

Gestión del recurso Agua ante el desafío del Cambio Climático en Andalucía: una metodología y herramientas para la toma de decisiones en los próximos 30 años (AGUAs21)

Resultado 4

Evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos continentales frente a los efectos del cambio global, con especial consideración de los diversos escenarios de cambio climático



**Título completo:**

Gestión del recurso Agua ante el desafío del Cambio Climático en Andalucía: una metodología y herramientas para la toma de decisiones en los próximos 30 años (AGUAs21)

**Autores:**

Oscar Álvarez Esteban  
Manuel Arcila Garrido  
Cira Buonocore  
J. Adolfo Chica Ruiz  
Alfredo Fernández Enríquez  
Juan Jesús Gomiz Pascual  
Carlos J. González Mejías  
Alfredo Izquierdo González  
Rafael Mañanes Salinas  
María Luisa Pérez Cayeiro  
Jesús Romero González

**Contacto:**

[isa.perez@uca.es](mailto:isa.perez@uca.es)

**Web:**

<https://aguas21.uca.es/>

**Este trabajo ha sido cofinanciado por la Unión Europea en el marco del Programa Operativo FEDER 2014-2020 y por la Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades de la Junta de Andalucía. Referencia del proyecto: FEDER-UCA18-107890**



# Índice

1. Introducción	4
2. Metodología	6
3. Resultados	7
4. Bibliografía	37

## 1. Introducción

Un suministro adecuado de los recursos hídricos, accesible para todos y libres de contaminantes, debería ser parte esencial del mundo en el que vivimos, además de ser fundamental para el desarrollo socio-económico y la salud de los ecosistemas. La escasez de los recursos hídricos junto con una mala calidad del agua puede representar un serio problema para la población y el bienestar humano a nivel mundial.

Ante el reto de administrar el uso del agua en el tiempo y en el espacio, y establecer normas de protección medio ambiental contra la contaminación, los estados miembros de la Unión Europea, Noruega y la Comisión Europea desarrollaron conjuntamente, en el año 2000, una estrategia común para implementar la Directiva 2000/60/CE. Tal Directiva, también conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), establece un marco para la acción comunitaria en el campo de la política del agua. La Directiva Europea Marco del Agua (2000/60/CE) establece que los estados miembros de la Unión Europea deben alcanzar el objetivo ambiental previsto en el artículo 4, y están obligados a publicar un ciclo de planes hidrológicos de cuenca (plazo de seis años para cada ciclo).

La sobreexplotación de los recursos hídricos ha producido, en los últimos años, una disminución de los niveles de reservas de agua y una degradación de su calidad, con un importante impacto ambiental (Abbaspour et al., 2015). En la gestión de los recursos hídricos existen múltiples factores a tener en cuenta, que pueden afectar a la disponibilidad de agua y su estado cualitativo. Mas allá de los impactos antrópicos, en ocasiones inevitables e impredecibles, se deben considerar los impactos potenciales del cambio climático, que representan un importante factor de estrés para la disponibilidad de agua y los ecosistemas fluviales (Kim et al., 2013; Qi et al., 2009). El clima, además, afecta directamente a la capacidad del sistema para transportar contaminantes a los cuerpos de agua y diluir su concentración (Dunn et al., 2012). Por otra parte, no hay que olvidar que el río representa la principal fuente de nutrientes y sedimentos en suspensión para la zona

*Resultado 4*

costera (Rabalais et al., 1996; Humborg et al., 1997; Cruzado et al., 2002; Sierra et al., 2002; Zhang et al., 2004).

Para tener una visión más completa sobre el estado de salud del ecosistema en la cuenca del Guadalete y poder identificar los impulsores directos, se lleva a cabo un análisis y una evaluación de los Servicios Ecosistémicos (SE), es decir, todos aquellos beneficios que un ecosistema aporta a la sociedad y que comportan la mejora de la economía y del bienestar humano. Este estudio representa el primer paso hacia el desarrollo de una metodología orientada al estudio y la evaluación de los SE de la propia cuenca, mediante un modelo hidrológico como herramienta de ayuda y soporte en la gestión de los recursos y sobre todo en la toma de decisiones.

En la última década se ha observado un número creciente de publicaciones que utilizan SWAT para la evaluación de los Servicios Ecosistémicos (Francesconi et al., 2016). Estos estudios demuestran una variedad de formas en que se puede aplicar el modelo para este fin. Aunque todavía queda un largo camino a recorrer en la modelización de los SE al servicio del proceso de toma de decisiones ecológicas y ambientales, se han obtenido excelentes resultados con el modelo SWAT en la evaluación de los SE relacionados con el agua en la Cuenca del Guadalete.

Además, utilizando el sistema enlazado de modelos descritos en el objetivo 3 del proyecto, se presentan los resultados no solo para las aguas continentales de la cuenca del Guadalete, sino también para las aguas costeras adyacentes.

## 2. Metodología

Una vez el modelo hidrológico haya sido calibrado y validado dando resultados satisfactorios para los parámetros propuestos (Caudal, concentración de Nitratos y concentración de Sedimentos en Suspensión), se procede con las simulaciones bajo dos diferentes escenarios de cambio climático (CC): el RCP 4.5, que representa un escenario más suave y el RCP 8.5 que representa un escenario más abrasivo. A tal propósito, se han elegido para los escenarios de CC treinta años relacionados con un futuro cercano (2020-2050), considerando esta franja temporal de mayor valor para la sucesiva evaluación de los SE asociados. Los datos de caudal, nitratos y sedimentos en suspensión vienen presentados como valores medio tanto para el periodo de estudio elegido como referencia, es decir 1984-2014, como para los 30 años futuros estudiados (2020-2050). Con los resultados obtenidos se construyen mapas representativos de la cuenca estudiada en función de los parámetros y escenarios propuestos. De esta manera será posible identificar áreas vulnerables y potencialmente vulnerables.

De acuerdo con Latinopoulos et al. (2020), los SE se evalúan teniendo en cuenta la cantidad de agua como disponibilidad para cubrir las necesidades de riego y las necesidades humanas, la concentración de sedimentos como efecto negativo sobre la turbidez y el estado del agua y por último la concentración de nitratos como intensidad de uso del suelo y calidad del agua. Los rangos elegidos para la construcción del mapa tienen en cuenta: por un lado, para la concentración de nitratos en aguas superficiales, los dispuesto en el Anexo II del Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre para los aspectos relativos a la protección del estado de las aguas en aplicación de lo dispuesto en la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo, y la Directiva 91/676/CEE para el agua destinada al consumo humano, para los que se establecen aguas en mal estado con concentraciones de  $\text{NO}_3 > 20$  mg/L y aguas no aptas para consumo humano con concentraciones de  $\text{NO}_3 > 50$  mg/L. Por el otro lado, para la concentración de SS, debido a las enormes discrepancias sobre las estimaciones de la erosión y el transporte de sedimentos a nivel global como consecuencia

**Resultado 4**

a las dificultades encontradas para obtener valores fiables, se toma en consideración lo propuesto por la OMS (organización mundial de la sanidad), según la cual la concentración de SS para aguas superficiales resultan dañinas para la salud humana en concentraciones mayor a 5 NTU (unidades nefelométricas de turbidez, donde  $1\text{mg/L}=3\text{NTU}$ ).

Finalmente, pasando a la zona costera a partir de la desembocadura del río Guadalete, se presentan los resultados de simulaciones para el estudio del comportamiento de la pluma en diferentes situaciones (teniendo en cuenta que con la pluma se desplazan sedimentos y contaminantes). Los escenarios de CC y los periodos de tiempo utilizados con el modelo lagrangiano, se corresponden a los propuestos previamente con el modelo hidrológico. También se presenta, conjuntamente y para cada uno de los escenarios de CC, el comportamiento de la pluma en condiciones de viento fuerte de levante, de poniente o ausencia de viento. De tal manera será posible, según los varios escenarios de CC y de vientos propuestos, estudiar el comportamiento de la pluma para prevenir daños al ecosistema costero y los SE asociados (playas y zonas de baño, zonas de pesca, etc.).

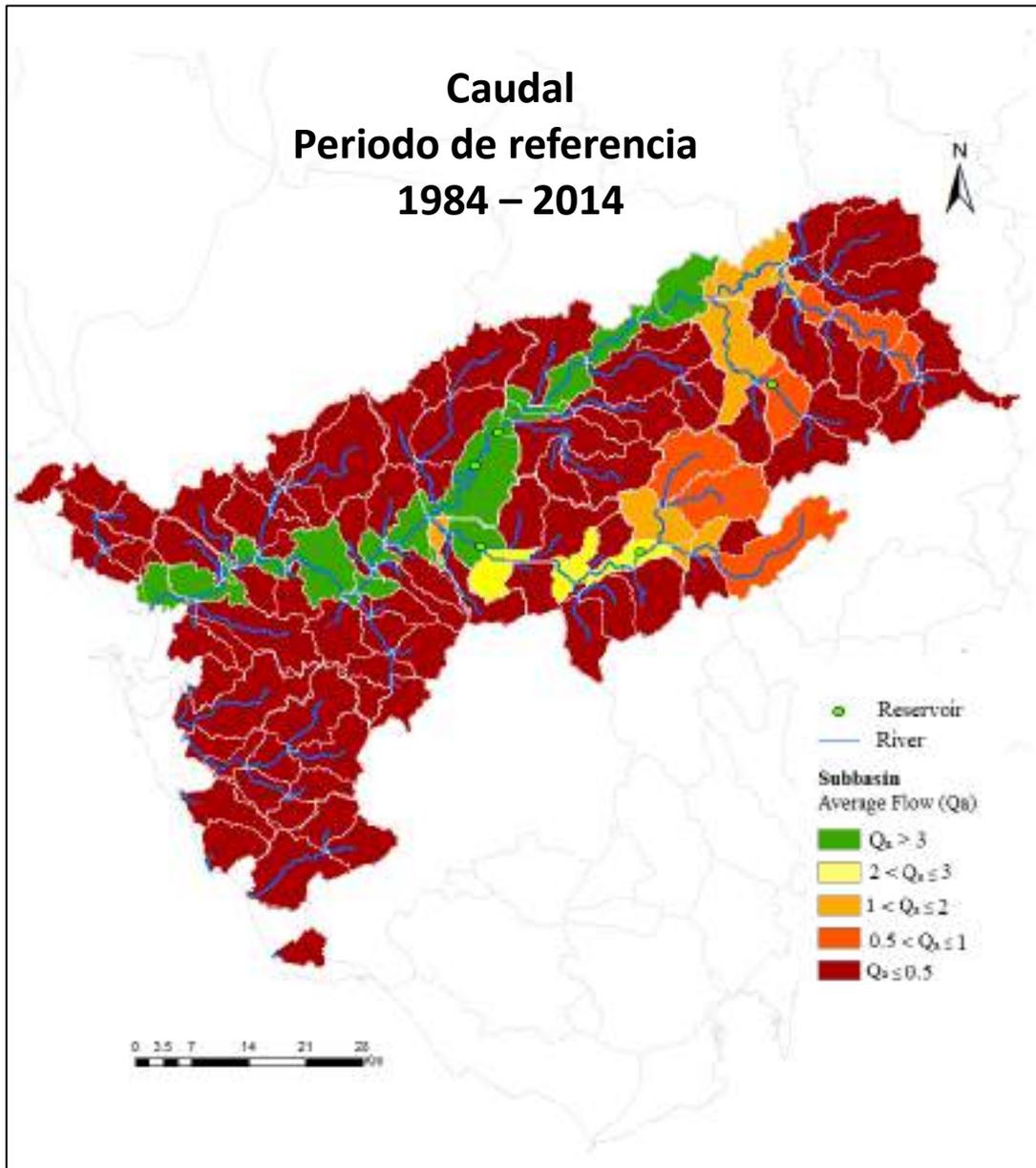
### **3. Resultados**

Los resultados obtenidos pueden ser empleados de manera directa: variaciones de caudales, concentración de nitratos y sedimentos en suspensión, proporcionando valores de los mismos durante el periodo de referencia y en relación a los diferentes escenarios propuestos para los treinta años futuros (RCP 4.5 y RCP 8.5). También se utilizan los resultados del modelo de forma indirecta, para obtener una estimación de los efectos de los escenarios planteados sobre los Servicios Ecosistémicos.

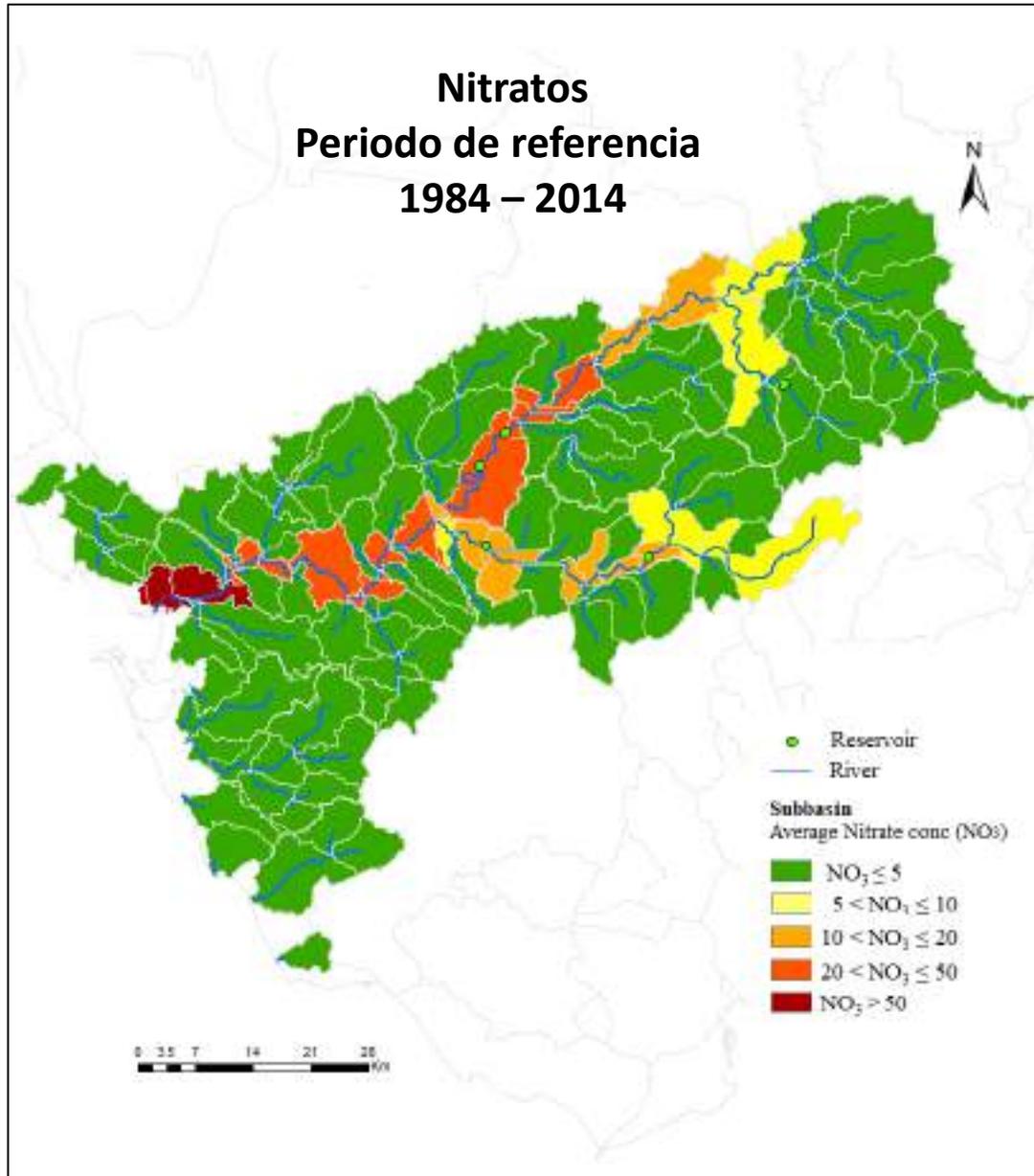
A continuación, se presenta un mapa “de riesgo” para todo el territorio de la cuenca del Guadalete y para cada uno de los parámetros estudiado (caudal, nitratos y sedimentos en suspensión), cuyos datos se expresan como valor medio (Figuras 1, 2 y 3). La cuenca aparece

## Resultado 4

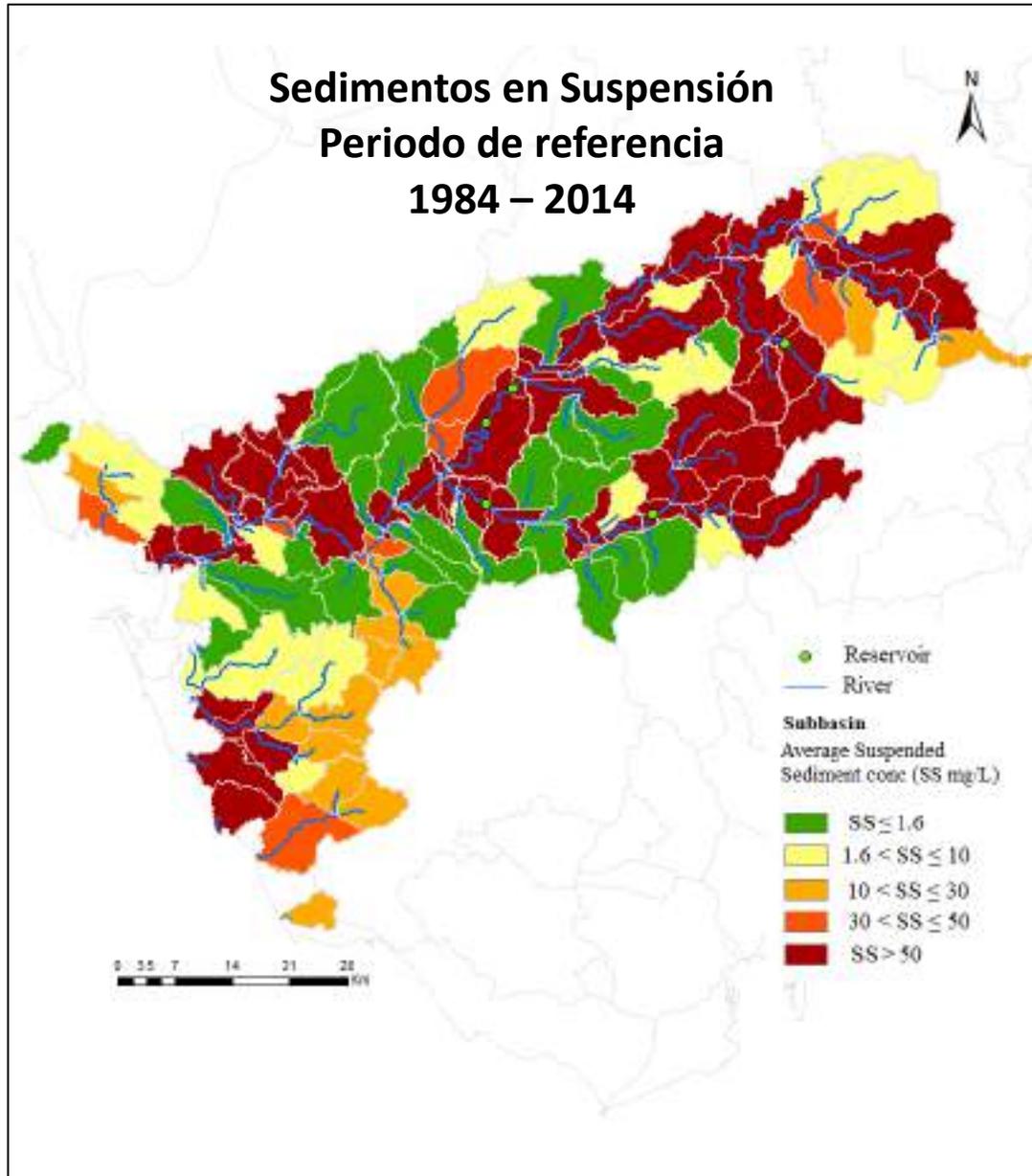
dividida en subcuencas tal y como las genera el modelo SWAT y con las que se ha trabajado desde la calibración y validación de dicho modelo.



**FIGURA 1.** Caudal medio durante el periodo de estudio 1984-2014 de la cuenca del Guadalete, repartido para cada subcuenca ilustrada. Los valores en verde representan caudales más elevados, mientras que los valores en rojo los más bajos, tal y como indicado en la leyenda.



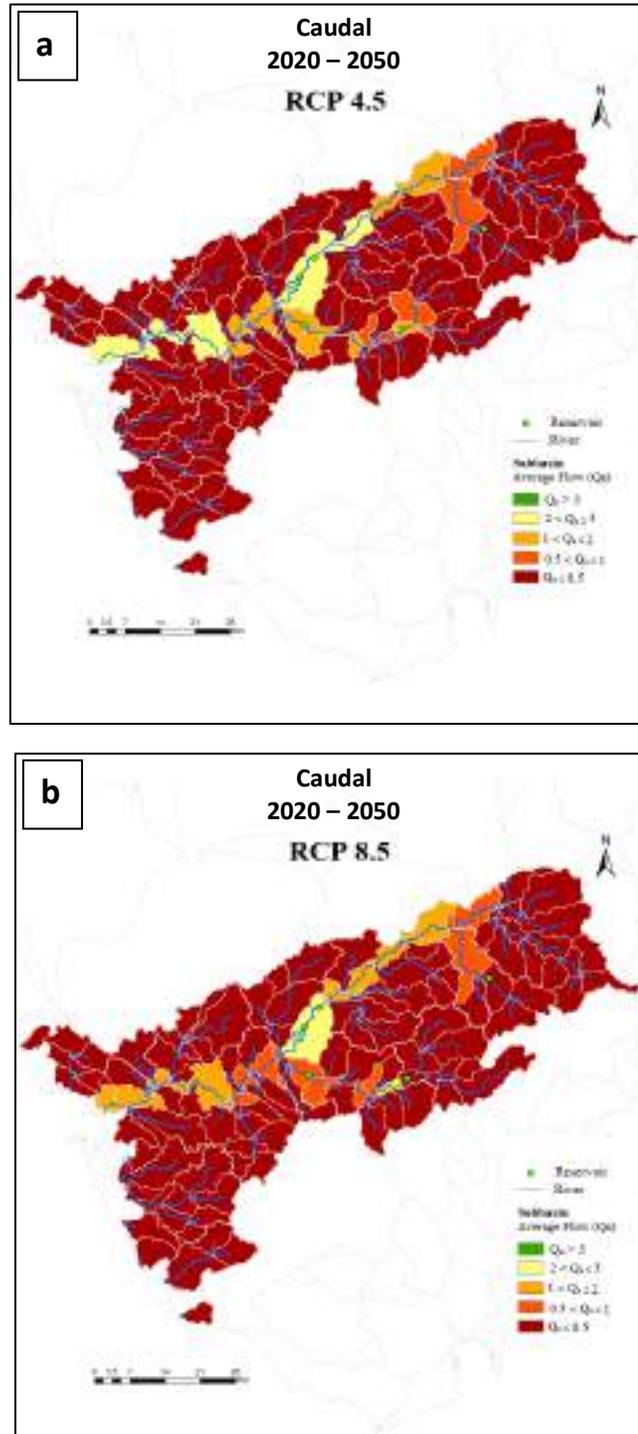
**FIGURA 2.** Concentración media de nitratos durante el periodo de estudio 1984-2014 en la cuenca del Guadalete, repartida para cada subcuenca ilustrada. Los valores en verde representan concentraciones más bajas, mientras que los valores en rojo concentaciones más elevadas, tal y como indicado en la leyenda.



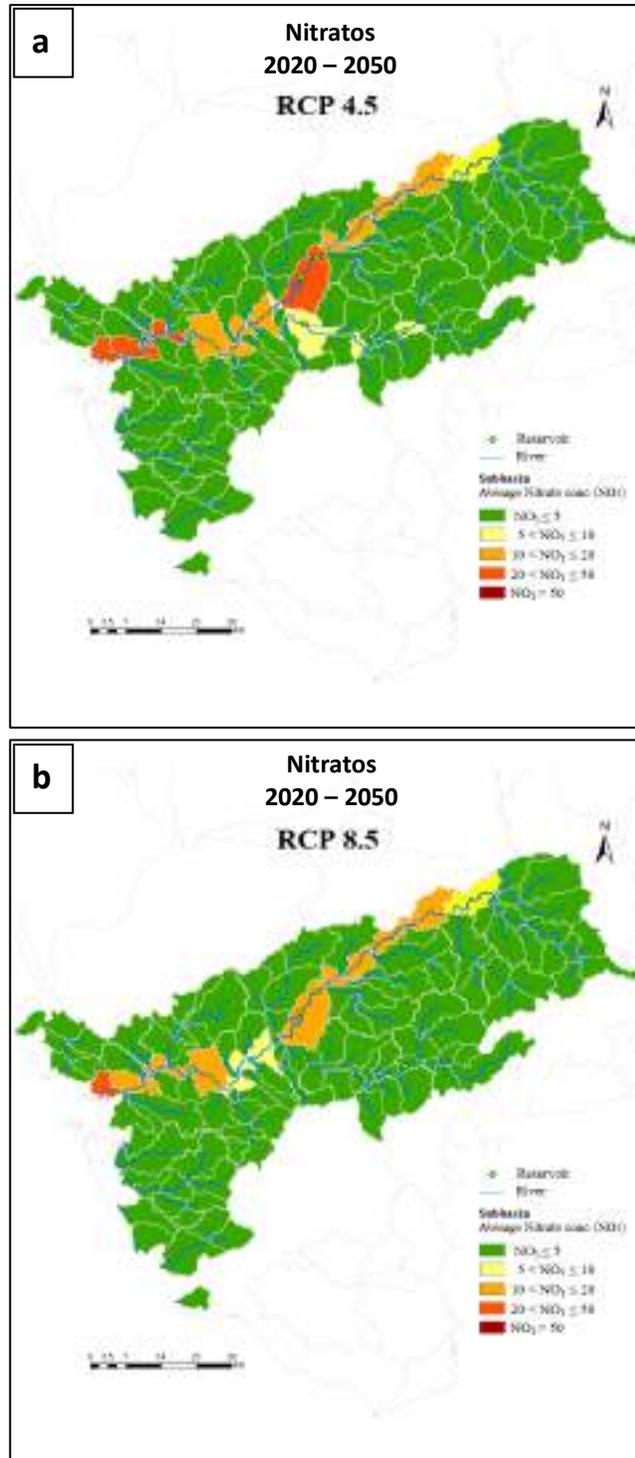
**FIGURA 3.** Concentración media de Sedimentos en Suspensión (SS) durante el periodo de estudio 1984-2014 en la cuenca del Guadalete, repartida para cada subcuenca ilustrada. Los valores en verde representan concentraciones más bajas, mientras que los valores en rojo concentraciones más elevadas, tal y como indicado en la leyenda.

Resultado 4

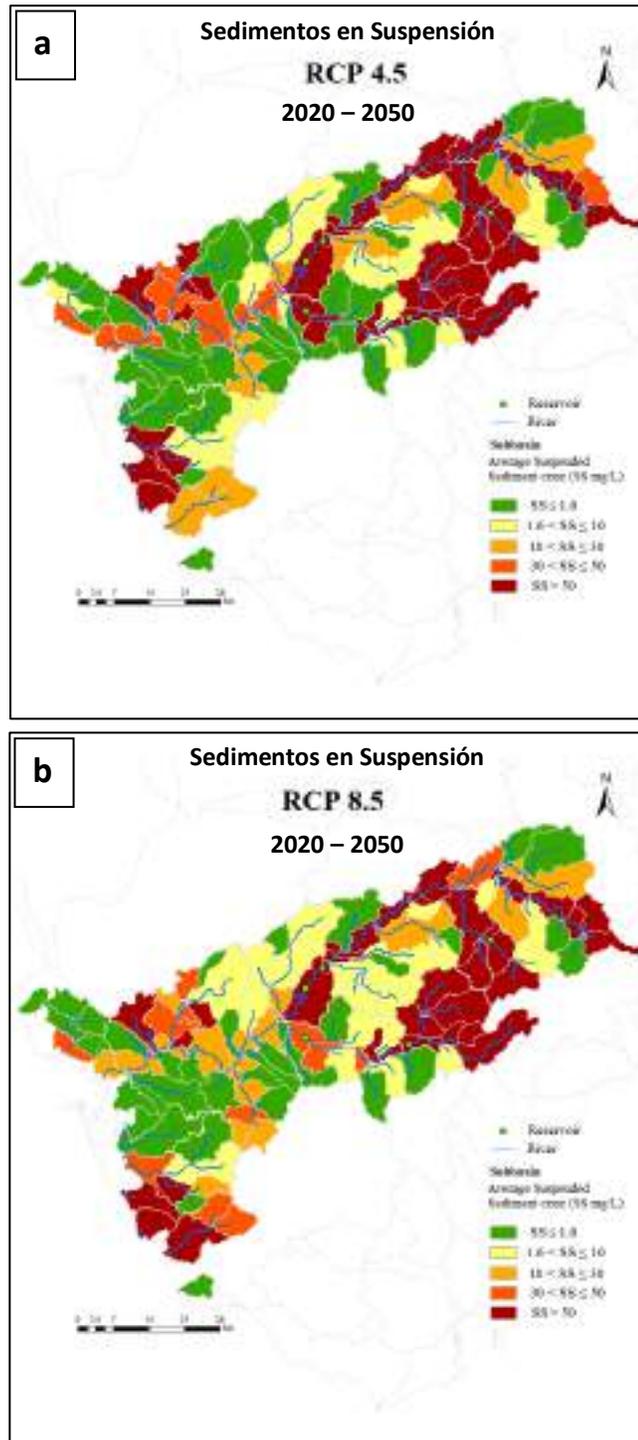
A continuación, presentamos esos mismos mapas de riesgo pero calculados bajo los dos escenarios de cambio climático propuestos (Figuras 4, 5 y 6). Los datos se expresan como valor medio durante el periodo de estudio 2020-2050.



**FIGURA 4.** Caudal medio para el periodo de simulación futuro 2020-2050 en la cuenca del Guadalete, bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b). Se mantienen los mismos rangos de valores utilizados para la fig. 1.



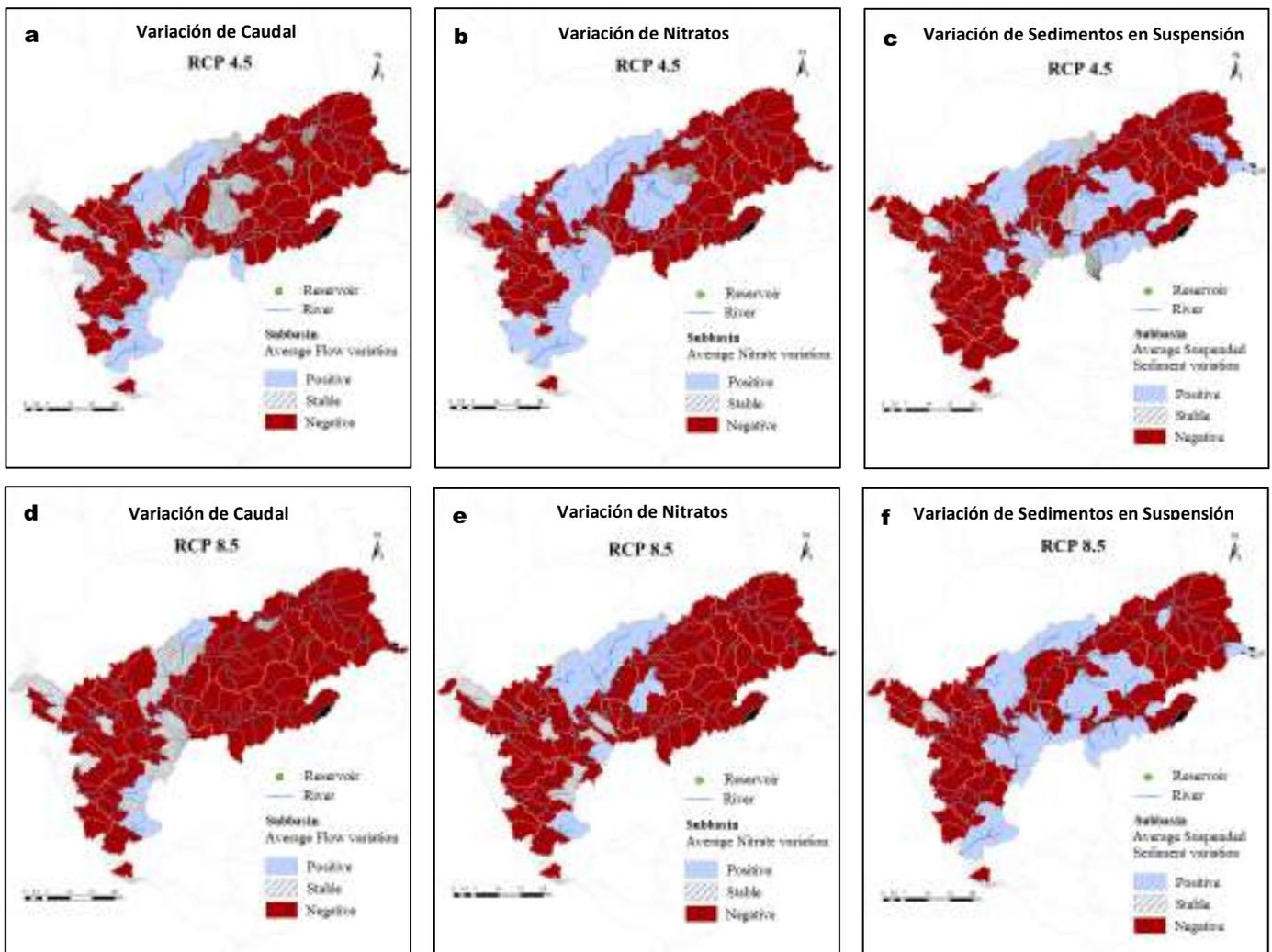
**FIGURA 5.** Concentración media de nitratos para el periodo de simulación futuro 2020-2050 en la cuenca del Guadalete, bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b). Se mantienen los mismos rangos de valores utilizados para la fig. 2.



**FIGURA 6.** Concentración media de Sedimentos en Suspensión (SS) para el periodo de simulación futuro 2020-2050 en la cuenca del Guadalete, bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b). Se mantienen los mismos rangos de valores utilizados para la fig. 3.

## Resultado 4

Con el fin de poder estudiar la evolución de caudal, nitratos y sedimentos, se muestran los resultados de estos parámetros como variación temporal (Figura 7), es decir la diferencia entre el valor medio de los treinta años futuros con los treinta años pasados de referencia. De tal manera, los valores positivos indicarán un aumento en el tiempo del parámetro estudiado, mientras valores negativos una disminución. También se presenta la variación de la precipitación y de la evapotranspiración (Figuras 8 y 9, respectivamente), ya que representan otros dos parámetros utilizados como indicadores para el estudio de los SE.



**FIGURA 7.** Evaluación de caudal, concentración de nitratos y sedimentos en suspensión para los escenarios futuros propuestos: RCP 4.5 (fig. 7a, 7b y 7c) y RCP 8.5 (fig. 8a, 8b y 8c). Valores positivos indican un aumento en los años futuros con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución

Resultado 4

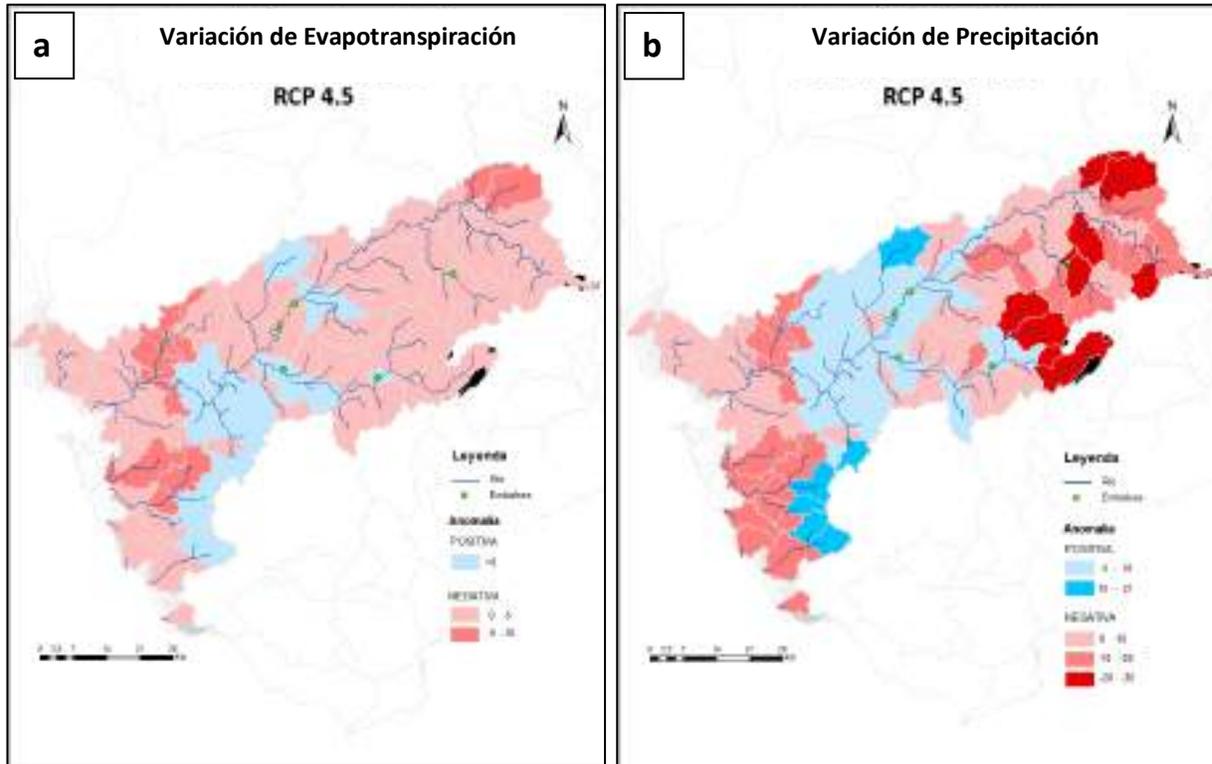


FIGURA 8. Evaluación la precipitación para los escenarios futuros propuestos: RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento en los años futuros con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución

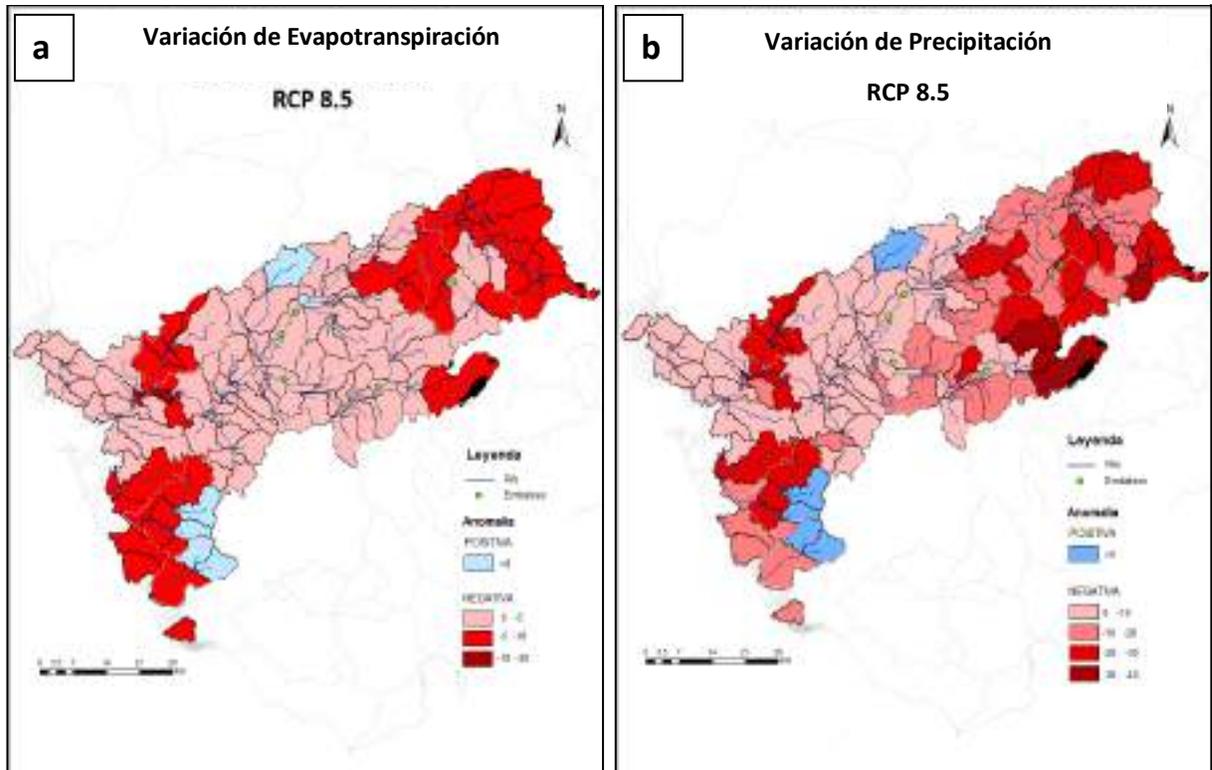


FIGURA 9. Evaluación la evapotranspiración para los escenarios futuros propuestos: RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento en los años futuros con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución

Resultado 4

A continuación, aportamos el listado de los SE propuestos (Abastecimiento y Regulación), relacionados con el agua, encontrados en la cuenca del Guadalete y los indicadores de SWAT empleados para su evaluación (Tabla 1).

**TABLA 1.** Servicios Ecosistémicos de abastecimiento y regulación y los respectivos indicadores SWAT utilizados para la evaluación del estado pasado y futuro de los mismos. En observaciones la simbología utilizada para la representación gráfica.

TIPO	SUBTIPO	CATEGORIA	INDICADORES SWAT	OBSERVACIONES
Abastecimiento	Alimentación	Acuicultura	Sedimentos, nitratos	 Producción piscícola (sobre todo moluscos e invertebrados marinos)
		Agricultura	Caudal, sedimentos y nitratos	Ref. Objetivo 2 – Estado y evolución del uso del suelo
	Agua dulce	Consumo humano	Caudal, sedimentos y nitratos	 Abastecimiento de agua superficial para consumo humano. No se tienen en cuenta aguas subterráneas
Regulación	Regulación climática	Regional y local	Precipitación anual	
			Evapotranspiración	
	Regulación hídrica y depuración del agua	Regulación hídrica	Balance hídrico	
			Depuración del agua	Sedimentos
		Nitratos		Evolución de la concentración de nitratos en las aguas de los ríos
	Amortiguación de perturbaciones		Caudal	 Con referencia a las Áreas de riesgo Potencial Significativo de inundación (ARPSIs) declaradas en la Demarcación para el segundo ciclo de Planificación Hidrológica (2015 – 2021)
		Superficie de suelo artificializada	Ref. Objetivo 2 – Estado y evolución del uso del suelo	

Resultado 4

Cabe destacar que, para el estudio de los servicios culturales, debido a la complejidad de obtener una evaluación objetiva, utilizamos todos los varios indicadores de SWAT, para obtener así una estima indirecta de la calidad ambiental del entorno en el que se sitúa el servicio. En la Tabla 2 aparecen solo algunos de los SEC encontrados, que utilizamos como ejemplo para mostrar la metodología propuesta. De tal manera hemos georreferenciado tales servicios para incorporarlos al mapa de la cuenca (Figura 10).

Con toda la información disponible se ha construido un mapa de la variación temporal, con referencia al año 2050, para cada uno de los indicadores utilizados (Figuras 11, 12, 13, 14 y 15). En el mapa aparece la simbología ilustrada en la tabla 1 para los SE. Se muestran los resultados obtenidos para los treinta años futuros, bajo los dos diferentes escenarios de cambio climático propuestos, es decir RCP 4.5 y RCP 8.5.

**TABLA 2.** Servicios Ecosistémicos Culturales utilizados para la evaluación del estado pasado y futuro de los mismos. Se aporta un solo ejemplo para cada categoría, con la simbología y las coordenadas correspondientes.

TIPO	SUBTIPO	CATEGORIA	EJEMPLO Y COORDENADAS
Culturales	Conocimiento ecológico local	Instalaciones de uso público	 Molino de Agua de Benamahoma Lat.: 36.768494 Long.: -5.463609
	Identidad cultural/sentido de pertenencia	Fiestas etnográficas relacionadas con el agua	 Festividad Virgen del Carmen, Monumento al Marinero Lat.: 36.596747 Long.: -6.224509
	Paisaje y disfrute estético	Senderos verdes asociados al curso fluvial	 Junta de Los Ríos Lat.: 36.950521 Long.: -5.475746   Sendero Majaceite Lat.: 36.766821 Long.: -5.469928
		Paisajes sobresalientes	 Yacimiento arqueológico de la Corta Lat.: 36.653862 Long.: -6.104856

Resultado 4

		Espacios Naturales protegidos	 Paraje Natural Cola del Embalse de Arcos Lat.: 36.769982 Long.: -5.771135   Paraje Natural Cola del Embalse de Bornos Lat.: 36.837771 Long.: -5.680011
	Actividades recreativas y ecoturismo	Lugares de pesca deportiva	 Embalse de los Hurones Lat.: 36.690393 Long.: -5.534275   Embalse de Guadalcañín Lat.: 36.655336 Long.: -5.734862
		Clubes náuticos e infraestructuras	 Club Náutico Lago de Arcos Lat.: 36.765108 Long.: -5.783912   Club Náutico del Puerto de Santa María Lat.: 36.589883 Long.: -6.230958
		Piragüismo	 Piragüismo Embalse de Zahara- El Gator Lat.: 36.844169 Long.: -5.370455
		Restaurantes	 Restaurante Aponiente Lat.: 36.603468 Long.: -6.216496
		Playas fluviales	 Área Recreativa Arroyomolinos "La Playita" Lat.: 36.816147 Long.: -5.374899

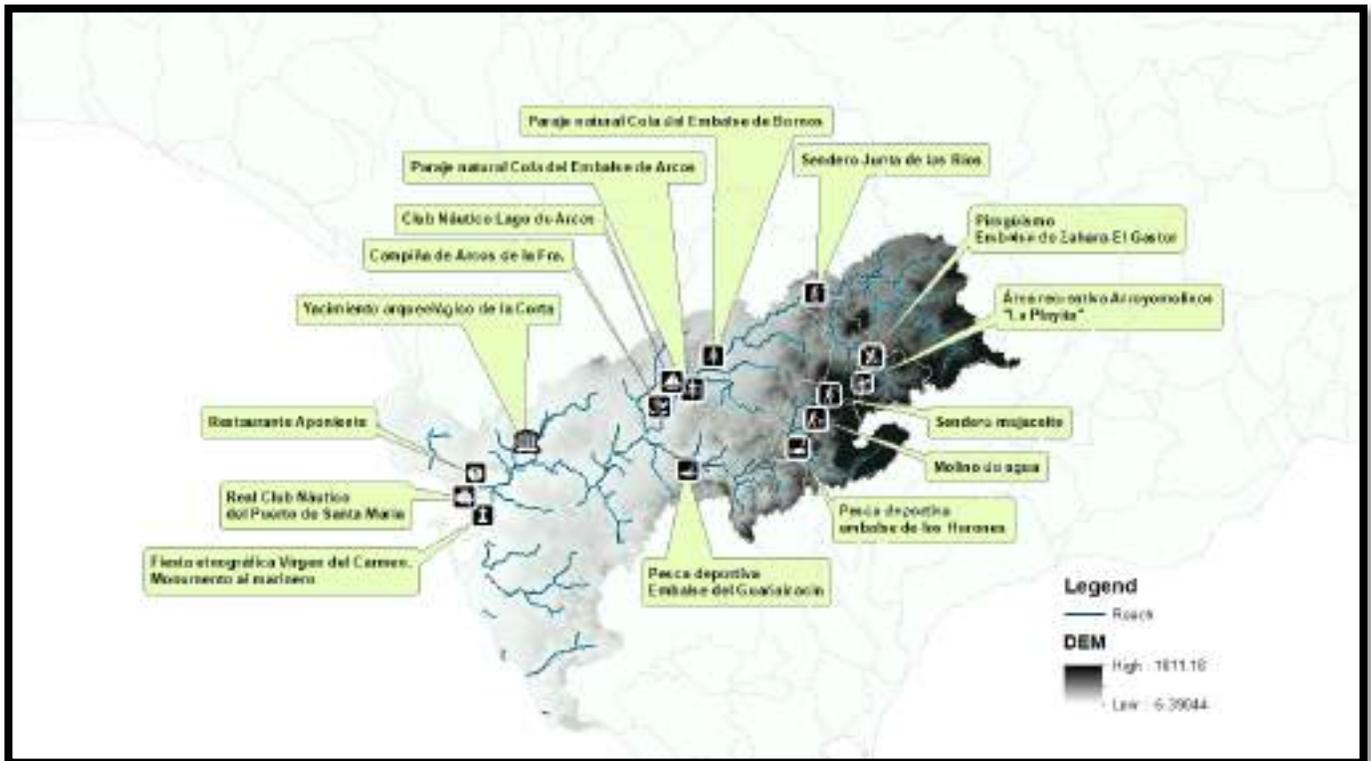
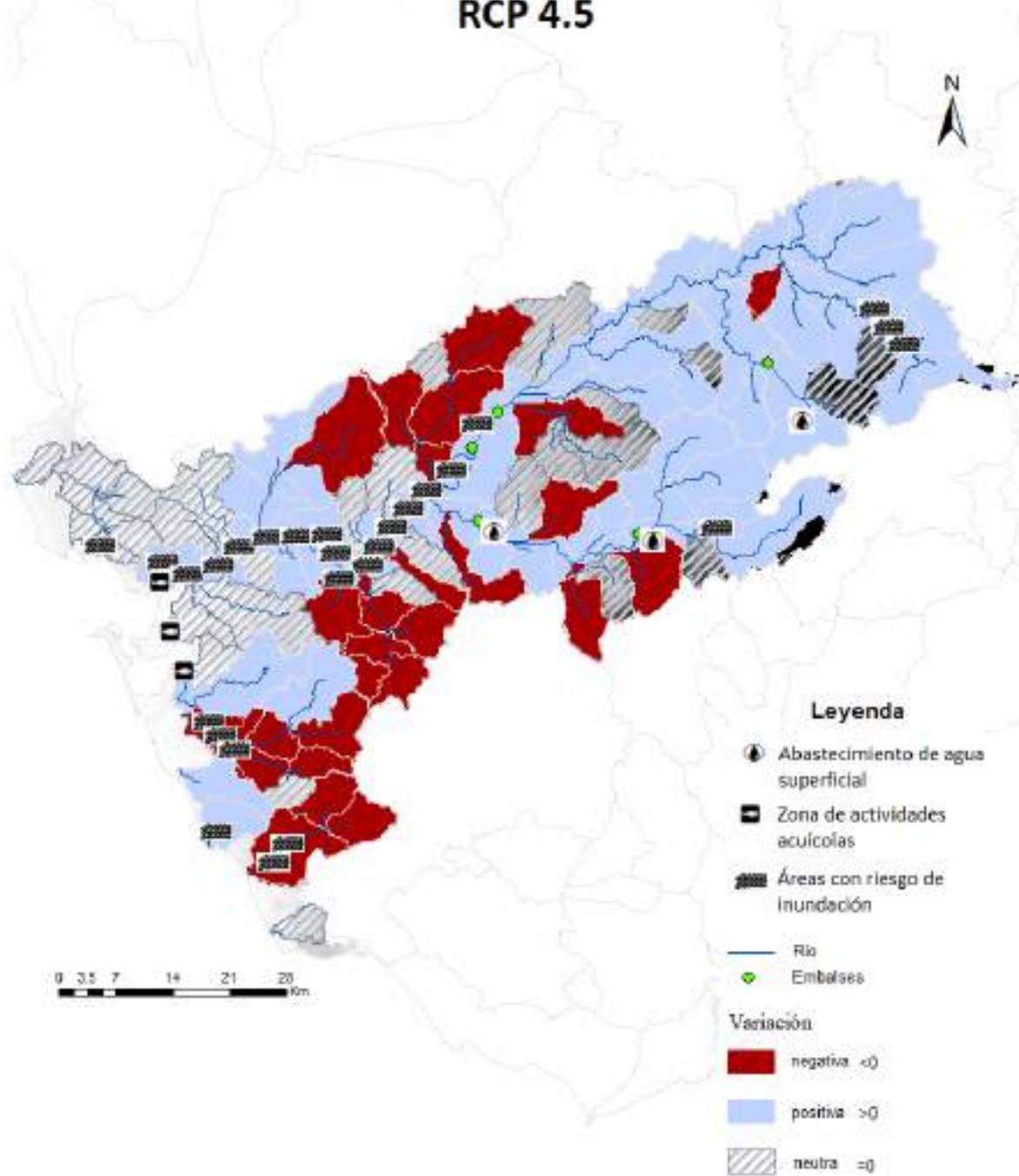


FIGURA 10. Georreferenciación de los Servicios Ecosistémicos Culturales en la cuenca del Guadalete.

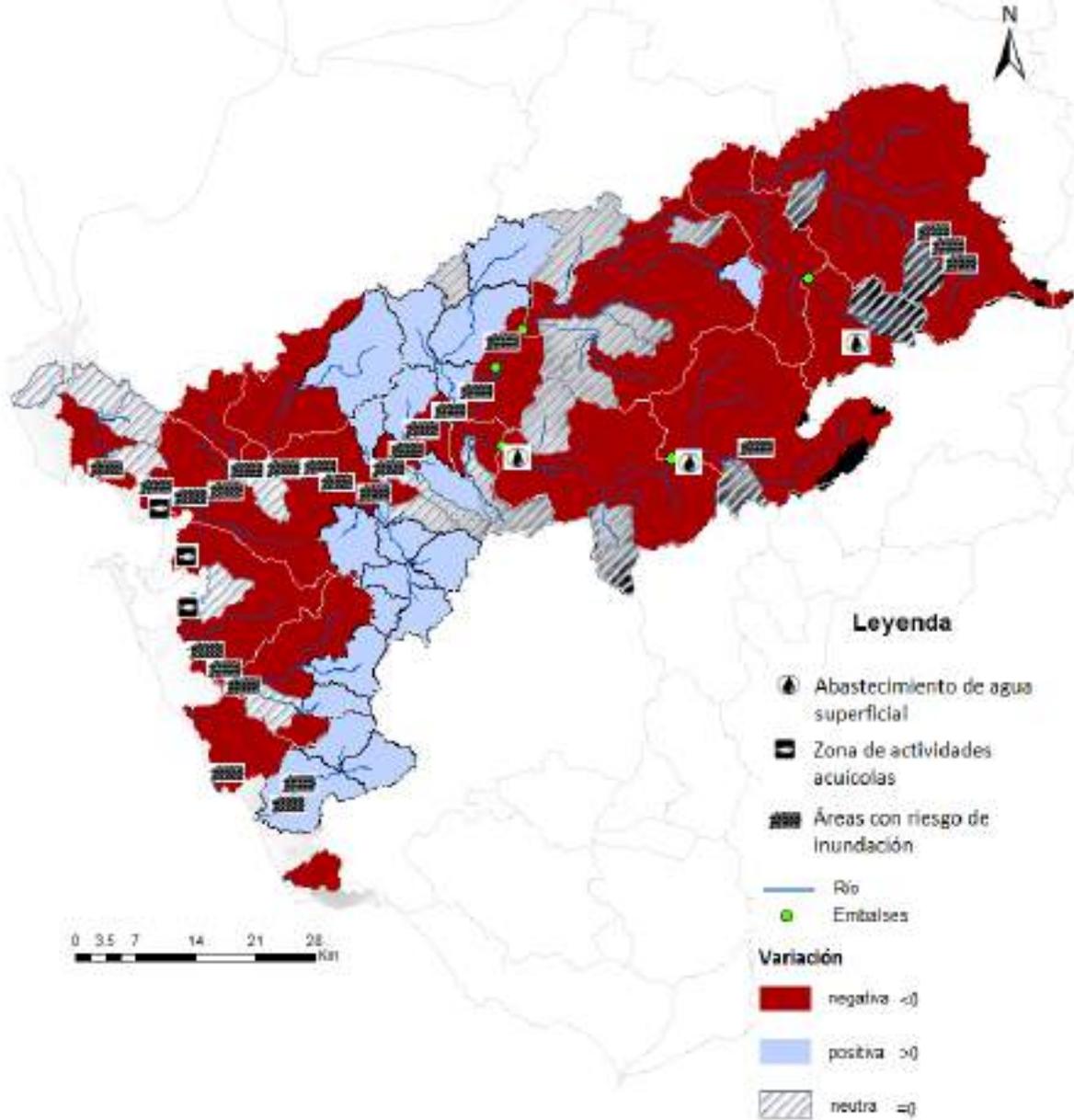
a

### Variación Caudal 1979-2014/2050 RCP 4.5



**b**

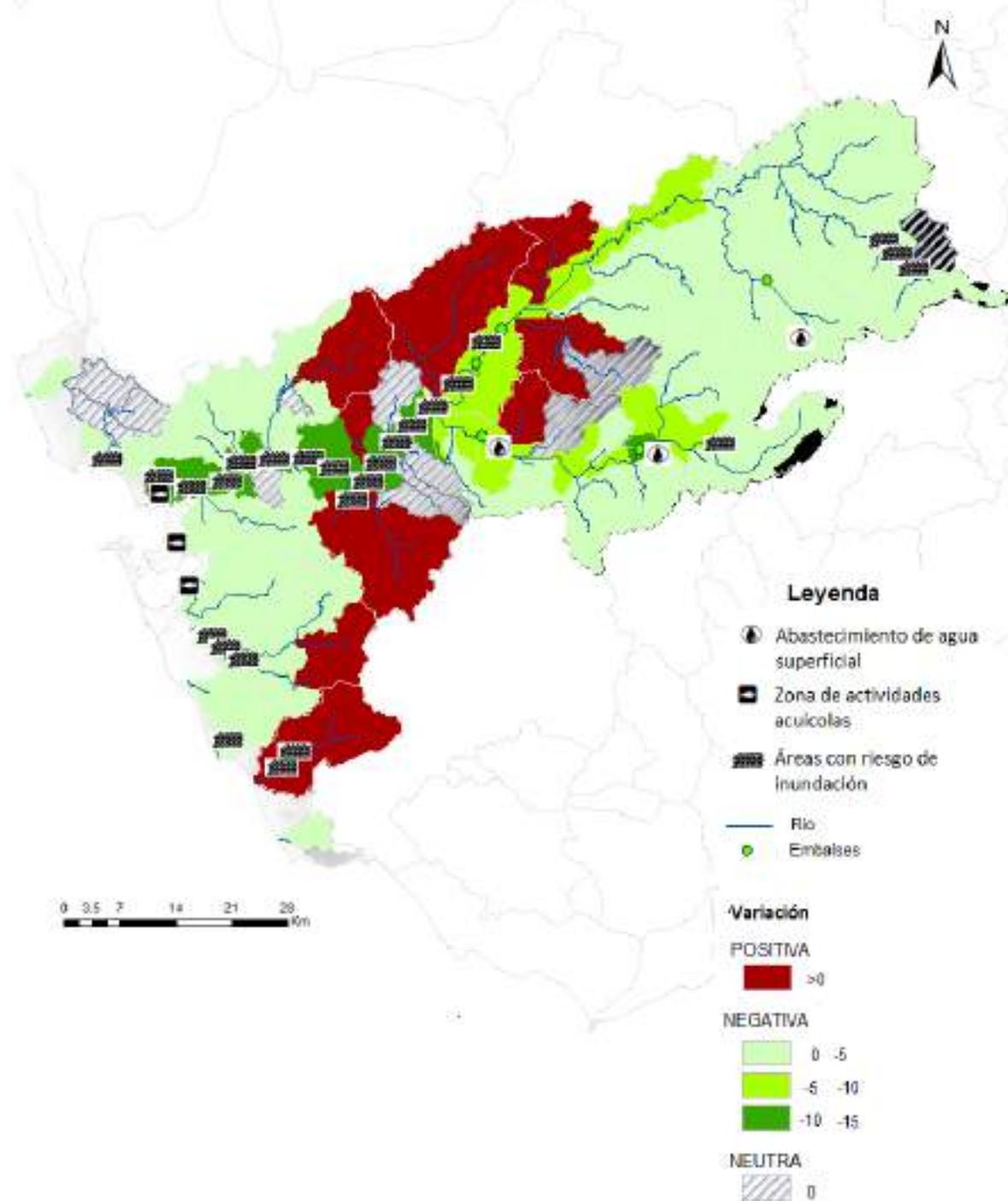
### Variación Caudal 1979-2014/2050 RCP 8.5

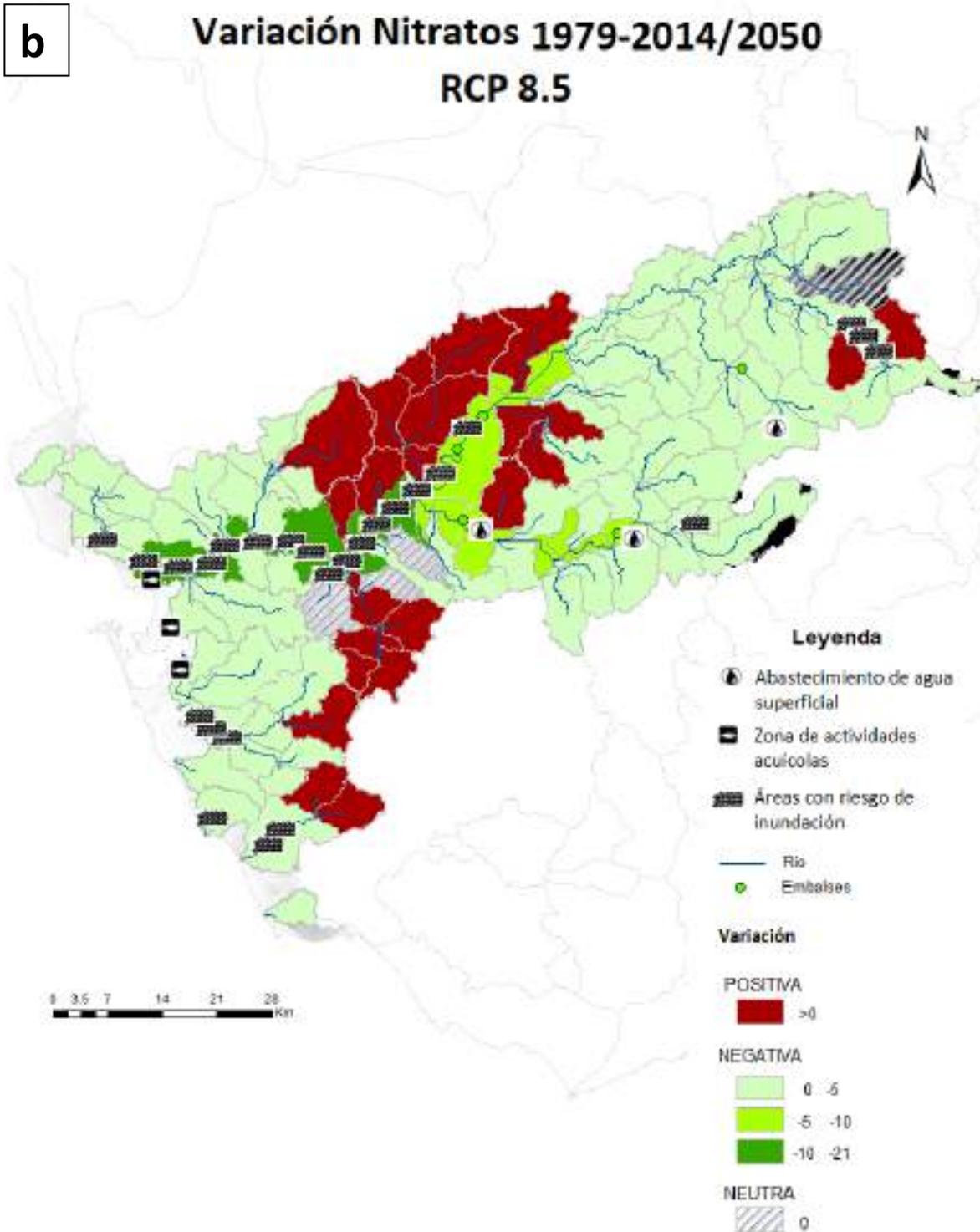


**FIGURA 11.** Mapa de la variación temporal del caudal, con referencia al año 2050, para el escenario RCP 4.5 (a) y el escenario RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución.

a

## Variación Nitratos 1979-2014/2050 RCP 4.5

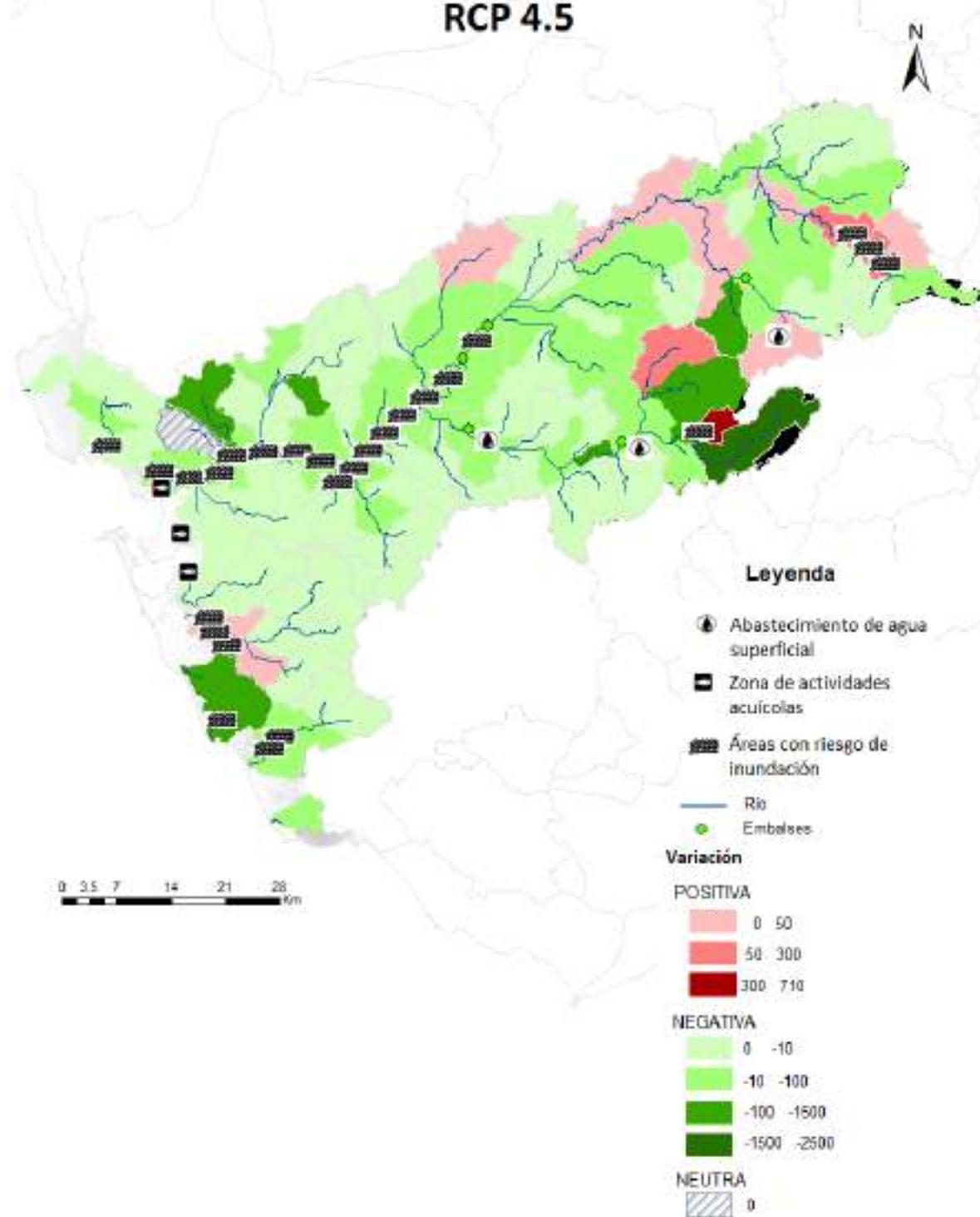


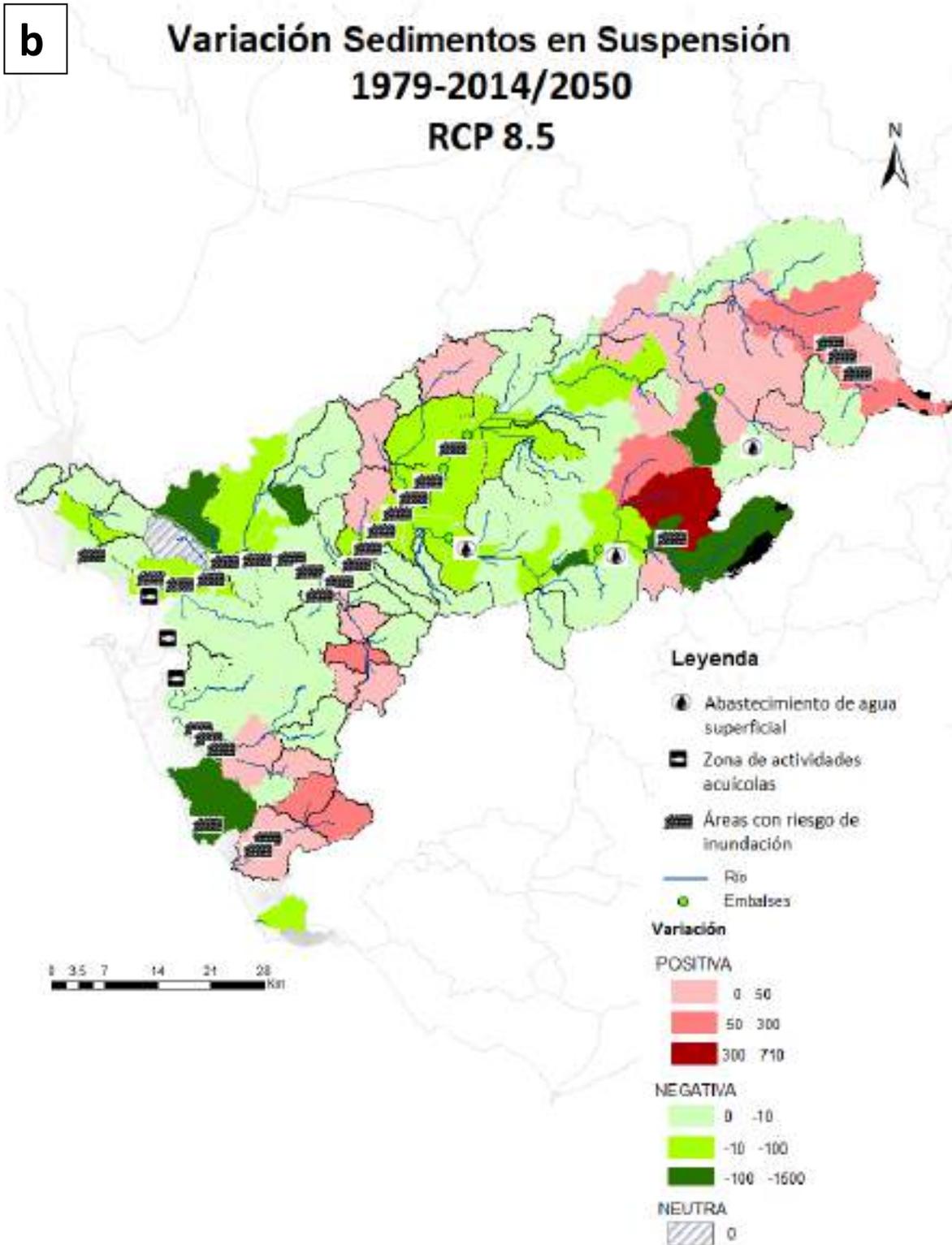


**FIGURA 12.** Mapa de la variación temporal de la concentración de nitratos, con referencia al año 2050, para el escenario RCP 4.5 (a) y el escenario RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución.

a

## Variación Sedimentos en Suspensión 1979-2014/2050 RCP 4.5

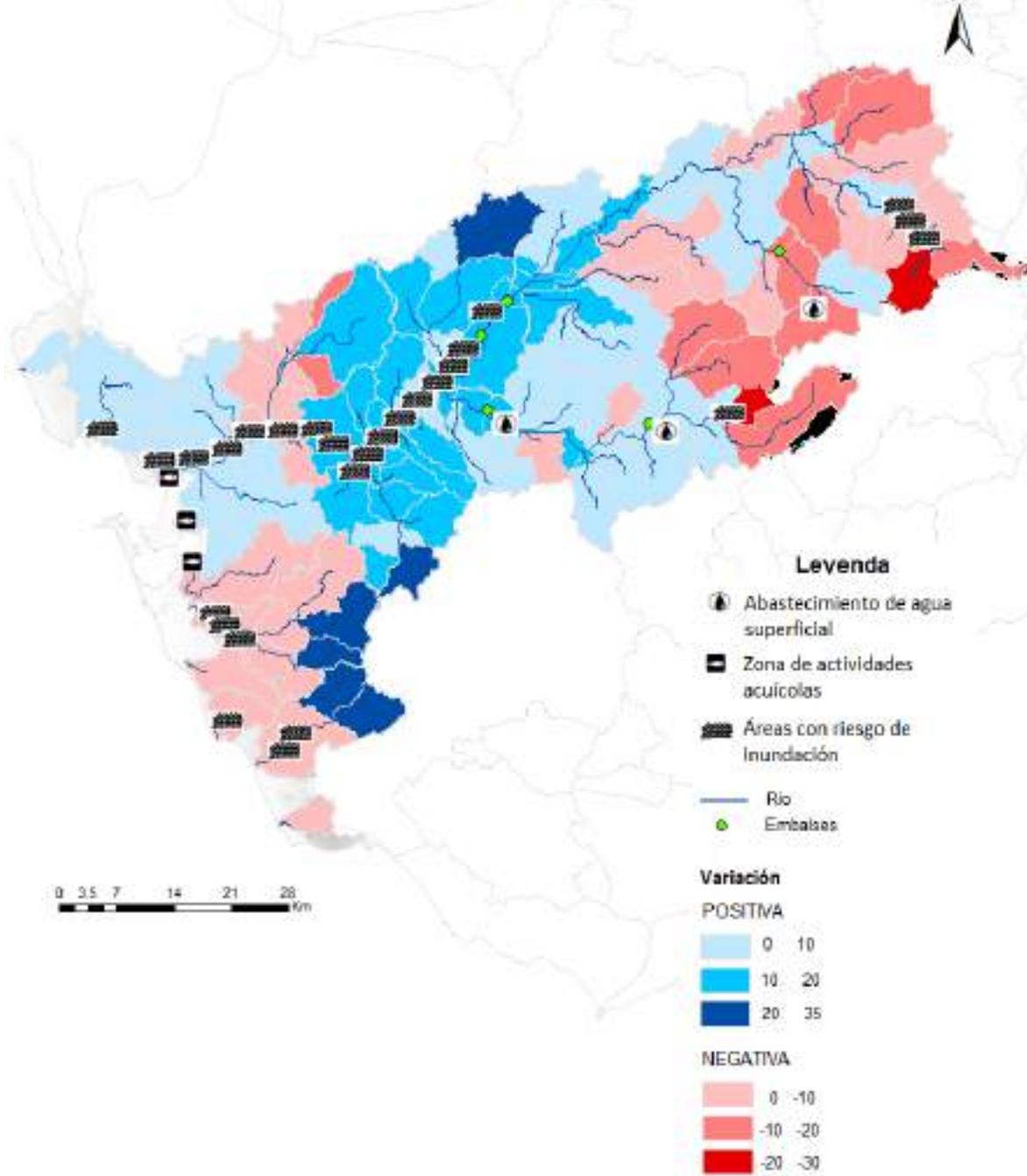


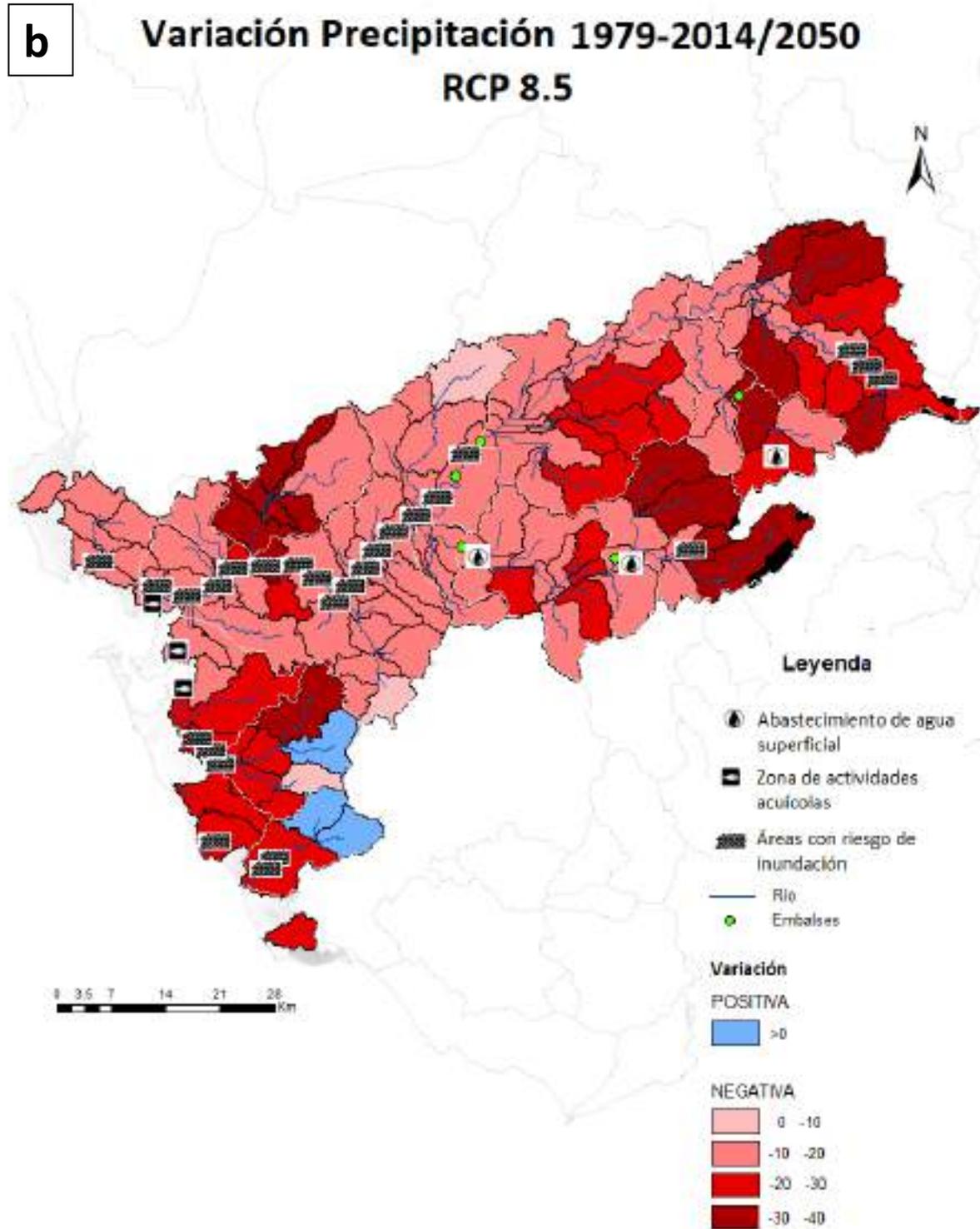


**FIGURA 13.** Mapa de la variación temporal de la concentración sedimentos en suspensión, con referencia al año 2050, para el escenario RCP 4.5 (a) y el escenario RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución.

a

### Variación Precipitación 1979-2014/2050 RCP 4.5

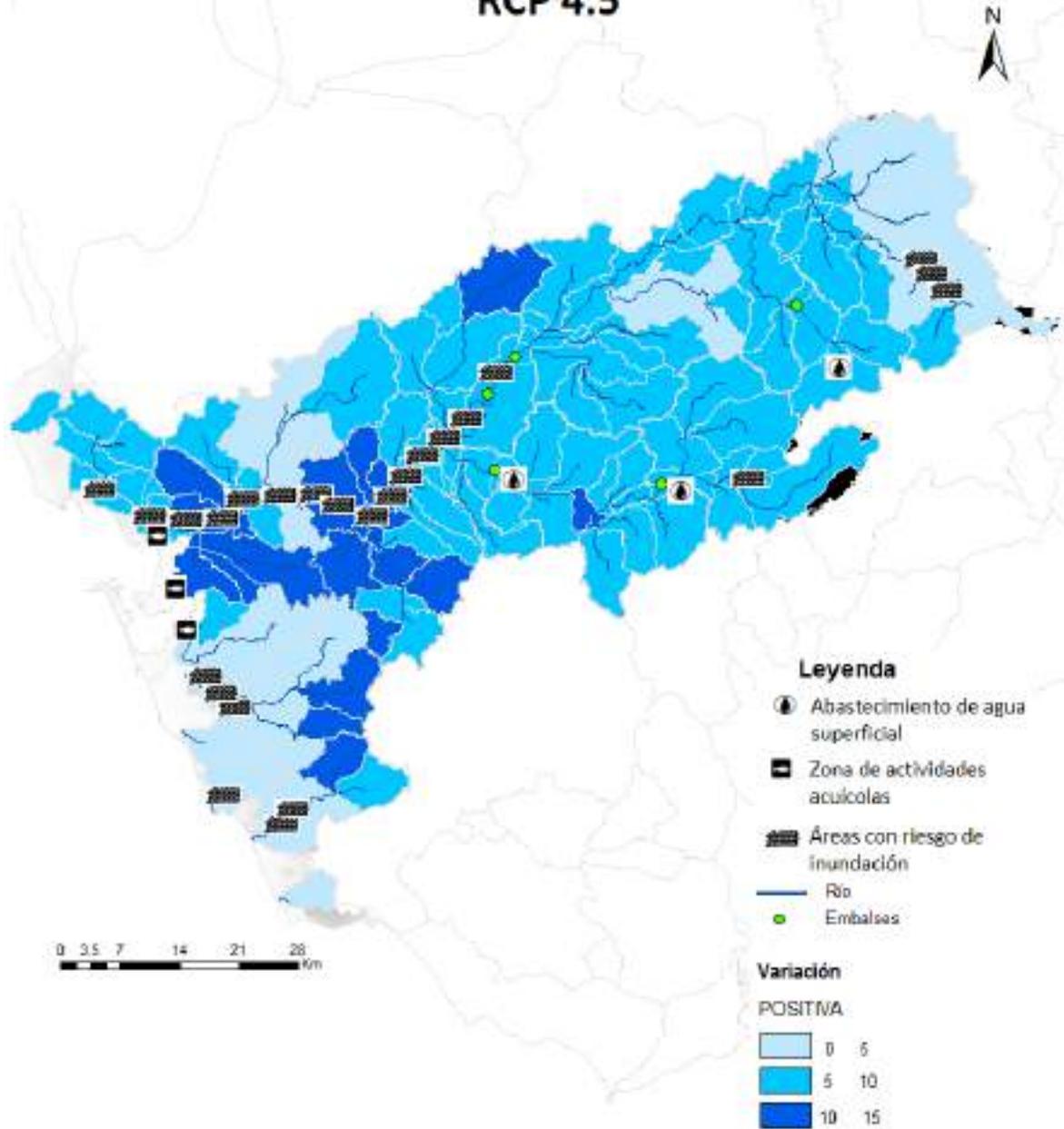


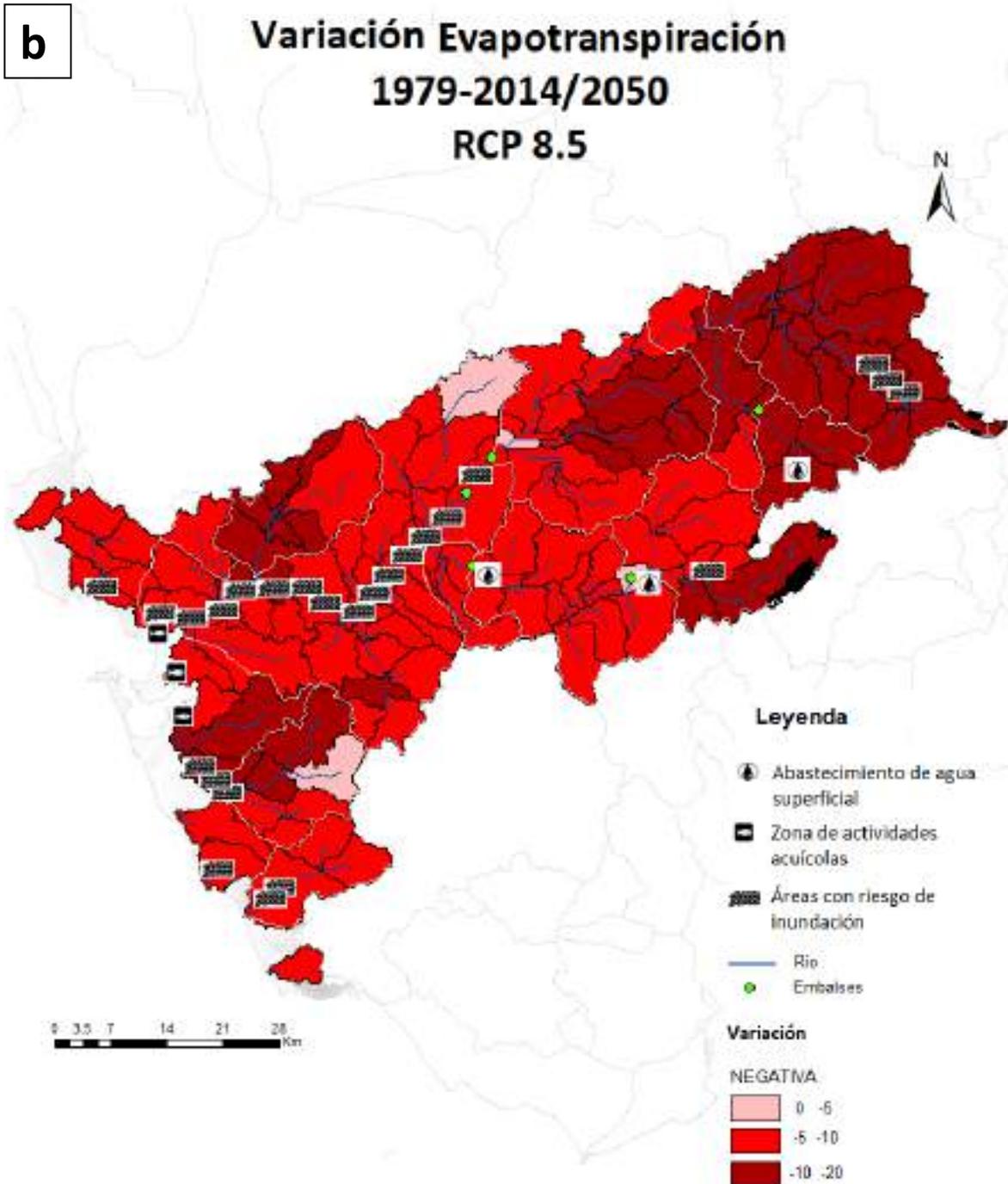


**FIGURA 14.** Mapa de la variación temporal de la precipitación, con referencia al año 2050, para el escenario RCP 4.5 (a) y el escenario RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución.

a

### Variación Evapotranspiración 1979-2014/2050 RCP 4.5

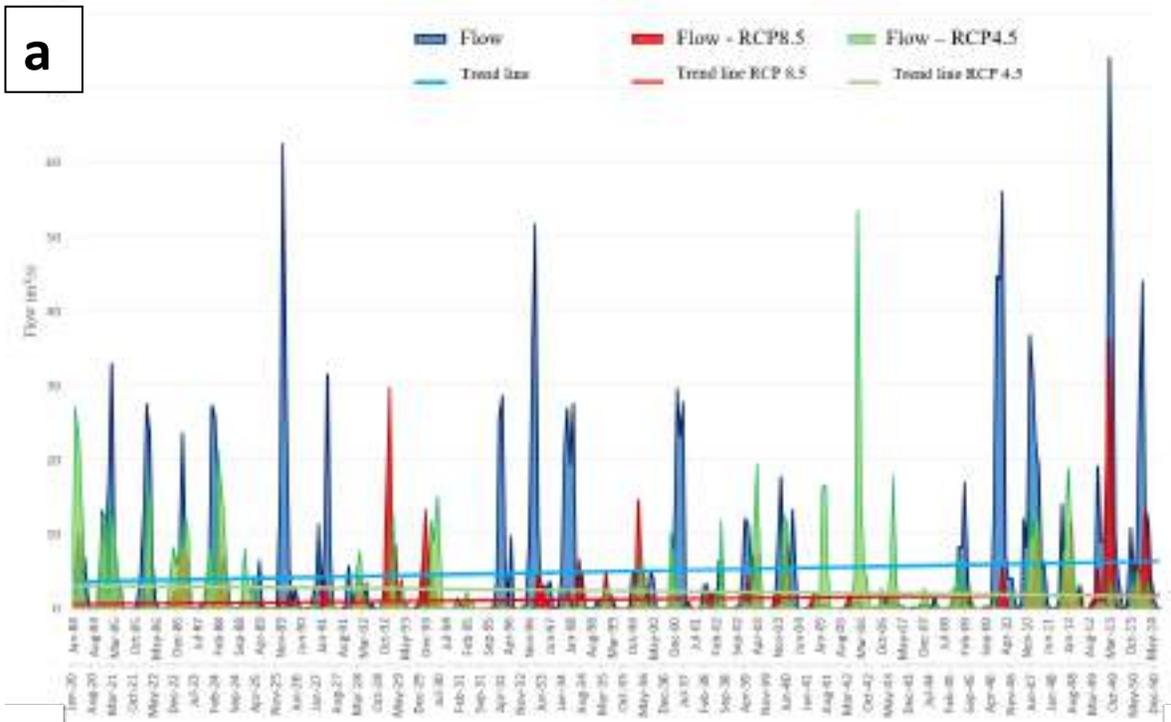




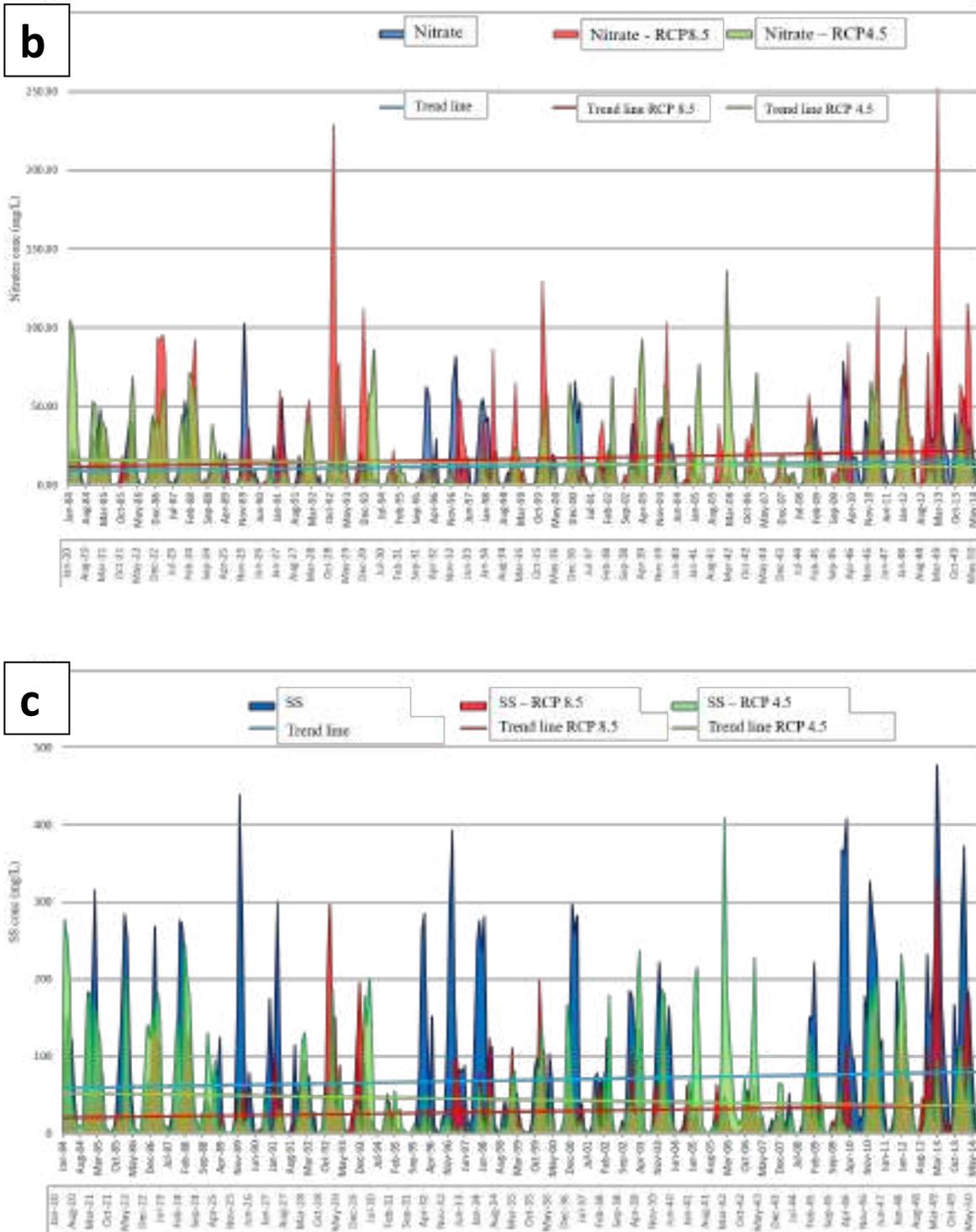
**FIGURA 15.** Mapa de la variación temporal de la evapotranspiración, con referencia al año 2050, para el escenario RCP 4.5 (a) y el escenario RCP 8.5 (b). Valores positivos indican un aumento con respecto a los años pasados de referencia y valores negativos una disminución.

Resultado 4

Otra forma de mostrar los resultados obtenidos es a través de una serie temporal. De tal manera será posible observar la variación mensual, a lo largo de los treinta años pasados y futuros considerados, del parámetro estudiado. Las series temporales tienen que ser específicas para cada subcuenca. Por esta razón, debido a la gran cantidad de subcuencas, presentamos estos resultados relativos a la zona de la desembocadura del río Guadalete (Figuras 16). En los gráficos aparece en comparación el periodo pasado de referencia y los años futuros simulados para los dos escenarios de cambio climático y la respectiva línea de tendencia.



Resultado 4



**FIGURA 16.** Variación temporal mensual junto con su línea de tendencia, comparando el periodo pasado de referencia con el futuro tanto para el RCP 4.5 y RCP 8.5. A – Variaciones en el caudal. B – Variaciones en los nitratos. C – Variaciones en los sólidos en suspensión. Todo ello representado para la subcuenca situada en la desembocadura.

*Resultado 4*

A partir de esta zona, donde las aguas del río se encuentran con el océano, abandonamos la parte continental de la cuenca del Guadalete para centrarnos en la parte costera. Aquí, entrarán en juego los otros dos modelos, UCA2D y SCILA (el hidrodinámico y el de transporte y difusión, respectivamente), con los que será posible localizar las zonas costeras de mayor riesgo a partir de la desembocadura del río. En primer lugar, se presenta la caracterización hidrodinámica de la desembocadura y de las aguas costeras que la rodean en función de las distintas fases de marea y de viento, resultados del modelo UCA2D (figura 17 y figura 18). En segundo lugar, presentamos los resultados de simulaciones lagrangianas para poder estudiar el comportamiento y la evolución de la pluma y las posibles partículas que ésta misma pueda transportar desde el río a las aguas costeras. También en este caso se presentan los resultados para distintas fases mareales y bajo tres situaciones de viento: ausencia de viento, viento persistente de levante, viento persistente de poniente. Mostramos los resultados tanto para el periodo pasado de referencia (figura 19) como para el periodo futuro bajo los dos diferentes escenarios de cambio climático propuestos en el proyecto (RCP 4.5 -figura 20- y RCP 8.5 -figura 21-), para cada una de la situación descrita.

Resultado 4

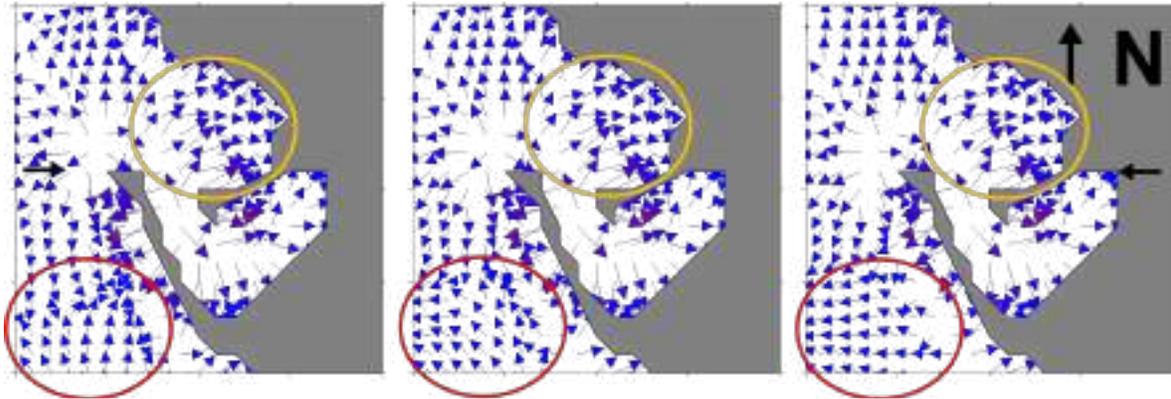


FIGURA 17. Caracterización hidrodinámica de la Bahía para vientos de poniente persistentes (izquierda), calma (centro), levante (derecha).

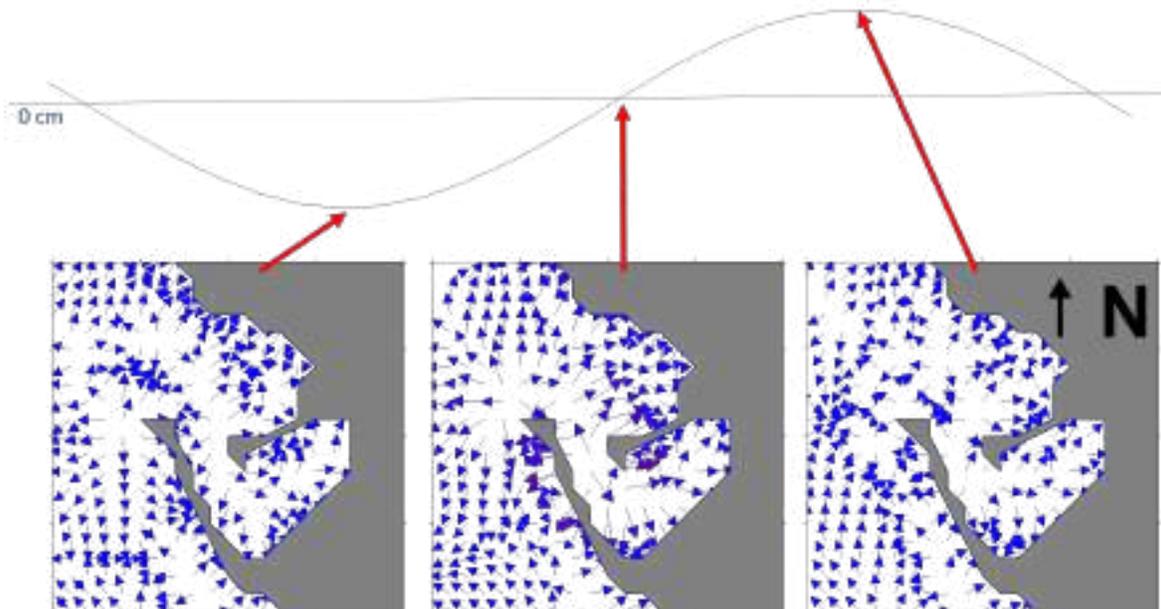
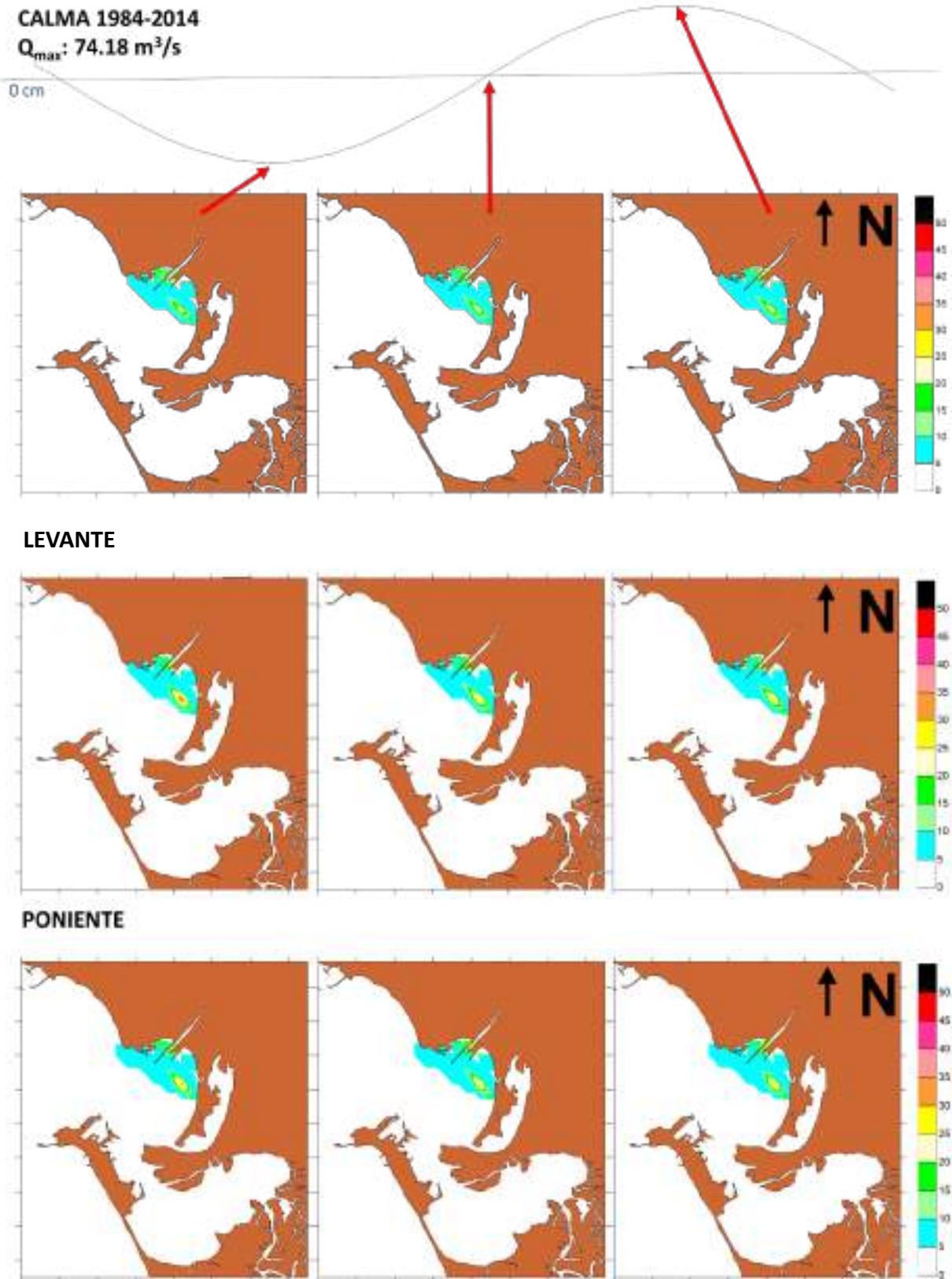


FIGURA 18: Caracterización hidrodinámica de la Bahía para bajamar (izquierda), repara (centro), pleamar (derecha).

Resultado 4



**FIGURA 19.** Porcentajes de acumulación para sustancias en la zona costera debido a la descarga del río para condiciones sin viento para el periodo de estudio control.

Resultado 4

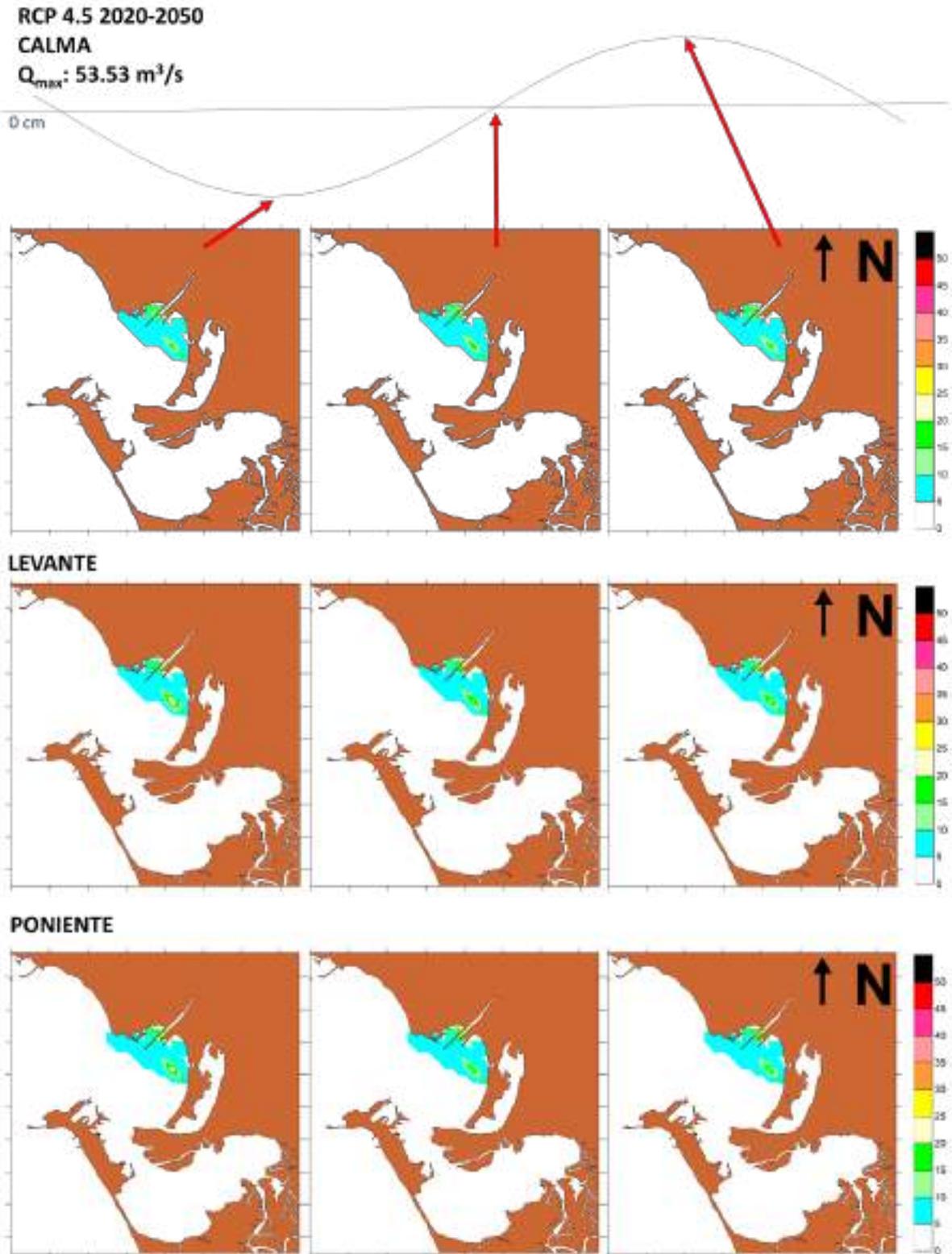


FIGURA 20. Porcentajes de acumulación para sustancias en la zona costera debido a la descarga del río para condiciones sin viento para el RCP4.5.

Resultado 4

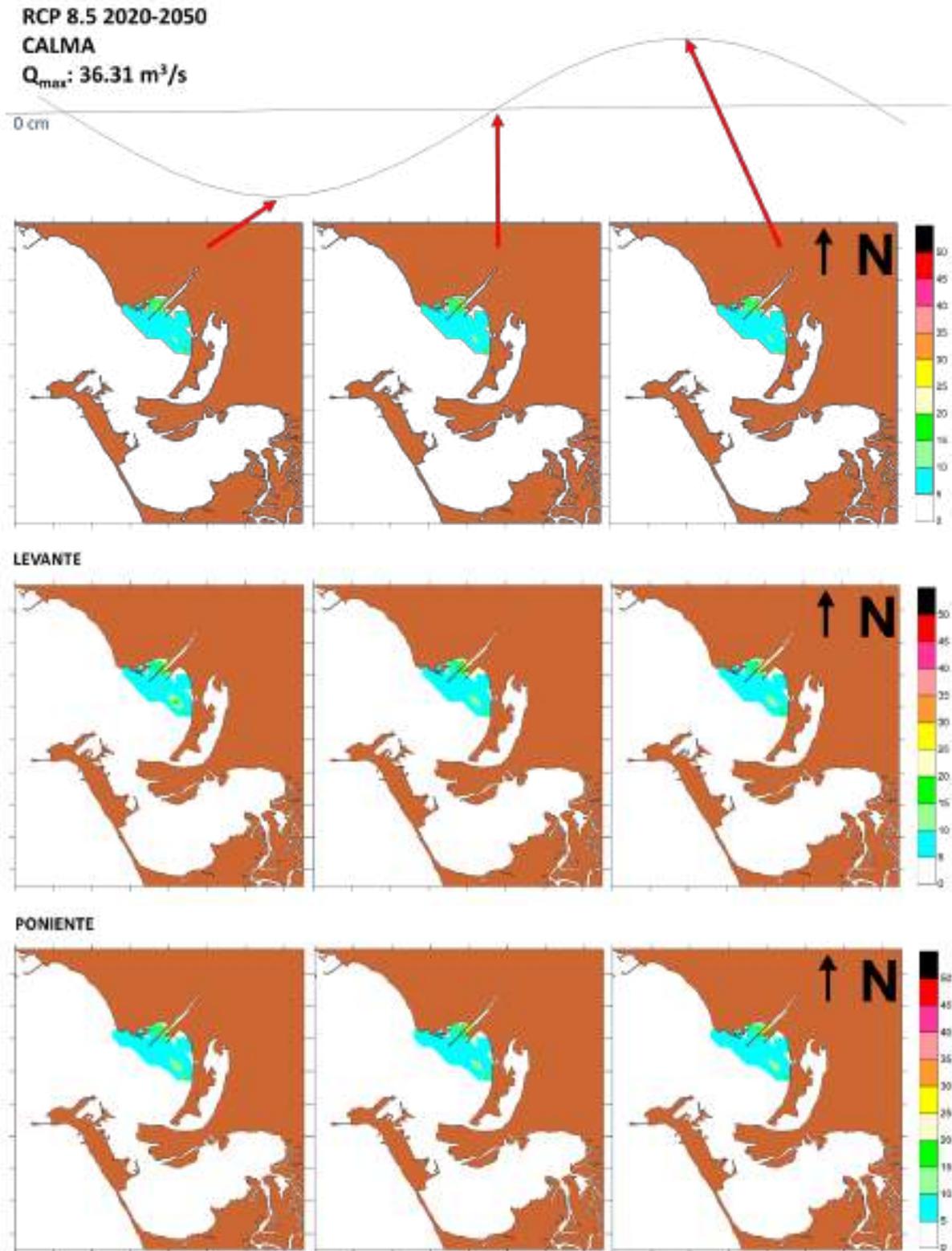


FIGURA 21. Porcentajes de acumulación para sustancias en la zona costera debido a la descarga del río para condiciones sin viento para el RCP8.5.

## 4. Bibliografía

Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, et al. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol*, 524, 733–752.

Cruzado A., Velasquez Z., Perez M.C., Bahamon N., Grimaldo N.S., Ridolfi F.; 2002. Nutrient fluxes from the Ebro River and subsequent across-shelf dispersion. *Cont. Shelf Res.* 22 (2), 349–360.

Dunn S.M., Brown I., Sample J., Post H.; 2012. Relationships between climate, water resources, land use and diffuse pollution and the significance of uncertainty in climate change. *J. Hydrol.* 434-435, 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.039>.

Francesconi W., Srinivasan R., Pérez-Miñana E., Willcock S.P., Quintero M.; 2016. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review. *Journal of Hydrology*, 535, 625-636.

Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A., Budengen B.V.; 1997. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature* 336 (6623), 385–388.

Kim J., Choi J., Choi C., Park S.; 2013. Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Sci. Total Environ.* 452-453, 181–195. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.005>.

Latinopolus D., Dimitriou A., Kagalou I.; 2020. Modelling water related ecosystem services in a heavily modified Mediterranean reservoir using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Environ. Sci. Proc.* 2, 2.

Qi S., Sun G., Wang Y., McNulty S.G, Moore Myer J.A.; 2009. Streamflow response to climate and land use changes in a coastal watershed in North Carolina. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 52 (3), 739–749.

Rabalais N.N., Wiseman Jr. W.J., Turner R.E., Justic D., Sen-Gupta B.K., Dortch Q.; 1996. Nutrient exchanges in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 19 (2B), 396–407.

Sierra J.P., Sanchez-Arcilla A., Del Río J., Gonzalez Flos J., Movellan E., Mosso C., Martinez R., Rodilla M., Falco S., Romero I.; 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Cont. Shelf Res.* 22 (2), 361–378.

Zhang J., Yu Z.G., Raabe T., Liu S.M., Starke A., Zou L., Gao H.W., Brockmann U.; 2004. Dynamics of inorganic nutrient species in the Bohai seawaters. *J. Mar. Syst.* 44 (3–4), 189–212.