

Evaluación de la afección de la agricultura intensiva al Mar Menor mediante la modelización con SWAT

JORNADA CEAGU - Universidad de Alcalá de Henares

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON SWAT+ COMO
HERRAMIENTA DE MEJORA DE GESTIÓN DEL AGUA

Dr. Adrián López Ballesteros

Doctor en Tecnología de la Computación e Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Murcia.



UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA



DIFUSIÓN vs DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



La difusión científica busca compartir avances y conocimientos científicos entre expertos, promoviendo el intercambio de información y el avance del conocimiento en la comunidad científica.



Publicaciones



Congresos



La divulgación científica busca la comprensibilidad y accesibilidad de la ciencia para el público no especializado, transmitiendo información científica de forma clara y atractiva.



Redes Sociales



Jornadas

Búsqueda de soluciones efectivas al impacto de la agricultura intensiva con SWAT.

(Laguna costera del Mar Menor)

JORNADA CEAGU - Universidad de Alcalá de Henares

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON SWAT+ COMO
HERRAMIENTA DE MEJORA DE GESTIÓN DEL AGUA

Dr. Adrián López Ballesteros

Doctor en Tecnología de la Computación e Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Murcia.



UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA



ÍNDICE

➤ **INTRODUCCIÓN**

- Zona de estudio
- Problemática ambiental

➤ **NUDO**

- Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
- Simulación de escenarios

➤ **DESENLACE**

- Resultados
- Conclusiones

INTRODUCCIÓN

Zona de estudio

❖ Cuenca vertiente al Mar Menor:



Campo de Cartagena

Figura 1. Mapa de localización del Campo de Cartagena y el Mar Menor.

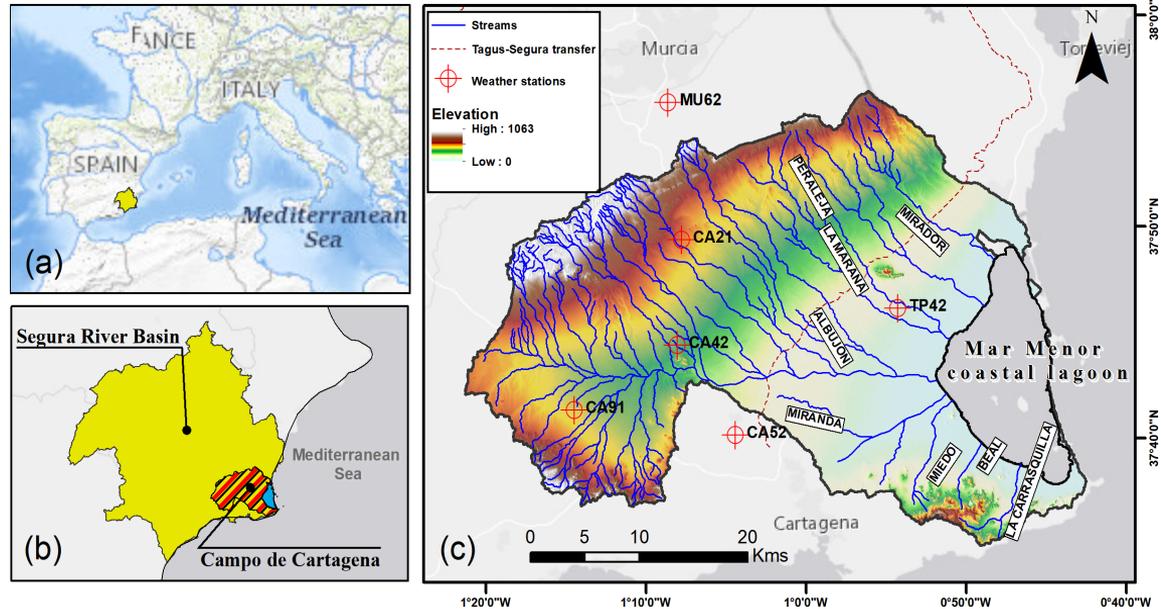


Figura 2. Trasvase Tajo-Segura.

Zona de estudio

❖ Características principales:

Tabla 1. Características principales del Campo de Cartagena.

Campo de Cartagena	
Área	1,244 km ²
Clima	Semiárido
Precipitación	300 mm/año
Temperatura	17 °C
ETP	1,300 mm/año
Destacable	<ul style="list-style-type: none"> -Cauces efímeros. -Alto grado de antropización. -Trasvase Tajo-Segura.

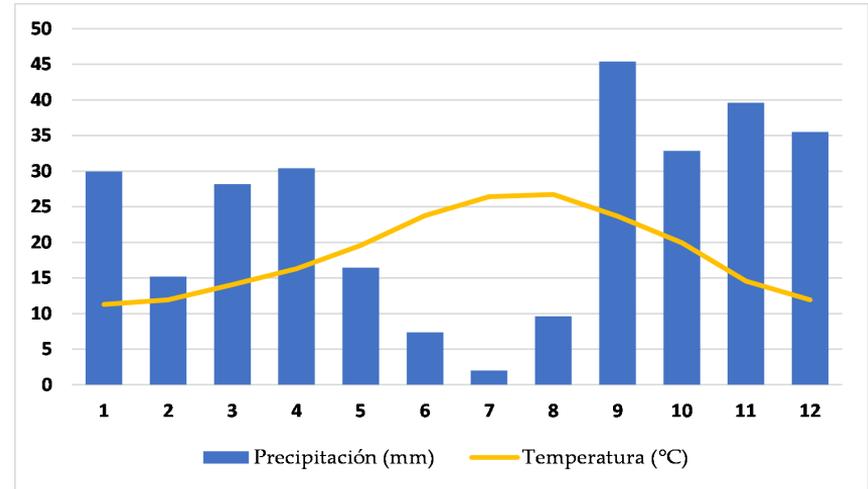


Figura 3. Variación interanual de la precipitación y temperatura en el Campo de Cartagena.

Zona de estudio

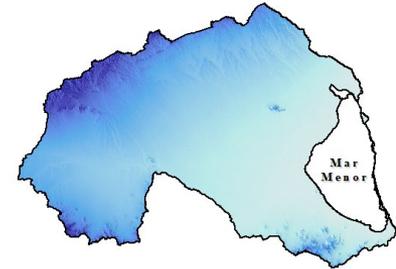
❖ Características principales:

✓ Alto grado de antropización:

- Agricultura intensiva.
- Turismo de alta afluencia.
- Gran desarrollo urbanístico.
- Antiguas explotaciones mineras.

75%

- ~50% regadío.
- ~25% secano.



✓ Vierte sus aguas a la laguna costera del Mar Menor:

- Gran valor ecológico y ambiental. 🛡️
- Elemento de identificación sociocultural.
- Motor económico local.

An aerial photograph of a small, white boat with a red stripe on its hull, moving across a vast, dark, and choppy sea. The boat is positioned in the upper center of the frame, leaving a white wake behind it. The water's surface is textured with small waves and ripples. The overall color palette is muted, consisting of various shades of grey and blue.

MAR MENOR

CORTOMETRAJE

Problemática ambiental

Tabla 2. Problemas, causas y efectos de la problemática ambiental del Mar Menor.

Problema	Causa	Efectos
Eutrofización	Exceso de nutrientes (N y P) en las aguas.	-Crecimiento excesivo de algas. -Pérdida de biodiversidad.
Eventos de hipoxia y anoxia	Entrada masiva de agua dulce u olas de calor extremas.	-Escasez o ausencia de oxígeno en el agua. -Mortandad de flora y fauna acuática.
Degradación del ecosistema marino	Entrada de contaminantes y metales pesados.	-Pérdida de biodiversidad. -Contaminación de las aguas.



Problemática ambiental



BORM, 2017, 2018, 2019.



BOE, 2020.

❖ Leyes de protección del Mar Menor:

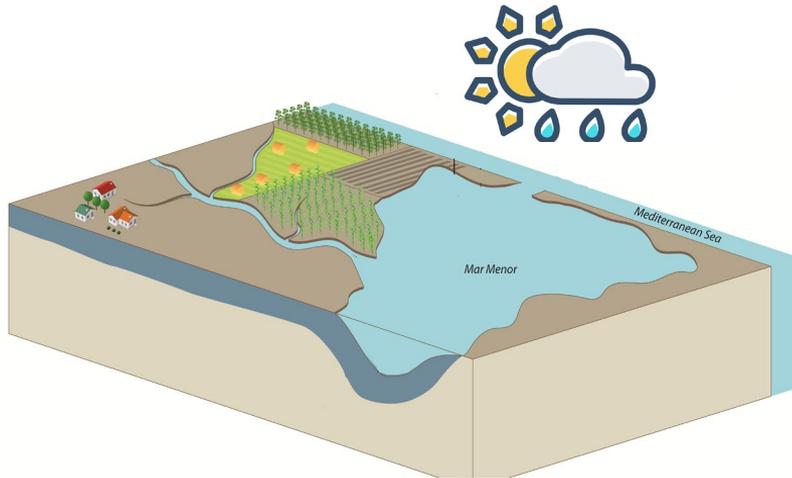
- Limitación de la actividad agrícola.
- Implantación de barreras vegetales.
- Creación de superficies de retención de nutrientes.
- Limitación de los ciclos de cultivo y uso de fertilizantes.

¿Son efectivas estas medidas?



Problemática ambiental

❖ Modelización hidrológica.



Enfoque integral

Mar Menor y su entorno

Figura 4. Ilustración representativa del Mar Menor y su entorno.

NUDO

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)



(Arnold et al., 1998)



+



Modelo hidrológico
semidistribuido

- Escala diaria.
- Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU).
- Ecuación del balance hídrico.

$$SW_{ti} = SW_{oi} + \sum (R_{dayi} - Q_{surfi} - ET_i - W_{seepi} - Q_{gwi})$$

Simula

- Procesos del ciclo hidrológico.
- Transporte de sedimentos y nutrientes.
- Procesos ecológicos.
- Practicas agrícolas.

➔ **Modelo
eco-hidrológico**

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

❖ Datos de entrada (INPUTS):

Datos climáticos



- Precipitación.
- Temperatura máxima y mínima.
- Velocidad del viento.
- Humedad relativa.
- Radiación solar.

Estaciones meteorológicas del IMIDA

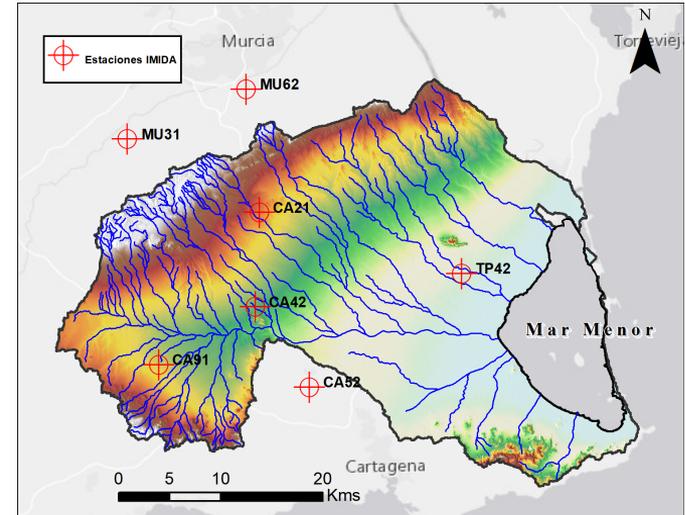
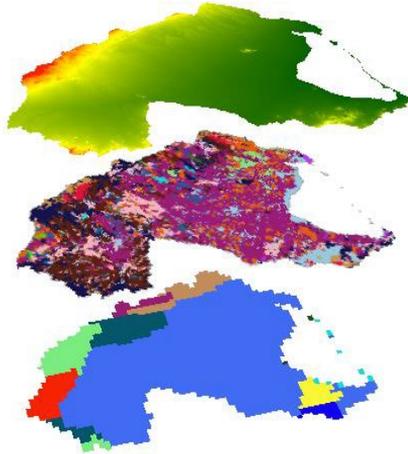


Figura 5. Ubicación de la estaciones meteorológicas del IMIDA.

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

❖ Datos de entrada (INPUTS):

Mapas de entrada



➤ Modelo digital del terreno.



Instituto Geográfico Nacional
(IGN)

➤ Mapa de usos del suelo.



Mapa de Cultivos y
Aprovechamientos 2000 - 2010

➤ Mapa de tipos de suelo.



Harmonized World Soil Database
(HWSD)

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

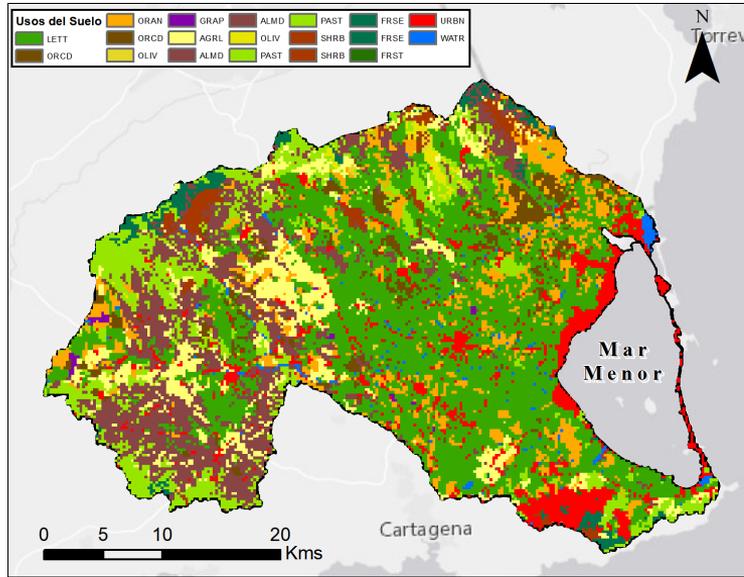


Figura 6. Mapa de usos del suelo del Campo de Cartagena.



Tabla 3.

Esquema de cultivo hortícola estándar y practicas agrícolas en el Campo de Cartagena.

Año	Fecha	Practica agrícola	Cantidad aplicada	Cultivo
	Mes	Día		
1	Enero	1	Plantación	Brócoli
1	Enero	1	Riego	~28 mm/mes Brócoli
1	Enero	1	Fertilización ¹	245 KgN/ha/año 100 KgP/ha/año Brócoli
1	Abril	30	Cosecha	Brócoli
1	Mayo	1	Plantación	Melón
1	Mayo	1	Riego	~48 mm/mes Melón
1	Mayo	1	Fertilización ¹	225 KgN/ha/año 105 KgP/ha/año Melón
1	Agosto	31	Cosecha	Melón
1	Septiembre	1	Plantación	Lechuga
1	Septiembre	1	Riego	~25 mm/mes Lechuga
1	Septiembre	1	Fertilización ¹	100 KgN/ha/año 58 KgP/ha/año Lechuga
1	Diciembre	31	Cosecha	Lechuga

¹ Cantidad total aplicada por fertirrigación a lo largo de todo el cultivo

(Francés, 2018)

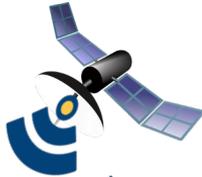
Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

❖ Calibración y validación:

Ausencia de datos aforados

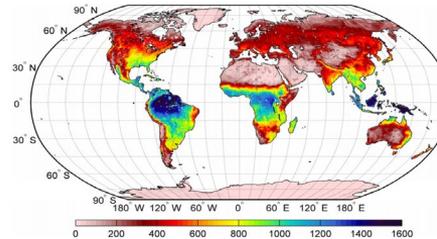


Datos de teledetección



GLEAM

(Miralles et al., 2011)



- Evapotranspiración satelital.
- GLEAM v3.2b
- $0.25^\circ \times 0.25^\circ$
- 2003 - 2015

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

❖ Calibración y validación:

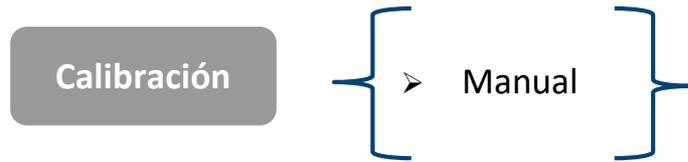


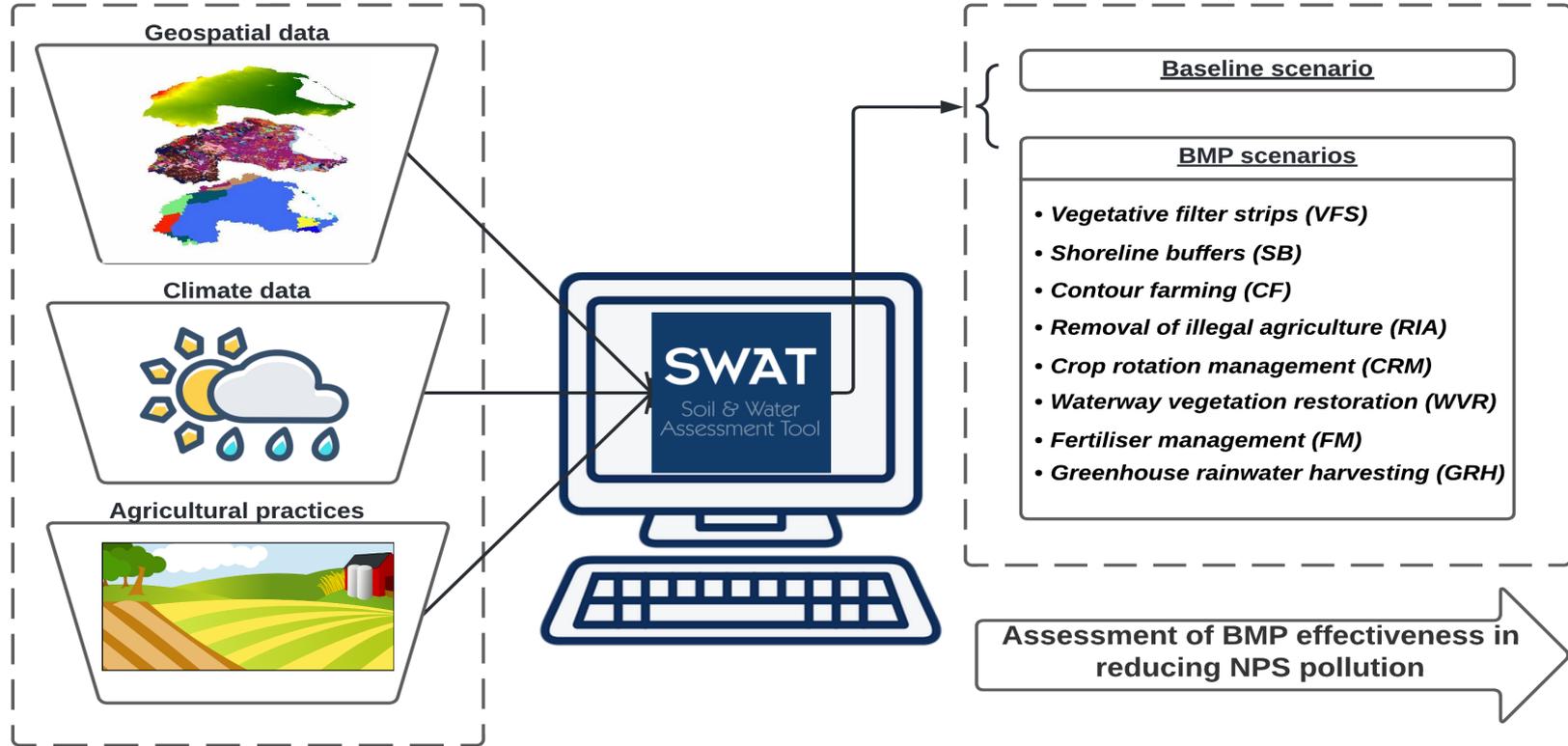
Tabla 5. Parámetros calibrados del modelo SWAT.

Parámetro	Descripción	Unidades	Valores límite
CN2.mgt	Número de curva inicial del método CN del SCS		35 - 98
ESCO.hru	Factor de compensación de la evaporación del suelo		0 - 1
EPCO.hru	Factor de compensación de la captación de agua por la vegetación		0 - 1
SOL_AWC.sol	Contenido de agua disponible en el suelo	mm/mm	0 - 1
RCHRG_DP.gw	Factor de recarga del acuífero		0 - 1

Bondad del ajuste

- Gráficamente (ET_{obs} vs ET_{sim}).
- Coeficiente de eficiencia de Kling–Gupta (KGE).
- Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).
- Coeficiente de determinación (R^2).
- Porcentaje del sesgo (PBIAS).

Simulación de escenarios



Simulación de escenarios

❖ 1. Vegetative filter strips (VFS)



Implantación de barreras vegetales



➤ 2 metros de ancho



VFS2m

➤ 3 metros de ancho



VFS3m

Simulación de escenarios

❖ 2. Contour farming (CF)



Plantación siguiendo las curvas de nivel



- Pendientes menores 2% → **CF<2**
- Pendientes entre 2% y 8% → **CF2-8**
- Pendientes mayores 8% → **CF>8**

Simulación de escenarios

❖ 3. Crop rotation management (CRM)



Cambio en la rotación de cultivos

➤ 3 cosechas anuales



➤ 2 cosechas anuales



CRM

Simulación de escenarios

❖ 4. Fertilizer management (FM)



Reducción de los fertilizantes



↓ 20%



- Nitratos (N)
- Fosfatos (P)



FM

Simulación de escenarios

❖ 5. Removal of illegal agriculture (RIA)



Eliminación de la agricultura ilegal



~9.000 ha



Estado natural



RIA

Simulación de escenarios

❖ 7. Shoreline buffers (SB)



Cambio usos del suelo en los alrededores del Mar Menor

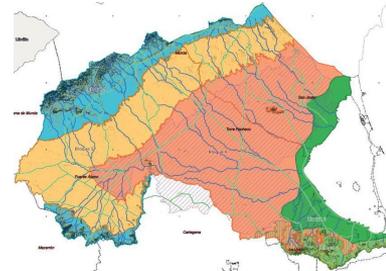


Cultivos en regadío



Estado natural

- Buffer de 500 metros → **SB500**
- Buffer de 1.500 metros → **SB1500**
- Zona 1 (BOE, 2020) → **SBzone1**

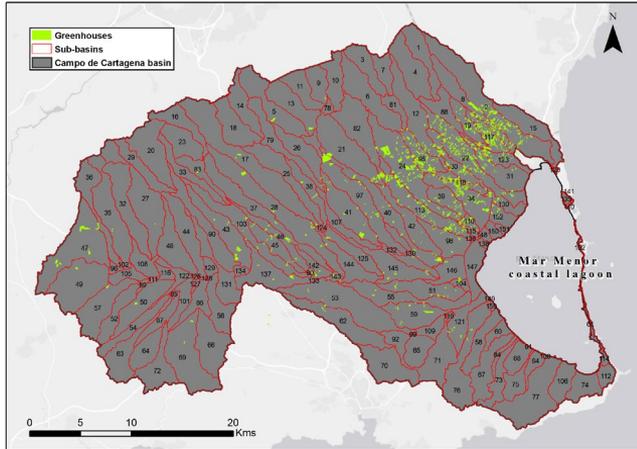


Simulación de escenarios

❖ 8. Greenhouses rainwater harvesting (GRH)



Recolección aguas de lluvia en los invernaderos



~2.400 ha



Capacidad de 100 l/m²

GRH

Simulación de escenarios

❖ Prácticas de gestión agrícolas (BMPs):

Combinación
de escenarios

- 1. Vegetative filter strips (VFS)
- 2. Contour farming (CF)
- 3. Crop rotation management (CRM)
- 4. Fertilizer management (FM)
- 5. Removal of illegal agriculture (RIA)
- 6. Waterways vegetation restoration (WVR)
- 7. Shoreline buffers (SB)
- 8. Greenhouses rainwater harvesting (GRH)



Agricultural BMPs



Structural BMPs

16 escenarios

DESENLACE

Resultados



Tabla 6. Valores de los parámetros calibrados del modelo SWAT en el Campo de Cartagena.

Parameter	Description	Default value	Calibrated value
CN2.mgt	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	-	-5%
ESCO.hru	Soil evaporation compensation factor	0.95	0.75
EPCO.hru	Plant uptake compensation factor	1	0.3
SOL_AWC.sol	Soil available water content (mm/mm)	-	-10%
RCHRG_DP.gw	Deep aquifer percolation fraction	0.05	0.4

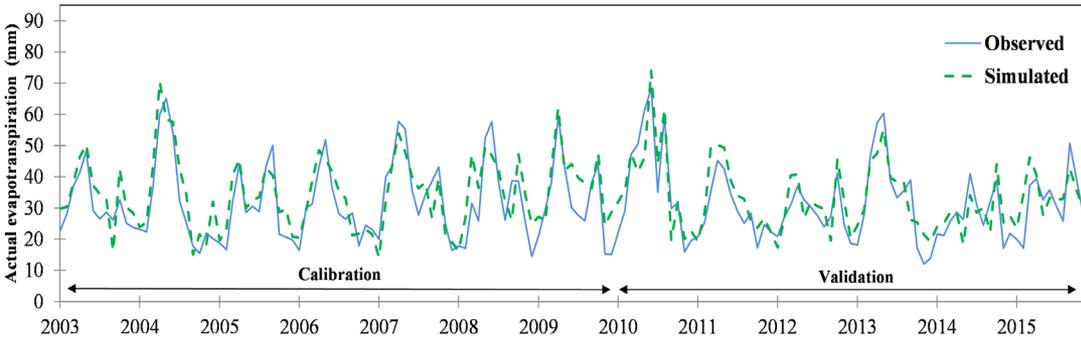


Figura 7. Gráfico de calibración y validación del Campo de Cartagena.

Tabla 7. Valor de los estadísticos en el Campo de Cartagena.

Período	KGE	NSE	R ²	PBIAS
Calibración (2003 – 2009)	0.81	0.67	0.73	-9.11%
Validación (2010 – 2015)	0.82	0.71	0.74	-5.22%

Resultados

❖ Ciclo hidrológico y balance hídrico:

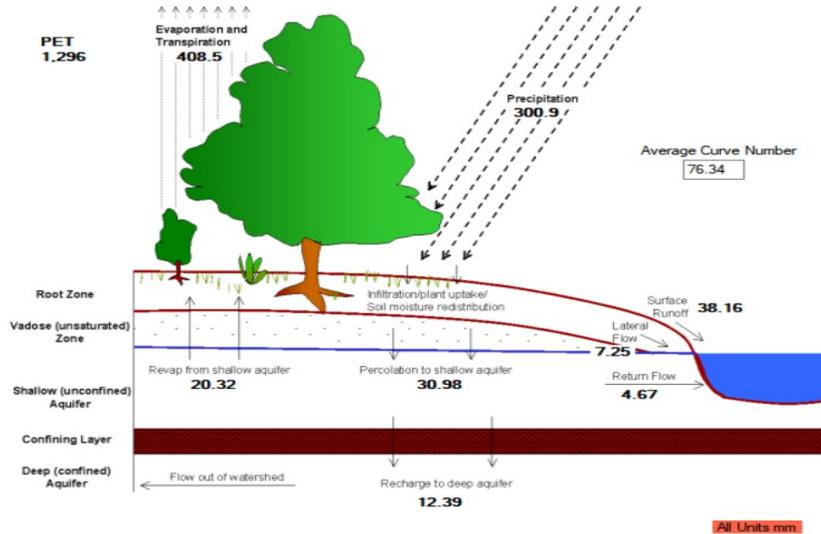
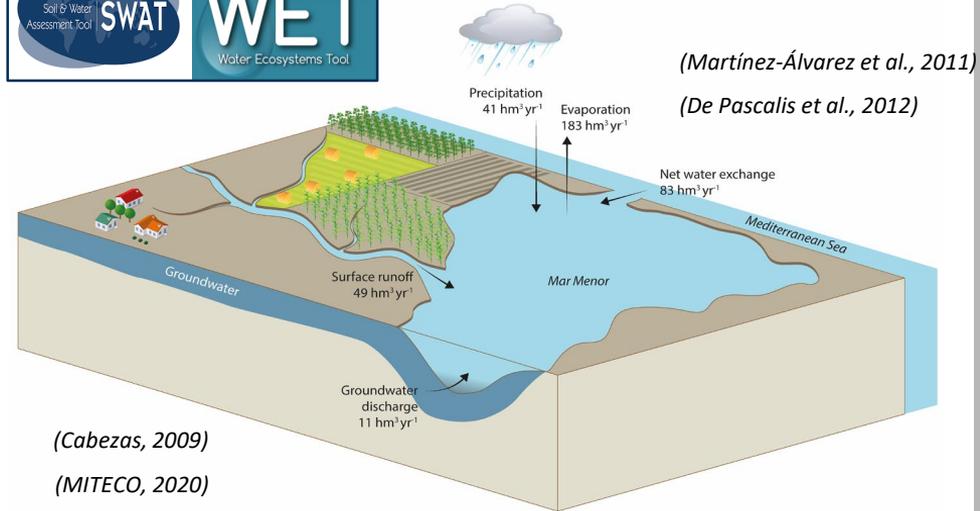


Figura 8. Balance hidrológico medio anual del Campo de Cartagena (2003 – 2019).



(Cabezas, 2009)

(MITECO, 2020)

Figura 9. Balance hídrico medio anual de la laguna del Mar Menor (2003 – 2019).

Fuente	Sedimentos	Nitrógeno Total	Fósforo Total
Modelo SWAT	2.52 t/ha/año	482.4 t/año	242.2 t/año
Publicaciones	~2 t/ha/año	515 ± 176 t/año	240 t/año

(Romero-Díaz et al., 2011)

(García-Pintado et al., 2007)

(Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor, 2017)

Resultados

❖ Efectividad de las BMPs:

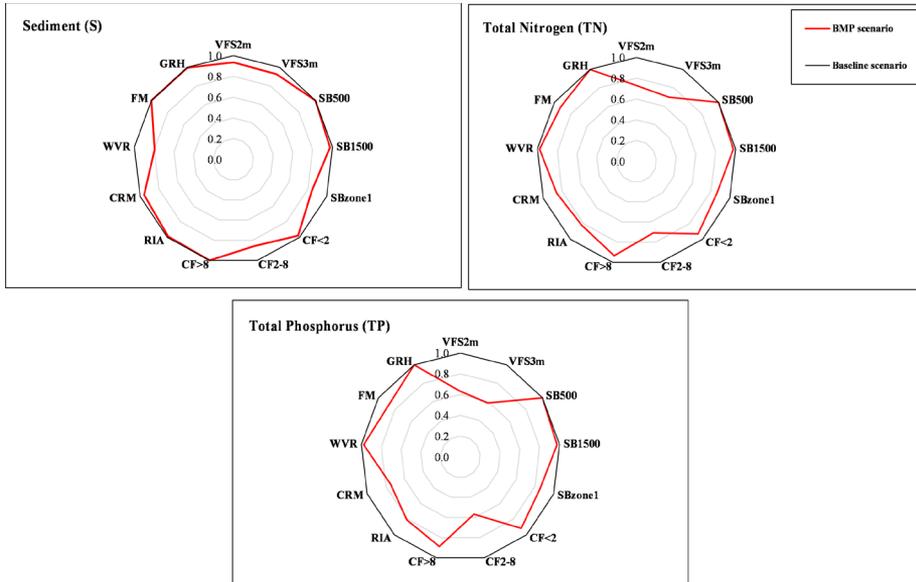


Figura 10. Efectividad de los escenarios individuales de prácticas de gestión (BMP).

$$Effectiveness (\%) = \frac{(Y_{Baseline} - Y_{BMP})}{Y_{Baseline}} \cdot 100$$

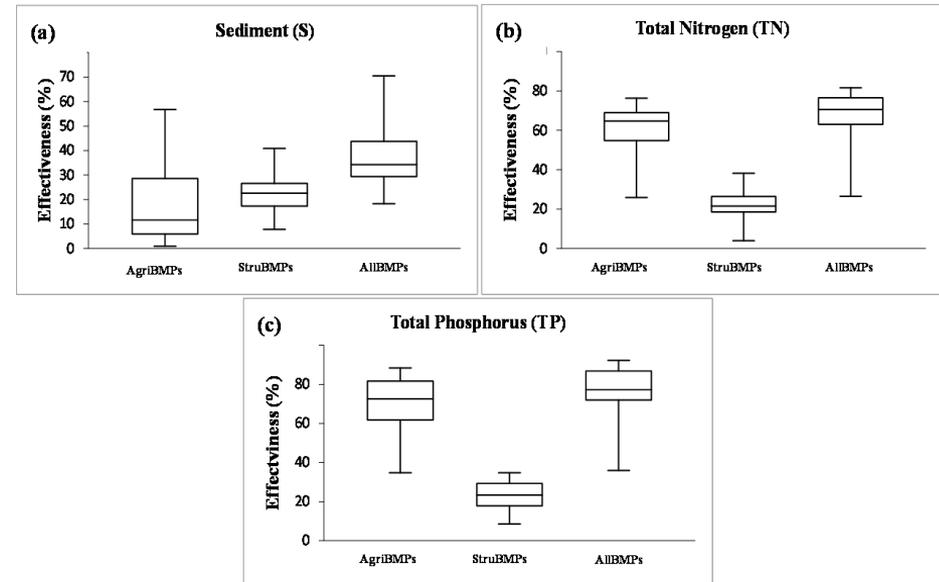


Figura 11. Efectividad de los escenarios combinados de prácticas de gestión (BMP).

Resultados

López-Ballesteros, A.; Trolle, D.; Srinivasan, R.; Senent-Aparicio, J. (2023). Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain. Science of the Total Environment, 859 (1), 160144.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160144>

- ✓ Índice de impacto (2021): **10,756**
- ✓ Puesto en el JCR: **26/279**
- ✓ Categoría: **Environmental Sciences**
- ✓ Cuartil: **Q1**

Science of the Total Environment 859 (2023) 160144



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain

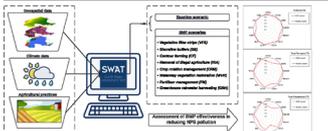
Adrián López-Ballesteros^{a,b,*}, Dennis Trolle^{b,c}, Raghavan Srinivasan^d, Javier Senent-Aparicio^a

^a Department of Civil Engineering, Catholic University of San Antonio, Campus de Las Jiróns 1 s/n, 30107 Gredosque, Murcia, Spain
^b Department of Bioscience, Aarhus University, Højenvej 20, 8000 Ålborg, Denmark
^c WaterTech, Arndtsgade 23, 8000 Skanderborg, Denmark
^d Department of Ecology and Conservation Biology, Texas A&M University, 524 Juhn Karbough Hall, 77942-2129 Galveston, TX, USA

HIGHLIGHTS

- Mar Menor has experienced a significant environmental degradation in the last years.
- Several BMP scenarios proposed by legislation are assessed with the SWAT model.
- VFS and CP were found the most effective BMPs at the watershed scale.
- An effective combination of BMPs could reduce the nutrient exports by 70 %.
- The research findings can guide decision-makers to improve coastal lagoon status.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Editor: Jürgen Malinowski

Keywords:
Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model; Best management practices (BMP); Nitrate; Non-point source (NPS) pollution; Camp de Cartagena

ABSTRACT

Coastal lagoons are ecosystems of high environmental importance but are quite vulnerable to human activities. The continuous inflow of pollutant loads can trigger negative impacts on the ecological status of these water bodies, which is contrary to the European Green Deal. One example is the Mar Menor coastal lagoon in Spain, which has experienced significant environmental degradation in recent years due to excessive external nutrient input, especially from non-point source (NPS) pollution. Mar Menor is one of the largest coastal lagoons of the Mediterranean region and a site of great ecological and socio-economic value. In this study, the highly anthropogenic and complex watershed of Mar Menor, located in Camp de Cartagena (1246 km²), was modelled with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to analyse potential options for recovery of this unique system. The model was used to simulate several best management practices (BMP) proposed by recent Mar Menor regulations, such as vegetative filter strips, shoreline buffers, contour farming, removal of illegal agricultural cover, erosion management, waterway vegetation restoration, fertilizer management and greenhouse rainwater harvesting. Sixteen scenarios of individual and combined BMPs were analysed in this study. We found that, as individual measures, vegetative filter strips and contour farming were most effective in nutrient reduction: approximately 30 % for total nitrogen (TN) and 40 % for total phosphorus (TP). Moreover, waterway vegetation restoration allowed the highest sediment (S) reduction at approximately 20 %. However, the combination of BMPs demonstrated clear synergistic effects, reducing E export by 38 %, TN by 67 %, and TP by 75 %. Selecting the most appropriate BMPs to be implemented at a watershed scale requires a holistic approach.

^{*} Corresponding author.
 E-mail address: alopez@ucam.edu (A. López-Ballesteros), trolle@bios.au.dk (D. Trolle), r.srinivasan@tamu.edu (R. Srinivasan), jsenent@ucam.edu (J. Senent-Aparicio).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160144>
 Received 8 July 2022; Received in revised form 24 October 2022; Accepted 8 November 2022
 Available online 12 November 2022
 0949-6675/© 2022 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

NUDO

DESENLACE

34

Conclusiones

- ✓ De los 16 escenarios simulados con el modelo SWAT, las **barreras vegetales**, la **plantación siguiendo las curvas de nivel** y la **restauración de la vegetación de los cauces** fueron las más eficaces en la reducción de sedimentos y nutrientes entrantes al Mar Menor.
- ✓ La **combinación de escenarios** muestra un **efecto sinérgico** de las prácticas agrícolas, con una mayor reducción de contaminantes entrantes al Mar Menor.
- ✓ Los **modelos hidrológicos**, como SWAT, son **herramientas útiles** para la **toma de decisiones** en zonas de agricultura intensiva.

¿Cuál puede ser el futuro de la modelización hidrológica?

¿Cuál puede ser el futuro de la modelización hidrológica?



<https://www.asap-forecast.com/>

GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

“Todos los modelos son erróneos, pero algunos son útiles”

George E. Pelham Box (1919 - 2013)

