguiente riego.

La medida que se emplea para aplicar el riego es el contenido volumétrico de agua en el suelo, que no es otra cosa que el porcentaje de humedad en un volumen de suelo. Los sensores tienen dos polos en sus varillas y entre ellos se produce un voltaje, actuando el suelo como material dieléctrico y traduciéndose la carga en distintos contenidos de humedad a través del software correspondiente. El datalogger envía los datos por la tarjeta SIM y se puede poner en el ordenador y en el teléfono móvil. Se obtienen unas gráficas que reflejan el porcentaje volumétrico en un periodo de tiempo y que nos dan unos picos indicativos de una subida de la humedad en el suelo tras los riegos, que luego se estabilizan hasta una recta o meseta que indica precisamente la capacidad de campo del suelo, o punto óptimo de contenido de agua para su utilización por las plantas.

Hay dos posibilidades de riego del invernadero en suelo:

- Humectar superficialmente con 3-4 riegos al día de unos 15 minutos, con lo que se consigue un sistema radicular en cabellera y poco profundo.
- Humectar con un solo riego al día de una hora, con lo que se consigue un sistema radicular mayor y más profundo, que resiste mejor los periodos de elevada evapotranspiración, aunque la capa superficial permanece más seca.



Nosotros hemos optado por la solución primera de riegos cortos, lo que no permite pasar a un solo riego al día una vez instalada, porque la raíz no se adaptaría y además habría más lixiviación con riegos mayores.

Manejo de las sondas de control de humedad gravimétrica en el suelo:

La instalación de estos dispositivos no nos exime del cálculo de las necesidades de riego semanal. Las sondas ayudan a ahorrar agua cuando hemos hecho una programación calculando los datos según la ETo, pudiendo llegar a unos niveles del 30%, pero no valen para calcular el riego. Se calculan las necesidades hídricas de esa semana, se programa el riego y las sondas permiten ver como evoluciona el perfil del suelo y poder ajustar si falta o sobra agua. Tenemos con ello un dato en tiempo real de si la humedad sube o baja mucho.

La sonda profunda siempre se usa para determinar el drenaje, porque se supone que ya a partir de 50 cm no toman agua las hortalizas, lo que se drena ya son agua y nitratos que van a contaminar.

Las sondas capacitivas miden el contenido de humedad en un suelo, pero hay diferencias según la textura de un suelo, pues en uno arenoso es suficiente con un porcentaje del 15-20% y en uno arcilloso esto es claramente insuficiente. Partimos en las curvas de un margen de agotamiento del 20%.

Curva de porcentaje volumétrico:

Línea superior = capacidad de campo (ej. 42 kpascales)

Línea inferior = déficit hídrico (ej. 25 kpascales)

Entre ambos está el riego, en el momento en que se riega la curva no debe sobrepasar la línea superior y luego esta va bajando hasta y no debe acercarse a la línea de déficit, produciéndose entonces el siguiente riego. Lo ideal de estas curvas es que se mantengan entre los dos valores.

El dispositivo ofrece en tiempo real y para un periodo de hasta 30 días el riego aplicado y la evapotranspiración. Para disponer del dato de agua aplicada, se ha colocado un contador en una de las filas de la tubería portagoteros, de manera que se puede calcular el caudal aplicado a toda la parcela.

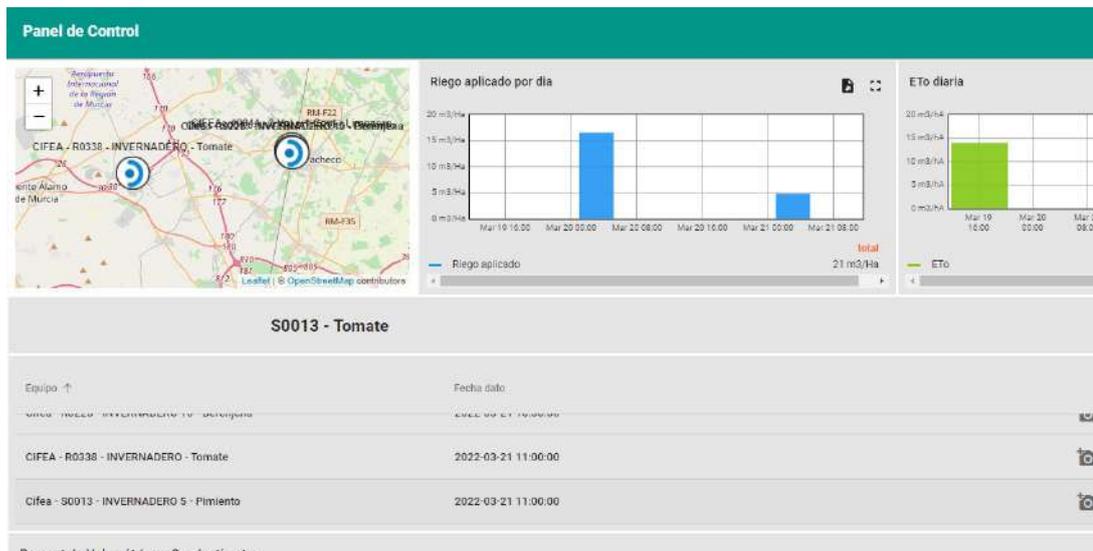
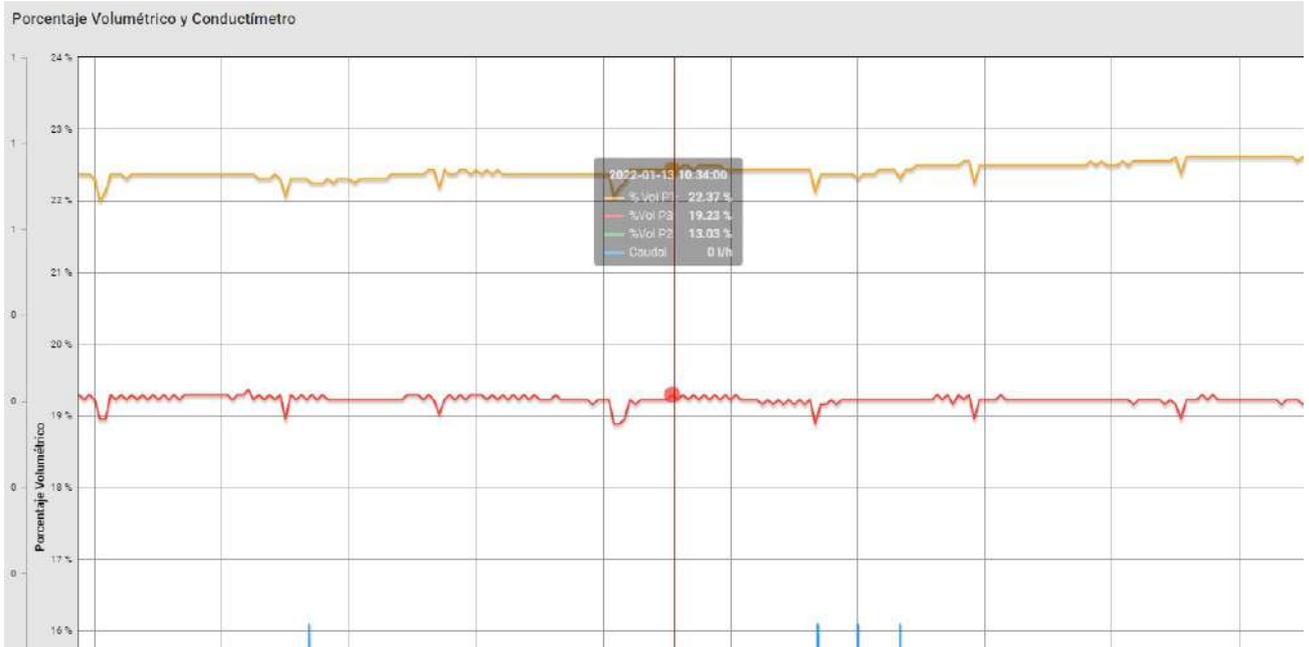
En la siguientes gráficas se refleja el perfil de humedad del suelo, ofreciéndose unas explicaciones prácticas de como nos han ayudado a realizar un mejor control de los riegos en distintos periodos:

La curva de porcentaje de humedad volumétrica con sondas a tres profundidades (15, 30 y 50 cm) a fecha 18 enero 2022 indicaba un porcentaje de humedad del 13% en la sonda a 30 cm, del 19% en la sonda a 50 cm y del 23% en la sonda a 15 cm, lo que se pueden considerar valores normales para este tipo de suelos.

La gráfica resulta muy estable y se debe a que es un suelo muy arcilloso que retiene mucha humedad y además está acolchado. Por otro lado, acumula agua en profundidad por la suela de labor.

Con un caudal medio de 16 l/hora se estaban aplicando 13 m³/ha y día.





Se observa en este panel de control a fecha 21 de febrero de 2022 una gran homogeneidad en las curvas de humedad del suelo, lo que es la situación apropiada. No obstante, la curva de humedad más profunda (50 cm) está en valores en el entorno del 20% de humedad volumétrica y la de 30 cm, que es dónde está la mayor parte de las raíces en el 15%, presentando la sonda superficial de 15 cm con una humedad del 28%. Esto es debido a que hay una suela de albor que hace que se acumule humedad en la capa más profunda e indica que hay que realizar labores de desfonde para la siguiente campaña. El porcentaje de humedad a 30 cm también es bajo (15%), lo que se ha manifestado en las plantas y ha motivado incrementar el tiempo de riego.

La curva de porcentaje volumétrico de agua en el suelo a fecha 25 de abril de 2022 indicaba unos niveles constantes de la sonda profunda (50 cm) del 20%, unos niveles de la sonda a 30 cm en



contacto con las raíces del 15% y unos niveles de humedad superficial del 30%. Estos valores así como su uniformidad indicaban que se estaba regando bien, según las necesidades del cultivo. El riego era de 7 m³/ha y día.

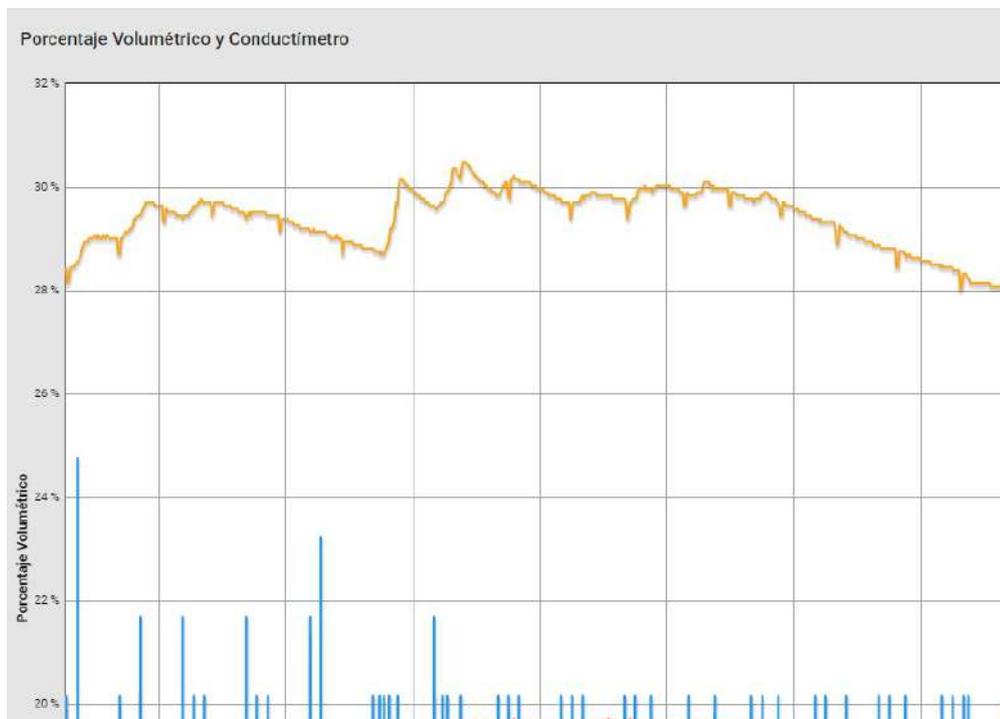


Foto nº 11. Aspecto del invernadero hacia la mitad del cultivo y ubicación de los sensores de humedad volumétrica (11/02/2022).



4.3 Resultados: producción, calidad, rentabilidad, etc.

No se ha podido realizar la toma de muestras planificada en la campaña 2021/2022 por lo escalonado de las cosechas y la dificultad de programar las recolecciones con tantos cultivos. No se pretendía un dato exacto de cosecha, sino simplemente evaluar si esta es adecuada para las distintas especies y permite afirmar que la fertirrigación se ha realizado sin detrimento de la producción normal de este tipo de cosechas.



Foto nº 12. Productos recolectados al final del ciclo de cultivo (cosecha 2021).

Respecto a la calidad de los frutos recolectados, en general ha sido aceptable, con un porcentaje pequeño de destrío. En cuanto al estado fitosanitario de las plantas también ha sido aceptable, con algunas patologías como el virus de la cuchara del tomate, y algo de oídio en cucurbitáceas.

4.4 Desarrollo de los objetivos propuestos.

En el desarrollo de esta parcela demostrativa, que en este año 2022 entró en su cuarta anualidad, además de la realización de los cultivos y el ensayo de dispositivos y técnicas de control del riego, se marcaron otra serie de objetivos, que se van cumpliendo escalonadamente.

Hemos podido caracterizar las técnicas empleadas por los agricultores para el ahorro de agua y fertilizantes en la Zona Vulnerable dónde existe más densidad de cultivos. Además de la consulta de datos bibliográficos, se ha ido contactado con agricultores en las sucesivas anualidades para caracterizar los aspectos medioambientales de sus explotaciones. Los datos se ofrecieron en la tercera anualidad porque en las primeras la muestra era pequeña, teniendo ya una veintena de encuestas desde 2019, lo que se puede considerar representativo, ya que abarcan los cultivos más



empleados en la Comarca. Las encuestas recogidas en la anualidad 2022 (5 agricultores) confirman los datos ya ofrecidos.

Se ha constatado que desde la entrada en vigor de las sucesivas leyes de protección del Mar Menor (Ley 1/2028, Decreto Ley 2/2021, Ley 3/2020 y medidas cautelares CHS), los agricultores se han ido sensibilizando e incorporando paulatinamente actuaciones encaminadas al cumplimiento de estas normas, siendo conscientes de antemano de la declaración de Zona Vulnerable a la contaminación por nitratos y el cumplimiento del Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Región de Murcia.

Las encuestas realizadas a un total de 23 agricultores o técnicos en el periodo 2019/2022, todos ellos con explotaciones en regadío en el Campo de Cartagena, arroja los siguientes datos:

- Creciente sensibilización en la correcta aplicación del riego y fertilización.
- Introducción paulatina de dispositivos de control del riego (sensores humedad suelo, tensiómetros, sondas).
- Frecuente consulta de agricultores y técnicos a páginas como el SIAM y tablas de necesidades de abonado o de riego en publicaciones de la Consejería.
- Bajo consumo de agua en comparación con 4.500 m³/ha dotación media España.
- Se reporta que abonos como el nitrato cálcico o la urea han dejado de emplearse por las limitaciones de Zona vulnerable por su mayor solubilidad.
- Más del 80% emplean alguna medida de control de fertirrigación.
- El grado de cumplimiento y sensibilización de la Ley 3/2020 es muy elevado.

Durante el año 2022 la instalación de dispositivos ha permitido comparar los métodos más adecuados de programación de riego y fertilización, habiendo instalado cubeta tipo A (2019), tensiómetros (2019), sondas de succión (2019 y 2020), FullStock (2021 y 2022) y sondas de humedad volumétrica en suelo (2020, 2021 y 2022), que se ha visto como el método más práctico, por reportar los datos al ordenador on-line.

Para transferir a los agricultores y técnicos del sector los conocimientos obtenidos se ha llevado en varias ocasiones a los agricultores y técnicos a las parcelas demostrativas y además enseñado los dispositivos concretos "in situ". No solo se ha tratado de transferir lo que es bueno para reducir la contaminación por nitratos, sino se ha querido también de que vean lo que no se debe hacer y demostrarlo con datos objetivos. Por ejemplo la fertirrigación programada sin más por



conductividades estándares da lugar a contaminación en un caso como el nuestro: suelos con elevada salinidad-fertilidad por cultivos reiterativos, conductividad importante en sondas con la consiguiente lixiviación, etc.

El proyecto se termina en 2022 y culmina con la realización de la jornada “MANEJO DE SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO, MEDIDORES DE IONES Y LISÍMETROS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA Y LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS” el 31 de mayo de 2023. En la que se aúnan los conocimientos del manejo de estos dispositivos de control del riego del proyecto objeto de esta memoria con los de los lisímetros de drenaje instalados en el CIFEA, que han permitido medir el lixiviado a capas profundas a lo largo del ciclo de cultivo.

5. CONCLUSIONES.

El uso de los dispositivos adecuados repercute directamente en un menor consumo de agua y fitosanitarios, sin ver mermadas las producciones del cultivo. Los umbrales de riego establecidos para cada tipo de sensor se han mantenido constantes durante la campaña 2021/2022, estimando que el adecuado control de estas sondas nos ha permitido ahorrar un 20% de agua de riego en todo el ciclo de los cultivos.

En marzo de 2022 se realizó la instalación de los dispositivos FullStock, que permiten intuir de una manera directa el movimiento del agua en el suelo, existiendo buena correlación con los datos de los sensores, además de posibilitar la toma de muestras de solución de suelo a distintas profundidades para su análisis.

Se observa que la sobrefertilización se producía en momentos puntuales, como el inicio del cultivo, con conductividades de hasta 6,86 microsiemens por cm, para estabilizarse después el abonado, dando conductividades en el entorno de 2 microsiemens por cm.

El dispositivo FullStock, así como cualquier sonda de succión sería adecuado tomando muestras de lixiviado a dos profundidades para el seguimiento del control del riego y por el contrario, el método de conductividades fijas para el abonado habría que desecharlo si no se tiene en cuenta algún parámetro más como la medida de las sondas, porque como hemos visto nos ha llevado a una sobrefertilización en el invernadero y a la consiguiente lixiviación.

En general, observamos que los sistemas de monitorización de la humedad en el suelo son herramientas muy útiles para mejorar la eficacia del modelo de programación de riego de la FAO, basado en su combinación con el uso de sensores de humedad del suelo.



Con este proyecto se ha evidenciado que el uso de los dispositivos repercute directamente en un menor consumo de agua y fitosanitarios, sin ver mermadas las producciones del cultivo. Los dispositivos pretenden caracterizar y corregir los defectos de un mal empleo del riego y la fertilización.

6. ACTUACIONES DE DIVULGACION REALIZADAS.

A lo largo de la anualidad, se han realizado diversas actividades de divulgación, una jornada sobre el funcionamiento de los sensores de humedad del suelo y se han recibido varias visitas de técnicos de empresas y agricultores, en el contexto de medidas para el cumplimiento de la sostenibilidad ambiental del Mar Menor.

Toda la información del proyecto se encuentra disponible en la web del Servicio de Formación y Transferencia Tecnológica www.sftt.es.

7. REPORTAJE FOTOGRAFICO.



Foto nº 13. Jornada técnica colocación sensores humedad suelo (11/03/2022).





Foto nº 14. Jornada técnica colocación sensores humedad suelo (11/03/2022).



Foto nº 15. Jornada técnica colocación sensores humedad suelo, ponencia (11/03/2022).





Foto nº 16. Visita al invernadero sensorizado Instituto Técnico de la Conserva (21/09/2022).



Foto nº 17. Visita delegación Ministerio de Agricultura de Túnez, sensores de humedad suelo, (15/11/2022).





Foto nº 19. Visita sensores de humedad suelo en invernadero 10 e invernadero 5 de técnicos agrícolas (13/12/2022).

