

INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

ÍNDICE

1. Introducción	4
1.1. Síntesis del proyecto	4
1.1.1. Objetivo general	4
1.1.2. Objetivos específicos	4
1.1.3. Tareas asociadas al proyecto	4
1.1.4. Especies seleccionadas para el estudio	4
1.1.5. Marco temporal	5
1.2. Contexto ecológico y socioeconómico	5
2. Caracterización del área de estudio	5
2.1. Caracterización climática	5
2.2. Caracterización del suelo	5
2.3. Descripción de las parcelas de cultivo	8
3. Materiales y métodos	10
3.1. Sistema de riego y monitorización	10
3.1.1. Sistema de riego	10
3.1.2. Sistema de recogida de información de suelos y ambiente	10
3.1.3. Monitorización de los bancales	11
3.2. Caracterización inicial del suelo	12
3.2.1. Humedad del suelo (MOIS%)	12
3.2.2. pH del suelo	12
3.2.3. Temperatura del suelo	12
3.3. Plan de riego de las especies seleccionadas	13
3.4. Recogida y registro de datos de la estación meteorológica	14

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

3.5. Análisis de principios activos _____	15
4. Resultados _____	16
4.1. Datos obtenidos en el periodo de estudio _____	16
4.2. Análisis del efecto de riego sobre la temperatura del suelo _____	17
4.3. Comportamiento y supervivencia de las variedades plantadas _____	17
4.4. Análisis de principios activos _____	19
4.4.1. Resultados por especie _____	19
4.4.2. Observaciones generales _____	20
5. Discusión _____	21
6. Conclusiones _____	22
7. Referencias _____	23

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. SÍNTESIS DEL PROYECTO

Somos Agua II cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.

1.1.1. OBJETIVO GENERAL:

Esta acción tiene como objetivo estudiar el efecto del riego en la concentración de principios activos en plantas aromáticas y medicinales, las cuales son aprovechables en la industria cosmética. Además, busca desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático en la Reserva de la Biosfera Valles de Omaña y Luna.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Recoger datos para analizar los efectos de la disponibilidad de agua en las especies de plantas aromáticas y medicinales objeto de estudio.
2. Determinar qué estrategias de riego pueden favorecer la concentración de principios activos, mediante un análisis comparativo entre plantas regadas y no regadas.
3. Obtener datos sobre la supervivencia de las plantas, el tamaño alcanzado, la floración y la fructificación, así como la aparición de nuevos brotes después del invierno, comparando parcelas con y sin riego.

1.1.3. TAREAS ASOCIADAS AL PROYECTO:

- Monitorización de parcelas con plantas aromáticas y medicinales autóctonas seleccionadas previamente por su utilidad actual en la actividad económica del territorio y análisis del principal principio activo para cada supuesto de disponibilidad hídrica y para cada especie.
- Obtención de serie de datos anuales.
- Análisis de la respuesta de las diferentes especies tanto en su crecimiento como en la concentración de principios activos.
- Recopilación de semillas en banco de semillas.
- Creación de pliegos de herbario.

1.1.4. ESPECIES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO:

Las especies seleccionadas para el estudio son: Manzanilla bastarda (*Anthemis avensis*), Trébol rojo (*Tirfolium pratense*), Milenrama (*Achillea millefolium*), Malva

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

(*Malva sylvestris*), Salvia (*Salvia verbenaca*), Hipérico (*Hypericum perforatum*), Celidonia (*Chelidonium majus*) e hierba curry (*Helichrysum stoechas*).

1.5. MARCO TEMPORAL

Julio de 2022 a diciembre de 2025.

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El área de estudio se encuentra bajo la influencia de un clima mediterráneo continentalizado, caracterizado por temperaturas medias relativamente bajas durante la mayor parte del año, con veranos suaves y un nivel significativo de precipitaciones. Durante el mes más cálido, las temperaturas máximas no suelen superar los 25°C, mientras que la media anual de temperaturas se sitúa por debajo de los 10°C.

En relación con el régimen de vientos, la zona de la Cordillera Cantábrica está mayormente influenciada por los vientos del poniente durante las estaciones de invierno, primavera y otoño. Estos vientos, que se originan en el frente polar y están asociados a corrientes en chorro a gran altitud, son fríos y húmedos, lo que provoca abundantes precipitaciones en la región. Por otro lado, en verano predominan los vientos del suroeste, templados y húmedos, aunque generalmente su paso se traduce en precipitaciones escasas.

Durante el periodo de estudio de la huerta experimental, se registraron algunos eventos de lluvia significativos que influyeron en la gestión hídrica. La influencia del clima condicionó de forma significativa el desarrollo y la supervivencia de las especies cultivadas en la huerta experimental, especialmente aquellas más sensibles al déficit hídrico.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Durante el año 2023 se llevó a cabo una caracterización del suelo de la huerta experimental. Se identificó que el suelo es de uso hortícola actual, aunque presenta una zona abandonada en la parte baja de la finca, ubicada en una zona rural urbana.

En el punto de muestreo situado en la parte baja (LU-B1), el suelo presenta un contenido elevado de elementos gruesos, superior al 60%, debido a la acumulación por arrastre y la pérdida de partículas finas. En la parte superior de la finca (LU-A1), resultado de la actividad agrícola y el laboreo, se detecta una pedregosidad cercana al 40%.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Según la clasificación USDA, la textura varía desde franca en LU-B1 a franco arenosa en LU-A1, con un contenido medio de arena del 60% en la parte superior y un contenido de arcilla más bajo en esta misma zona (16%).

El suelo es moderadamente ácido, con un pH cercano a 6,0 y sin presencia de carbonatos, ya que no presenta reacción positiva a HCl 1:1. No se evidencian problemas de salinidad ni sodicidad, dado que la conductividad eléctrica (CE) en el extracto suelo:agua 1:5 es muy baja, inferior a 65,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mínimos, alrededor del 0,11%.

La densidad aparente media se sitúa en torno a 1,50 g/cm^3 . La materia orgánica presenta variabilidad entre zonas, con un 3,61% en el muestreo superior (LU-A1) y un contenido de carbono orgánico total superior al 2,0%, en contraste con la parte baja (LU-B1), donde el carbono orgánico total se sitúa alrededor del 1,70%.

En cuanto a macronutrientes, el nitrógeno total es de 0,29% en LU-A1 y 0,19% en LU-B1, manteniéndose una relación C/N óptima cercana a 10 en ambas zonas, por lo que no existe limitación por disponibilidad de nitrógeno. El fósforo total es elevado, superando los 30 ppm, con valores más altos en LU-B1 (60,86 ppm).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presenta valores normales a bajos, oscilando entre 8,91 y 5,72 cmol^+/kg . El porcentaje de saturación de bases (PSB) es superior al 95% en ambos muestreos, con relaciones equilibradas entre Ca, Mg y K; este último tiende a ser algo mayor en suelos ácidos.

Los contenidos de oligoelementos, como el B, se encuentran dentro de rangos normales. Asimismo, los micronutrientes esenciales disponibles -Fe, Mn, Cu y Zn- presentan valores cercanos a los promedios habituales para suelos agrícolas.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos del suelo en los puntos de muestreo LU-A1 (parte superior) y LU-B1 (parte inferior). Fuente: elaboración propia.

Parámetro	LU-A1 (superior)	LU-B1 (inferior)
% Elementos gruesos	40%	>60%
Textura (USDA)	Franco arenosa	Franca
% Arena	60%	40% (aprox.)
% Arcilla	16%	30% (aprox.)

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

<i>pH</i>	-6.0	-6.0
<i>Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)</i>	<65.0	<65.0
<i>Sodio Intercambiable (PSI %)</i>	0.11%	0.11%
<i>Densidad aparente (g/cm^3)</i>	1.50	1.50
<i>Materia orgánica (%)</i>	3.61	<2.0
<i>Carbono orgánico total (%)</i>	>2.0	1.70
<i>Nitrógeno total (%)</i>	0.29	0.19
<i>Relación C/N</i>	-10	-10
<i>Fósforo total (ppm)</i>	~30	60.86
<i>Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol^+/kg)</i>	8.91	5.72
<i>Saturación de Bases (%)</i>	>95%	>95%

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Gráfico 1. Composición granulométrica (%) en los puntos de muestreo LU-A1 y LU-B1

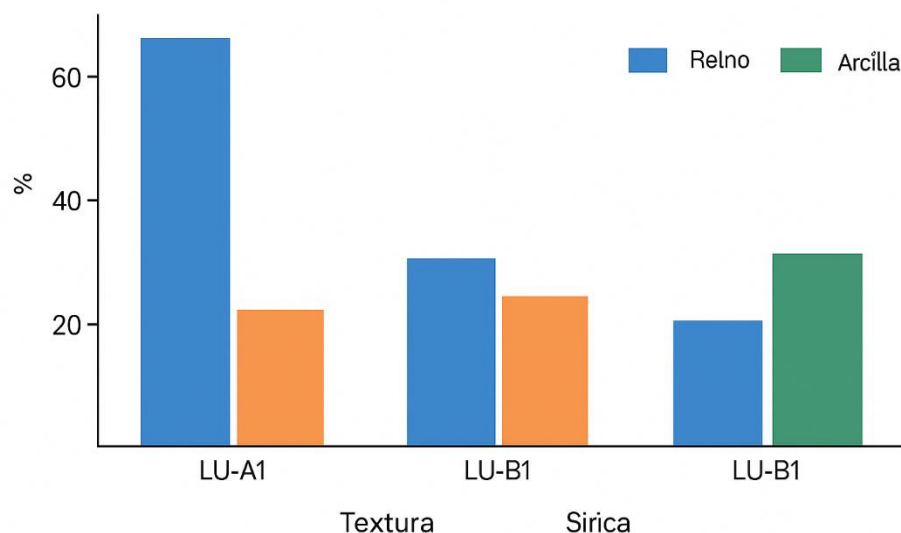


Figura 1. Gráfico de la composición granulométrica (%) en los puntos de muestreo LU-A1 y LU-B1. Fuente: elaboración propia.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS DE CULTIVO

Inicialmente, el trabajo de campo se había planificado en el municipio de Caldas de Luna (León), donde se encontraban las parcelas de estudio y las instalaciones de sensores y riego del proyecto Somos Agua I. Sin embargo, por causas ajenas al proyecto, se decidió trasladar el experimento a una parcela ubicada en la localidad de La Urz (León).

Esta nueva ubicación, también situada dentro de la RBVOyL, fue cedida por Manuel Díez Díez y presenta varias ventajas:

- Facilita la toma de datos y la resolución de incidencias por parte del personal de la reserva.
- Dispone de un suelo de mejor calidad que el de la ubicación inicial, tal y como se constató en los análisis posteriores.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS



Figura 2. Vista aérea de la parcela.

La disposición experimental se organizó en cuatro bancales (Figura 2), distribuidos en:

- Dos zonas de cultivo con diferentes especies.
- Dos zonas de monitorización, una con riego y otra sin riego.

Esta configuración permite comparar de forma directa el efecto del riego sobre las especies seleccionadas y evaluar su desarrollo en condiciones contrastadas.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

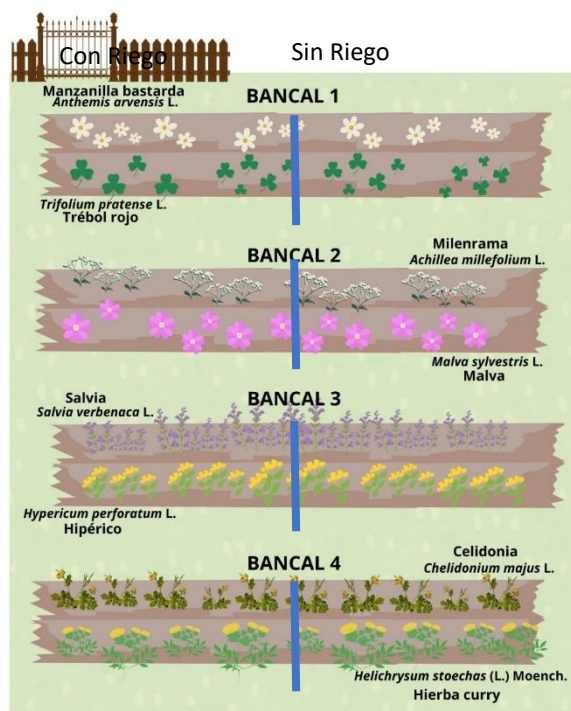


Figura 3. Esquema de la disposición del cultivo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. SISTEMA DE RIEGO Y MONITORIZACIÓN

3.1.1. SISTEMA DE RIEGO

En la nueva parcela de estudio se había propuesto inicialmente instalar un sistema de riego automático combinado por goteo y aspersión, similar al utilizado en la finca anterior. Sin embargo, la ausencia de un caudalímetro para controlar el volumen de agua suministrado obligó a optar por un riego manual. Este se realiza utilizando una regadera de 6 litros, registrando cuidadosamente los litros consumidos en cada sesión de riego para un control preciso.

3.1.2. SISTEMA DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN DE SUELOS Y AMBIENTE

El seguimiento de las condiciones del terreno y del ambiente se ha llevado a cabo mediante un sistema basado en tecnologías IoT y Big Data. Este sistema integra una red de sensores conectados a placas Arduino, capaces de recopilar datos de forma continua.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

En un primer momento, los sensores transmitían la información a la nube a través de LoRaWAN. No obstante, factores climáticos adversos y problemas de cobertura ocasionaron pérdidas de datos. Por ello, se optó por el almacenamiento local mediante tarjeta SD, garantizando la integridad de la información registrada.

Se instalaron 4 sensores por bancal (2 en la zona con riego y 2 en la zona sin riego), conectados a una Arduino independiente por bancal (Figura 4). La frecuencia de registro se estableció en cada 3 horas, en lugar de cada 15 minutos como en el proyecto Somos Agua I, para reducir el volumen de datos y facilitar su tratamiento posterior.

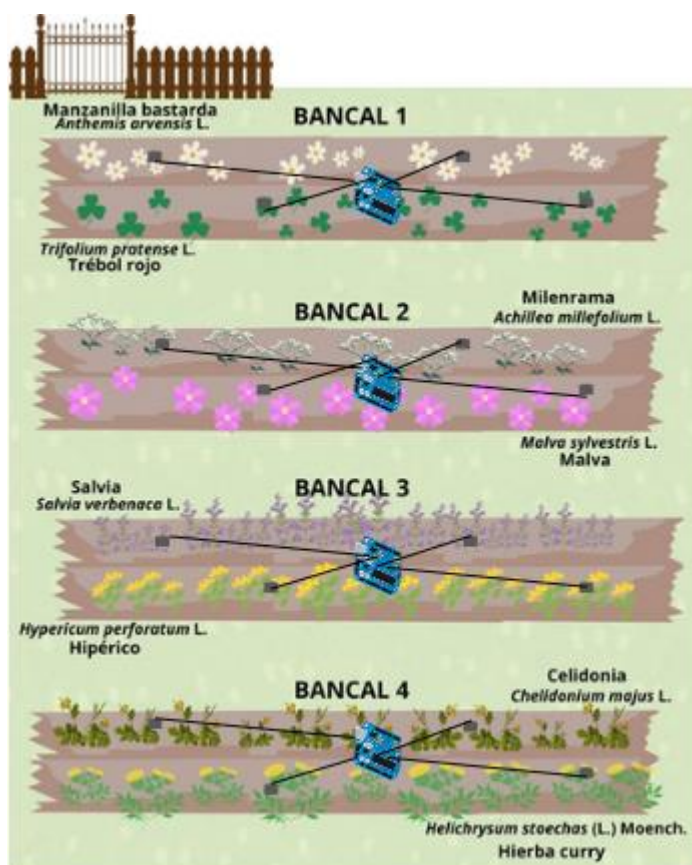


Figura 4. Esquema de la instalación de sensores.

3.1.3. MONITORIZACIÓN DE LOS BANCALES

Los datos obtenidos a partir de los sensores permiten conocer el nivel de hidratación del suelo y, por ende, el estado hídrico de las plantas. Además, se registraron de manera sistemática:

- Supervivencia de las plantas
- Altura y crecimiento

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

- Fases fenológicas: floración y fructificación
- Aparición de nuevos brotes tras el invierno

Estos registros han permitido comparar de forma directa el comportamiento de los cultivos en las zonas con y sin riego.

3.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO

3.2.1. HUMEDAD DEL SUELO (MOIS %)

El riego demostró ser efectivo para saturar el suelo, elevando el porcentaje de humedad en la Zona Regada, después de regar (ZHR) a un rango del 61% al 90%. El aumento promedio inmediato de la humedad al pasar de ZR a ZRH fue de +17,82 puntos porcentuales. Sin embargo, la similitud en los valores de humedad entre ZR y ZS en las mediciones periódicas sugiere que el efecto del riego no se mantiene durante un largo periodo de tiempo o que la precipitación natural complementa el proceso.

3.2.2. PH DEL SUELO

Los valores de pH se mantienen consistentemente en un rango de 6.0 y 7.5, considerando óptimo la mayoría de los cultivos. El riego provocó una ligera disminución del pH inmediatamente después de la aplicación de agua, con un cambio promedio de -0.36. Esta bajada es temporal y se recupera con el tiempo.

3.2.3. TEMPERATURA DEL SUELO

Las variaciones de temperatura están influenciadas por el momento del día. No hay una diferencia sostenida entre la temperatura de las zonas con riego y sin riego. No obstante, se ha observado que la mayor envergadura de las plantas regadas proporciona un sombreado indirecto que modera las temperaturas extremas.

A continuación, se resumen los parámetros edáficos consolidados de los cuatro bancales durante el periodo de estudio:

Tabla 2. Resumen agregado de parámetros edáficos monitoreados. Fuente: elaboración propia.

Métrica	Zona de Riego (ZR)	Zona Sin Riego (ZS)	Zona Post-Riego (ZRH)
pH Promedio Agregado	6.88	6.88	6.54
Rango de pH	6.0 - 8.9	5.9 - 7.8	5.4 - 7.6
Humedad Promedio (%)	71.72%	72.31%	81.75%
Rango de Humedad (%)	27% - 88%	6.1% - 90%	61% - 90%

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Temperatura Promedio (°C)	19.16	20.03	19.43
Rango de Temperatura (°C)	10 - 29	10 - 31	9 - 29

3.3. PLAN DE RIEGO DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS

Durante el periodo de crecimiento activo de las plantas, el riego se ha planificado siguiendo el principio de aplicar riegos profundos y menos frecuentes frente a riegos superficiales y continuos. Este enfoque busca mantener el suelo constantemente húmedo, evitando la saturación, para favorecer un desarrollo radicular profundo y un crecimiento saludable.

La frecuencia y volumen de riego se han adaptado a las necesidades hídricas de cada especie (Tabla 3).

Tabla 3. Esquema de riego de las plantas de la huerta experimental. Fuente: elaboración propia.

Nombre común	Nombre científico	Necesidad hídrica y recomendaciones
Manzanilla bastarda	<i>Anthemis arvensis</i>	Tolera sequía moderada; riegos poco frecuentes, únicamente cuando el suelo muestre sequedad en profundidad.
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	Prefiere suelos húmedos pero bien drenados; riegos regulares, evitando el encharcamiento.
Milenrama	<i>Achillea millefolium</i>	Resistente a sequía una vez establecida; riego únicamente cuando el suelo esté seco en profundidad.
Malva	<i>Malva sylvestris</i>	Necesita humedad constante ligera; riegos moderados y regulares, con buen drenaje.
Salvia	<i>Salvia verbenaca</i>	Muy tolerante a la sequía; riegos escasos, evitando el exceso de agua.
Hipérico	<i>Hypericum perforatum</i>	Resistente a sequía tras su establecimiento; riego solo cuando el suelo esté seco, pero en verano se incrementa la frecuencia para mejorar el rendimiento.
Celidonia	<i>Chelidonium majus</i>	Requiere humedad moderada; riegos regulares sin llegar al encharcamiento.
Hierba curry	<i>Helichrysum stoechas</i>	Alta tolerancia a la sequía; riego únicamente cuando el suelo se encuentre seco.

Este plan permite ajustar el suministro de agua según las características fisiológicas y ecológicas de cada especie, optimizando el uso del recurso hídrico y favoreciendo la comparación entre las zonas con y sin riego.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

3.4. RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Durante los últimos meses de 2022 y los años 2023, 2024 y 2025, se recopilaban datos de temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad media del viento registrados por la estación meteorológica de Villablino (AEMET), la más próxima a la finca experimental de La Urz.

Esta información ha permitido contextualizar las condiciones climáticas a las que estuvo expuesta la parcela, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos en la monitorización de los cultivos.

En términos de temperatura, los valores oscilaron entre mínimas invernales cercanas a los -5°C y máximas estivales que raramente superaron los 25°C . Las medias anuales se situaron entre los 9 y 10°C , en línea con los promedios históricos de la zona.

Respecto a la precipitación, el régimen mostró una marcada variabilidad interanual:

- 2022-2023: acumulados superiores a los 1.000 mm/año, con otoño e invierno muy húmedos.
- 2023-2024: ligera reducción, en torno a 900 mm/año, con un verano seco y episodios de tormenta en septiembre.
- 2024-2025: tendencia más irregular, con un invierno más lluvioso de lo normal (superando los 120 mm/mes en diciembre-febrero) y un verano 2025 particularmente cálido y seco.

La humedad relativa media se mantuvo elevada, entre 75-85% con valores más bajos en julio-agosto y más altos en invierno. Por su parte, la velocidad media del viento se situó en el rango de 7-9 km/h, con predominio de vientos del poniente en invierno y de suroeste en verano, modulando la distribución de las precipitaciones.

De manera general, puede afirmarse que durante los tres años de ensayo:

- Los veranos fueron templados y secos, con temperaturas medias de $18-20^{\circ}\text{C}$ y precipitaciones mensuales inferiores a 40 mm.
- Los inviernos fueron fríos y húmedos, con medias de $2-4^{\circ}\text{C}$ y precipitaciones superiores a 100 mm/mes.
- La primavera y el otoño actuaron como estaciones de transición, con valores intermedios de temperatura y precipitaciones abundantes.

Este comportamiento climático condicionó de forma significativa el desarrollo y la supervivencia de las especies cultivadas en la huerta experimental, especialmente aquellas más sensibles al déficit hídrico.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

3.5. ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Con el fin de evaluar el contenido en compuestos bioactivos de las especies seleccionadas en la huerta experimental, se llevaron a cabo extracciones de material vegetal seco siguiendo un procedimiento estandarizado de extracción convencional (EC) con disolventes hidroalcohólicos. Cabe destacar que estos análisis de principios activos se han realizado durante dos años consecutivos, por lo que todos los resultados fitoquímicos presentados corresponden a los datos medios obtenidos en esos años.

Se emplearon 20 g de material vegetal seco y triturado por cada especie objeto de análisis. Como disolvente se utilizaron mezclas hidroalcohólicas de etanol y agua, variando la proporción de disolvente en función de la especie analizada para optimizar el rendimiento. Para su extracción, las muestras se sometieron a calentamiento a 75°C durante 5 minutos con agitación constante, favoreciendo la transferencia de los compuestos fenólicos al disolvente. Finalizado el tratamiento térmico, las mezclas se dejaron enfriar y se filtraron, separando así el residuo sólido del extracto líquido.

Este procedimiento permitió obtener extractos homogéneos y comparables entre especies, facilitando su posterior análisis y la interpretación de resultados en relación con las condiciones de cultivo (riego y no riego). Para la interpretación de los resultados fitoquímicos, se establecen los siguientes criterios técnicos:

- Compuestos fenólicos totales: se expresan en g GAE/100 g (equivalentes de ácido gálico). Cuanto más altos sean estos valores, mejor es la calidad del extracto.
- Flavonoides totales: se expresan en g CE/100 g (equivalente de catequina). Al igual que los fenoles, valores más altos indican mejores propiedades para la salud.
- Capacidad reductora (FRAP): mide el poder antioxidante a través de la capacidad de reducir Fe^{3+} a Fe^{2+} . Se expresa en g AAE/100 g (equivalentes de ácido ascórbico). Interesa que este valor sea lo más alto posible.
- Capacidad de captación de radicales libres DPPH (RSA):
 - RSA máxima (%): cuanto más alto sea este porcentaje, mayor poder antioxidante tiene el extracto.
 - C RSA máxima: concentración necesaria para alcanzar la RSA máxima. En este caso, cuanto menor sea el valor, mejor, pues indica que se necesita menos extracto para lograr el efecto.
 - IC₅₀: cantidad de antioxidante necesaria para disminuir un 50% la concentración del radical DPPH. Al igual que la métrica anterior, valores más bajos indican una potencia superior.

A continuación, se detallan los parámetros de extracción para las especies analizadas de la huerta:

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Tabla 4. Parámetros de extracción convencional (EC) para especies de la huerta. Fuente: elaborada con los datos obtenidos por el ITACYL.

Especie	Nombre común	Proporción Etanol:Agua (mL/L)	Temperatura de extracción (°C)
<i>Anthemis arvensis</i>	Manzanilla bastarda	500:500	75
<i>Trifolium pratense</i>	Trébol rojo	480:520	75
<i>Achillea millefolium</i>	Milenrama	540:460	75
<i>Malva sylvestris</i>	Malva común	500:500	75
<i>Salvia verbenaca</i>	Salvia	500:500	75
<i>Hypericum perforatum</i>	Hipérico	700:300	75
<i>Helichrysum stoechas</i>	Siempreviva	500:500	75

4. RESULTADOS

En primer lugar, es crucial resaltar la importancia de buscar relaciones entre los diversos parámetros climáticos y del suelo con el desarrollo biológico de las plantas.

4.1. DATOS OBTENIDOS EN EL PERIODO DE ESTUDIO

Se han analizado los datos de las mediciones de los cuatro bancales, considerando las zonas con riego (ZR), sin riego (ZS) y después de regar (ZRH), y confirmando la efectividad del riego para aumentar la humedad y la estabilidad en los parámetros de pH y temperatura del suelo, como se detalló en el apartado 3.1.3. El riego cumple su función principal de mantener la humedad del suelo en niveles adecuados, y la precipitación natural complementa el proceso.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

4.2. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL RIEGO SOBRE LA TEMPERATURA DEL SUELO

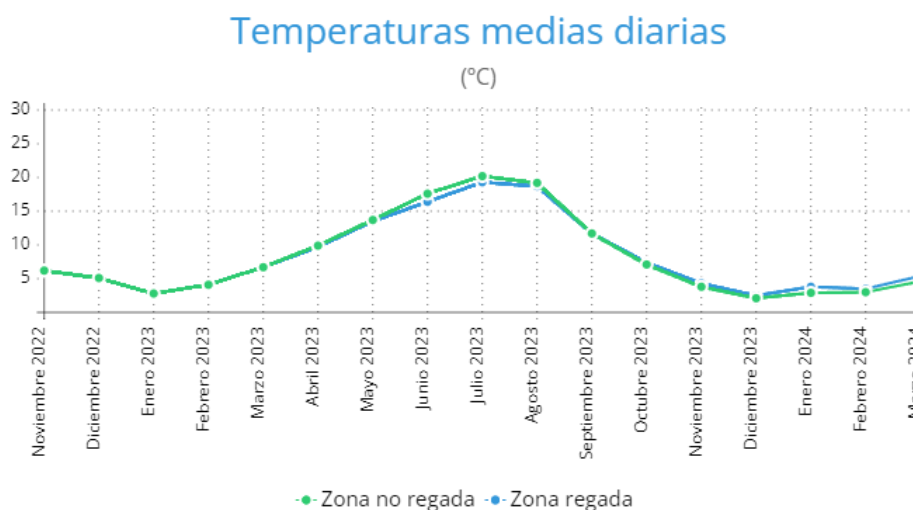


Figura 5. Gráfica de temperatura del suelo en las zonas regadas y no regadas (medias diarias).

En momentos de temperaturas extremas, se ha observado una diferencia en la temperatura del suelo entre las zonas regadas y las no regadas. Esto se atribuye al efecto de sombreado que la mayor envergadura de las plantas regadas produce en los días de verano y a la protección que brinda al suelo, evitando la pérdida de calor en los días más fríos del invierno.

4.3. COMPORTAMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE LAS VARIEDADES PLANTADAS

El seguimiento de las especies seleccionadas permitió evaluar su grado de adaptación, supervivencia y desarrollo en las zonas con riego y sin riego. Los resultados más relevantes se resumen a continuación:

- *Anthemis arvensis* (manzanilla bastarda): planta anual cuyo ciclo vital se encontraba prácticamente finalizado al inicio del trabajo experimental. Se marcaron 10 ejemplares en cada zona (20 en total), todos ellos completaron su ciclo en buenas condiciones, sin diferencias apreciables entre riego y no riego.
- *Trifolium pratense* (trébol rojo): se marcaron 20 ejemplares (10 por zona), todos sobrevivieron durante el periodo experimental. Algunos se secaron en verano, pero rebrotaron con las lluvias o con los riegos. Se trata, por tanto, de una especie con alta resiliencia.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

- *Achillea millefolium* (milenrama): se marcaron 20 ejemplares, todos sobrevivieron. Presentaron un muy buen desarrollo, con diferencias claras a favor de la zona con riego, donde el crecimiento fue más vigoroso.
- *Malva sylvestris* (malva común): se marcaron 20 ejemplares, de los cuales solo sobrevivieron dos en la zona de riego al final del experimento. El elevado índice de mortalidad se atribuye al desequilibrio entre la parte aérea y subterránea. No obstante, las plantas supervivientes completaron su ciclo, por lo que se espera la aparición de nuevas plántulas en primavera a partir de semillas.
- *Salvia verbenaca* (salvia): se marcaron 20 ejemplares. Aunque muchos individuos iniciales murieron tras la primera fase del experimento, dejaron abundante semilla, lo que dio lugar a un número mayor de plantas al final del ensayo, especialmente en la zona de riego, aunque con presencia notable también en la zona sin riego.
- *Hypericum perforatum* (hipérico): se marcaron 20 ejemplares, de los cuales sobrevivieron 7 (5 en la zona con riego y 2 en la de no riego). La mortalidad parece estar más relacionada con el estrés del trasplante que con la falta de agua, ya que en la fase inicial ambas zonas fueron regadas de igual forma. Los supervivientes fructificaron abundantemente.
- *Helichrysum stoechas* (siempre viva): esta especie mostró una baja adaptación: únicamente sobrevivieron 2 ejemplares en la zona de riego desde el trasplante, lo que sugiere que las condiciones del ensayo no son adecuadas para su desarrollo.

Tabla 5. Supervivencia de las especies en las zonas con y sin riego. Fuente: elaboración propia.

Especie	Nombre común	Ejemplares iniciales	Supervivientes con riego	Supervivientes sin riego	Observaciones
<i>Anthemis arvensis</i>	Manzanilla bastarda	10 + 10	10	10	Planta anual, completó ciclo en ambas zonas.
<i>Trifolium pratense</i>	Trébol rojo	10 + 10	10	10	Secado parcial en verano, pero con rebrote tras riego/luvia.
<i>Achillea millefolium</i>	Milenrama	10 + 10	10	10	Muy buen desarrollo, superior en zona regada.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

<i>Malva sylvestris</i>	Malva común	10 + 10	2	0	Mortalidad alta por trasplante tardío; supervivientes completaron ciclo.
<i>Salvia verbenaca</i>	Salvia	10 + 10	>10	>10	Plantas iniciales murieron, pero rebrotaron de semilla; más abundantes en zona regada.
<i>Hypericum perforatum</i>	Hipérico	10 + 10	5	2	Mortalidad atribuida al trasplante; los supervivientes fructificaron abundantemente.
<i>Helichrysum stoechas</i>	Siempreviva	10 + 10	2	0	Muy baja adaptación, solo sobrevivieron 2 ejemplares en la zona regada.

4.4. ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un grupo de metabolitos secundarios ampliamente valorados por sus propiedades antioxidantes y por su aplicabilidad en sectores como la alimentación, la cosmética y la farmacia. Los recursos vegetales empleados en este estudio contienen cantidades variables de polifenoles, cuya extracción se ha realizado mediante extracción convencional (EC) con disolventes hidroalcohólicos, bajo agitación y temperatura controlada, técnica que permite obtener extractos ricos en compuestos bioactivos.

4.4.1. RESULTADOS POR ESPECIE

1. *Anthemis arvensis* (manzanilla bastarda): esta planta anual contiene sesquiterpenos oxigenados e hidrocarburos monoterpénicos, así como flavonoides. Dado su ciclo vital, que estaba finalizando al inicio del experimento, su valorización fitoquímica debe basarse en la rusticidad. Su actividad antioxidante se estima como buena y comparable a los estándares del proyecto, posicionándola como una fuente de bajo costo agronómico de polifenoles.
2. *Trifolium pratense* (trébol rojo): el extracto hidroalcohólico mostró una alta actividad antioxidante, alcanzando un máximo de 78,52% RSA. Se perfila como una especie con potencial de valorización como fuente de isoflavonas y antioxidantes.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

3. *Achillea millefolium* (milenrama): se recuperaron extractos con una actividad antioxidante máxima de 78,97% RSA. La actividad frente al radical DPPH se aproximó a la de sustancias de referencia, lo que indica que la milenrama puede ser valorizada en la producción de aditivos antioxidantes.
4. *Malva sylvestris* (malva): aunque la actividad antioxidante fue ligeramente inferior a la catequina o ácido ascórbico, el extracto presentó valores significativos (un máximo de 68,08% RSA), lo que confirma el potencial de la malva como fuente de compuestos bioactivos (mucilagos, flavonoides y antocianinas).
5. *Salvia verbenaca* (salvia): la especie es rica en metabolitos secundarios como los diterpenos fenólicos, incluyendo el Ácido Rosmarínico y el Metil Carnosato. Estos compuestos confieren al extracto propiedades antioxidantes de moderadas a altas. La actividad antioxidante reportada para extractos metanólicos de sus partes aéreas en la fase de fructificación temprana es de $IC_{50} = 49.22 \mu\text{g}/\text{mL}$ (DPPH), lo que la clasifica como una fuente bioactiva potente.
6. *Hypericum perforatum* (hipérico): su perfil fitoquímico está marcado por la presencia de naftodiantronas, como la Hipericina y Pseudohipericina, y floroglucinoles, como la Hiperforina. Estos compuestos le confieren un alto valor farmacéutico y una actividad antioxidante intrínseca excepcionalmente alta.
7. *Helichrysum stoechas* (siempre viva): el extracto obtenido mostró la actividad más alta de las muestras, con un máximo de 80,21% RSA, lo que refuerza el valor de esta especie como fuente de aceites esenciales y flavonoides con aplicaciones en alimentación y cosmética.

4.4.2. OBSERVACIONES GENERALES

En todas las especies analizadas, los extractos mostraron actividad antioxidante significativa. Especies como el trébol rojo, la milenrama y la siempre viva alcanzaron valores muy próximos a los estándares de referencia, como la catequina (86,19% RSA) y el ácido ascórbico (93,82% RSA).

Estos resultados confirman la potencial valorización de las especies estudiadas como fuentes naturales de antioxidantes para aplicaciones en alimentación, cosmética y farmacia.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la huerta experimental muestran cómo las prácticas de riego influyen no solo en la supervivencia y desarrollo de las especies seleccionadas, sino también en la producción de metabolitos secundarios son interés biológico.

En términos de supervivencia, especies como el trébol rojo (*Trifolium pratense*) y la milenrama (*Achillea millefolium*) demostraron una alta resiliencia, manteniéndose vivas tanto en parcelas con riego como sin riego. Estos resultados concuerdan con estudios previos que destacan la capacidad del trébol para rebrotar tras periodos de sequía gracias a su sistema radicular profundo y a su metabolismo adaptativo (Sanz et al., 2019). La milenrama, por su parte, ha sido reconocida por su rusticidad y tolerancia a suelos secos, lo que explica su buen comportamiento en condiciones de no riego (García-Herrera et al., 2021).

En contraste, especies como la malva (*Malva sylvestris*) y la siempreviva (*Helichrysum stoechas*) mostraron una menor adaptación, con tasas de supervivencia muy reducidas. La mortalidad observada podría estar asociada, más que a la disponibilidad hídrica, al estrés por trasplante, lo cual es consistente con observaciones en otros trabajos de cultivos de especies medicinales (Rodríguez et al., 2020). El caso de la siempreviva, con la actividad antioxidante más alta de las muestras (80,21% RSA) pero solo dos ejemplares supervivientes, ilustra una disociación entre el potencial químico y la viabilidad agronómica en las condiciones de la huerta.

Respecto al análisis de principios activos, los extractos obtenidos revelan una actividad antioxidante significativa en la mayoría de las especies estudiadas, con valores próximos a los de los compuestos de referencia como catequina o ácido ascórbico. Según los criterios de interpretación del proyecto, la salvia se posiciona como una de las plantas con mejores propiedades antioxidantes de la huerta, debido a sus altos valores de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad reductora, así como a sus bajos valores de IC₅₀.

Este hallazgo refuerza la idea de que el estrés hídrico moderado puede inducir la síntesis de metabolitos secundarios como flavonoides o fenoles, actuando como mecanismo de defensa (Chaves et al., 2003; Hernández et al., 2022).

Así, especies como trébol rojo y milenrama no solo mostraron mayor supervivencia en condiciones de riego, sino también un perfil fitoquímico de interés. En el caso del hipérico (*Hypericum perforatum*), aunque la supervivencia fue limitada, los ejemplares que resistieron lograron fructificar abundantemente, lo que coincide con la literatura sobre su rusticidad y capacidad de mantener niveles de metabolitos clave (hipericina, hiperforina) bajo condiciones de estrés (Nahrstedt & Butterweck, 2010).

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Estos resultados permiten destacar la importancia de adaptar el plan de riego y la estrategia de trasplante a cada especie, no solo para garantizar su supervivencia sino también para optimizar su potencial bioactivo. La valorización de estas especies como fuentes naturales de antioxidantes puede ofrecer nuevas vías de aprovechamiento en alimentación, cosmética y farmacia, como señalan estudios recientes (Pérez-López et al., 2028; Ahmed et al., 2021).

6. CONCLUSIONES

La fase de monitorización de la huerta experimental arroja las siguientes conclusiones fundamentales:

1. Efectividad del riego y gestión hídrica: el riego manual demostró ser eficaz, con un aumento promedio de humedad de +17,82 puntos porcentuales, y una gestión adaptativa que suspende el riego ante precipitaciones naturales significativas.
2. Especies candidatas para la agroecología: el trébol rojo (*Trifolium pratense*) y la milenrama (*Achillea millefolium*) son las especies más adecuadas para la producción sostenible. Su 100% de supervivencia y su alta actividad antioxidante (cerca al 79% RSA) demuestran una robustez agronómica y una calidad fitoquímica excepcionales.
3. Potencial fitoquímico confirmado: los extractos hidroalcohólicos de las especies estudiadas presentan una actividad antioxidante comparable a estándares farmacéuticos (catequina y ácido ascórbico), lo que, valida su potencial de valorización como aditivos en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Se destaca el potencial del hipérico (*Hypericum perforatum*) cuya actividad antioxidante estimada supera los estándares y el de la salvia (*Salvia verbenaca*) por su contenido en diterpenos fenólicos como el ácido rosmarínico y su alta resiliencia.
4. Necesidad de optimización metodológica: para especies sensibles como la malva y el hipérico, es crucial implementar protocolos de trasplante optimizados para aislar el efecto del estrés hídrico del estrés metodológico en futuras rondas experimentales. Adicionalmente, se recomienda investigar protocolos de extracción con mayor concentración de etanol (superior al 70% v/v) para el hipérico, con el fin de optimizar la recuperación de compuestos lipofílicos clave como la hiperforina.

ACCIÓN 1. INFORME DE LA MONITORIZACIÓN DE LA PARCELA CON PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES Y ANÁLISIS DE PRINCIPIOS ACTIVOS

7. REFERENCIAS

- Ahmed, S., et al. (2021). *Plant-derived antioxidants: Applications in food, cosmetics and pharmaceuticals*. *Journal of Applied Botany*, 95(3), 145–160.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). *Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant*. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239–264.
- García-Herrera, P., et al. (2021). *Agronomic performance of Achillea millefolium under Mediterranean dryland conditions*. *Industrial Crops and Products*, 165, 113431.
- Hernández, M., et al. (2022). *Water stress modulates secondary metabolism in medicinal and aromatic plants*. *Plant Physiology Reports*, 27(2), 233–245.
- Nahrstedt, A., & Butterweck, V. (2010). *Biologically active and other chemical constituents of the herb of Hypericum perforatum L.* *Pharmacopsychiatry*, 33(S1), 44–48.
- Pérez-López, U., et al. (2018). *Influence of irrigation on bioactive compounds in medicinal plants: A review*. *Agricultural Water Management*, 210, 10–18.
- Rodríguez, A., et al. (2020). *Stress factors affecting survival of transplanted medicinal species in semi-arid environments*. *Journal of Ethnopharmacology*, 259, 112923.
- Sanz, M., et al. (2019). *Resilience of Trifolium pratense to water stress in temperate climates*. *Grass and Forage Science*, 74(4), 632–642.