



IMPLICACIONES AMBIENTALES Y AGRONÓMICAS DE LA SALINIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y FREÁTICAS DE LA ZONA ARROCERA DE LA ALBUFERA DE VALENCIA

Moreno-Ramón, H. (1), Ibáñez-Asensio, S (1), Gisbert Blanquer, J.M.(1)

¹ Investigador, Centro Valenciano de Estudios del Riego (CVER), Camino de Vera s/n (Valencia) CP: 46022, sibanez@prv.upv.es

Resumen

La Albufera de Valencia es un humedal costero cuyo mantenimiento ecológico se encuentra fuertemente condicionado por la gestión del complejo sistema de regadío asociado al cultivo del arroz. Uno de los principales problemas a los que se ha enfrentado el Parque en las últimas décadas es precisamente la calidad del agua y sus implicaciones en la salinidad del suelo, y aunque la zona en su conjunto ha sido objeto de múltiples estudios de momento no se ha realizado un análisis exhaustivo de la influencia de la salinidad de las aguas freáticas y superficiales sobre la calidad del suelo y sus posibles repercusiones en el cultivo. El presente trabajo de investigación pretende caracterizar y evaluar las aguas y los suelos desde el punto de vista espacial y temporal con respecto a la salinidad. Para ello se ha establecido una red de muestreo de aguas y suelos con 133 piezómetros y 54 acequias, disponiéndose de datos mensuales de agua de los últimos 5 años (2010-2015). Como principal resultado se destaca una elevada presencia de sales en las aguas freáticas de la albufera que afecta a la salinidad del suelo. El control de la calidad y altura de las láminas de agua es clave para evitar una degradación del entorno.

Abstract

The Albufera of Valencia is a coastal wetland which presents problems in terms of water quality and salinization processes. In order to characterize this environment, 133 pits were established for sampling water and soil, and 54 channels were established for sampling water. During five years, these locations have been sampled to characterize and evaluate soil and water resources against salinity. The results showed a salinization process in soil and the influence of water table in the park.

1- Introducción

La Albufera de Valencia es un humedal con una dualidad de facetas: la ambiental y la agrícola. En un único espacio, donde se combinan el elevado interés económico, paisajístico y cultural, encontramos 4 ambientes claramente diferenciados: el lago central, el marjal con arroz como cultivo principal (otros cultivos hortícolas ocupan las áreas de mayor cota de manera marginal), las zonas de matas con vegetación natural, y la restinga arenosa ocupada, secuencialmente hacia el mar, por una franja de bosque mediterráneo, las malladas, las dunas y la playa.

Es Parque Natural desde 1986, y “Humedal de importancia Internacional” según la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR) por su relevancia como hábitat de aves acuáticas. Además, como “Zona de especial protección de las Aves” (ZEPA), forma parte de la Red Natura 2000 desde 1990 y en 2001 fue seleccionada como “Lugar de Importancia Comunitaria” (LIC). Junto a esta vertiente ambiental, el Parque es a su vez una de las mayores zonas arroceras de España. El cultivo se instauró en la zona a principios del siglo XII, y la superficie arroceras ha ido aumentando desde entonces en detrimento del vaso lagunar de carácter regresivo. Actualmente se cultiva arroz en las 15.500 ha de marjal, donde los cultivares de *Oryza sativa* disfrutaban de unas condiciones idóneas para desarrollar su ciclo vegetativo. El flujo continuo de agua necesario es aportado por los ríos Túrria y Júcar, y por las dotaciones de agua residual procedentes de diversas plantas depuradoras mediante una extensa red de acequias.

El agua es el recurso más importante del sistema, y de su calidad depende tanto el estado general del Parque como la producción arroceras siendo por tanto uno de los recursos más estudiados desde los años 70. El grado de eutrofización del lago y diversos estudios puntuales asociaron la degradación del ecosistema a la calidad del recurso, poniéndose en marcha múltiples actuaciones: Desde la instalación de plantas depuradoras que mejoraran la calidad de las aguas hasta la reciente construcción de 3 humedales artificiales en las proximidades del lago (Tancat de Pipa, Milia y L'Illa), todo ello con el objetivo de reducir la carga de nutrientes y evitar así el proceso de eutrofización.

Ante las perspectivas de futuro, que prevén una escasez aún mayor y un empeoramiento en la calidad de las aguas de entrada, y la falta de un estudio integral de los recursos suelo y agua surge el presente trabajo de investigación, que pretende establecer las implicaciones de la variación espacio-temporal de la salinidad de las aguas superficiales (acequias y parcelas de arrozal) y subterráneas (sondeos) sobre la salinización del suelo, así como definir las pautas para su control.

2- Materiales y Métodos

La Albufera de Valencia es un humedal localizado 15 km al sur de la ciudad de Valencia (Figura 1) entre los paralelos 39° 19' y 39° 22' de latitud Norte y los meridianos 3° 18' y 3° 22' de longitud Oeste. Ubicada en el interfluvio que conforman los ríos Turia al norte y Júcar al sur, su cuenca hidrográfica queda definida por las estribaciones de las cordilleras Ibérica al norte y Subbética al sur. Geológicamente se caracteriza por ser una zona deprimida sedimentaria encuadrada en la depresión litoral del golfo de Valencia. Los materiales que la cubren son limos pardos arenosos, grises y negros del Cuaternario además de arcillas y arenas. Sus características vienen claramente influenciadas por su origen (marino o fluvial), siendo las zonas altas de la cuenca de aporte de marcada naturaleza calcárea. Topográficamente, exceptuando la *Montañeta dels Sants* (200 m), la

mayoría del área se encuentra a una cota inferior a 4 m (Figura 1), con un valor mínimo de 3.72 metros bajo el nivel del mar.

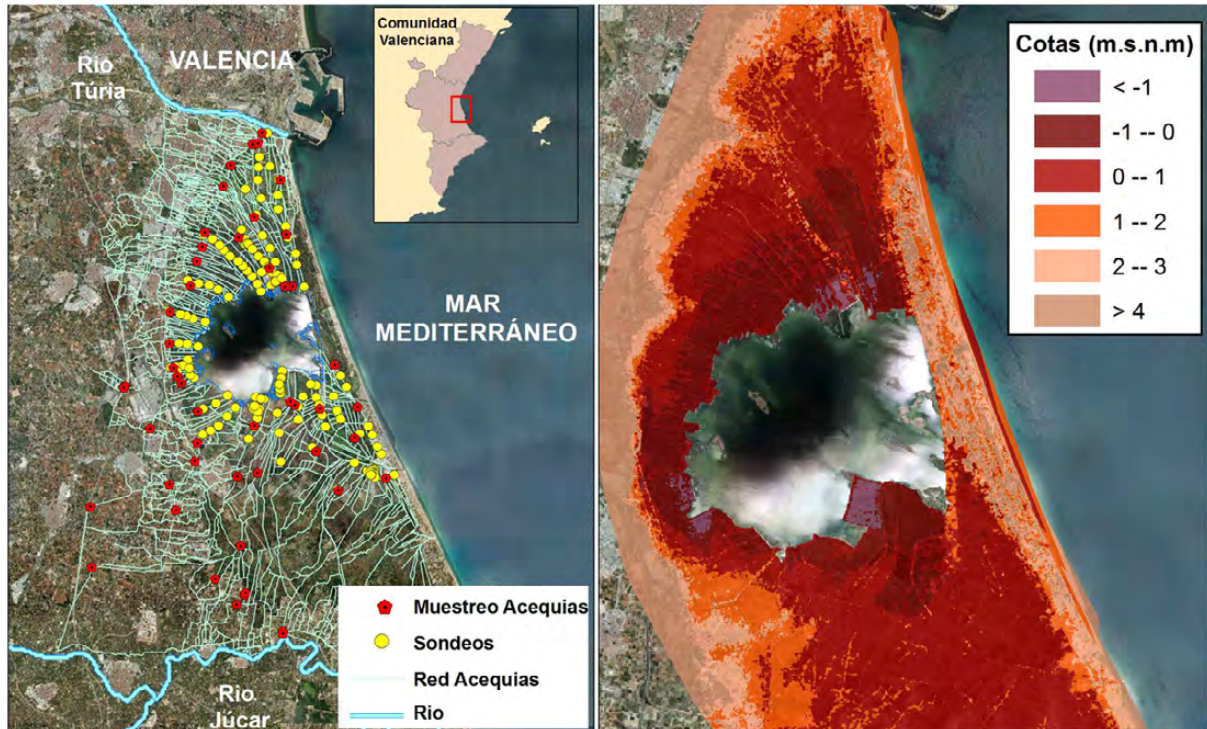


Figura 1: Red de control y muestreo, y mapa de elevación del terreno

La existencia de cotas por debajo del nivel de mar es consecuencia de la construcción durante los inicios del siglo XX de los denominados *tancats*. El *Tancat*, es una unidad hidrológicamente cerrada y completamente independiente compuesta por una sucesión de parcelas de arroz por donde el agua circula de manera continua desde el campo de mayor cota hacia un punto final situado originariamente en el mismo lago central, y por lo tanto a cota inferior al nivel de la lámina del lago (Figura 2). Este punto queda aislado del lago por medio de una mota perimetral que define sus límites. El agua circula de parcela en parcela por gravedad, acumulándose al final del *tancat*, donde se extrae con una bomba y se vierte al lago o a una acequia próxima.

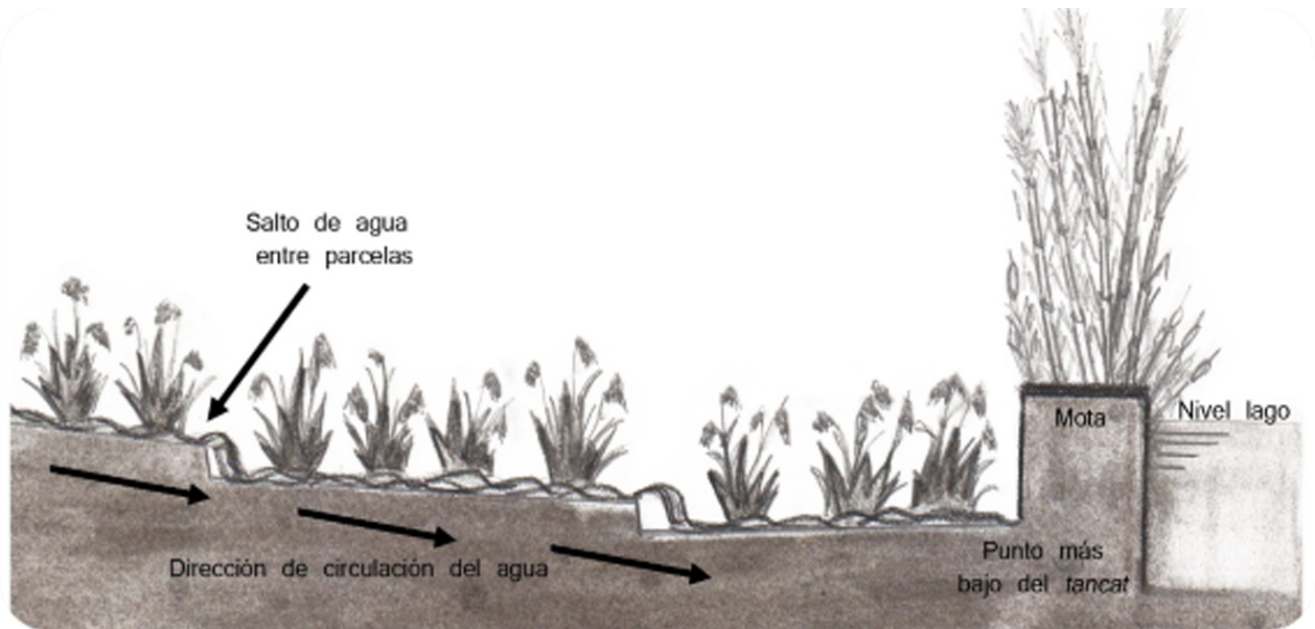


Figura 2: Esquema y funcionamiento hidrológico de un *Tanca*

El régimen hídrico de todo el Parque Natural está fuertemente influenciado por el regadío. Desde su introducción en el siglo IX, con la construcción del sistema de acequias del Turia por el Norte y su posterior modificación por el Sur en el siglo XIII (con la construcción del primer tramo de la Acequia Real), se ha definido el régimen hídrico del humedal. Con la ampliación de los riegos de la zona sur y la construcción del segundo tramo de la Acequia Real en el siglo XVIII, además de la expansión del cultivo del arroz se triplicó el uso del agua de riego en la zona. De este modo, entre 1577 y 1761, el regadío aparece como el agente de cambio ambiental en el ecosistema (*Sanchis 2007*).

El control del riego se lleva a cabo por medio de tres golos. El cierre de las compuertas instaladas en ellas conlleva un aumento del nivel de las aguas en el lago, y es controlado por la Junta Reguladora en función de las necesidades del cultivo. Habitualmente a principios de enero se abren las compuertas para facilitar el vaciado de las parcelas tras el período de inundación invernal. Una vez los campos están libres de la lámina de agua, se comienzan a preparar para el cultivo, siendo éste el momento de menor cota de agua en el lago. A principios de mayo y para la siembra del arroz se vuelven a inundar los campos cerrando las compuertas, manteniéndose el nivel del agua elevado durante todo el ciclo de la planta. Únicamente en junio y julio se producen *els eixugons* o secados del terreno con el objeto de realizar el abonado y el tratamiento fitosanitario. Posteriormente, en septiembre, las compuertas se vuelven a abrir para poder cosechar el arroz, y una vez recolectado, en noviembre, se cierran de nuevo hasta enero, dando lugar a que el lago alcance los máximos niveles de agua. A este proceso se le conoce como la *Perelloná*, y supone el aumento de la superficie ocupada por el lago la cual vuelve a reducirse con la apertura de nuevo de las compuertas en enero. Todo este movimiento de aguas es posible gracias a los excedentes agrícolas de la comarca de l'Horta Sud en la zona norte, y de la Ribera Baixa del Júcar por el sur, siendo básica por tanto la continuidad del uso agrícola para la subsistencia del humedal.

Para la realización del estudio se instalaron 133 piezómetros distribuidos en 17 transectos radiales al lago y 54 puntos de muestreo en acequias, abarcando un área de 6.500 ha (Figura 1). Los piezómetros, tubos de 2 m de policloruro de vinilo de 50 mm de

diámetro nominal, eran totalmente estancos y presentaban contacto con la matriz del suelo a través de 8 perforaciones de 5 mm de diámetro realizadas en su parte inferior, en la que además se instaló una rejilla para evitar la colmatación de la base del tubo por entrada del suelo en el interior (Figura 3).



Figura 3: Piezómetros

Aprovechando la instalación de los piezómetros en 2010, se tomaron muestras alteradas del perfil del suelo cada 20 centímetros mediante una barrena de tipo helicoidal. La descripción de los parámetros edáficos se realizó en campo conforme a las directrices de la guía para descripción de perfiles de la FAO (FAO 2009). Posteriormente en 2012 y 2014 se volvieron a tomar muestras de suelos siguiendo las pautas recomendadas por *Sparling et al. (2004)* que establecen re-muestras entre 3- 10 años para el seguimiento de las variaciones de las propiedades del suelo.

Las analíticas en los suelos fueron conductividad eléctrica del extracto (CE_e), conductividad 1/5, pH, textura según Bouyoucos, color, materia orgánica, carbonatos, y cationes y aniones principales, además de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), según el USDA (*Soil Survey Staff 2004*)

Por lo que respecta a las aguas, durante 5 años se tomaron muestras mensuales del agua freática (sondeos) y superficial (puntos de sondeo y acequias), determinándose su conductividad eléctrica (CE) y pH. En las muestras más significativas se analizó el contenido de calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, cloruro y sulfatos según la metodología oficial (*APHA et Al. 2005*). Además se registró la altura de la capa freática en el interior de los piezómetros, así como la altura de la lámina libre sobre la superficie del terreno.

Todo los puntos se georreferenciaron mediante el uso de la estación de referencia virtual Leica GPS 1200. Las coordenadas UTM y la cota a nivel centimétrico fueron asignadas a cada punto para su posterior representación cartográfica. Los resultados fueron tratados estadísticamente mediante pruebas no paramétricas con el objetivo de definir la influencia de las diferentes fuentes de riego (ríos, depuradoras, etc.) y observar la evolución espacio temporal de la calidad de las aguas. Además toda la información se plasmó cartográficamente mediante métodos geoestadísticos.

3- Resultados y discusión

Las aguas de las acequias ofrecen en general una buena calidad para el cultivo del arroz. Sus valores de CE además fueron inferiores a 2 dS m^{-1} , el límite estipulado por Soria et al. (2005) para el mantenimiento de las condiciones óptimas del lago en relación a la salinidad. Concretamente la CE media fue de 1.74 dS m^{-1} con un valor máximo de 9.95 y un mínimo de 0.42 dS m^{-1} . El 79.8 % de las muestras presentaron una CE inferior a 2 dS m^{-1} y destaca una correlación positiva estadísticamente significativa entre ésta y la distancia al lago, pues las acequias de cabecera (más alejadas del lago) presentaron menor salinidad. El comportamiento de las acequias fue bastante homogéneo temporalmente, diferenciándose con claridad dos periodos: el estival, donde encontramos valores más elevados en la zona de la restinga (barrera arenosa que lo separa del mar) y en la zona norte; y el de inundación invernal en el que se produjo un descenso generalizado de los valores de la CE (Figura 4). Los registros máximos fueron de carácter puntual, localizándose siempre en las acequias de desagüe de las aguas del lago hacia el mar. Por lo tanto la salinidad en dichas acequias fue resultado tanto de la calidad del agua del lago como de la de las aguas de retorno de los campos que se encuentran en el camino hacia el mar, de ahí los picos y variaciones en sus valores.

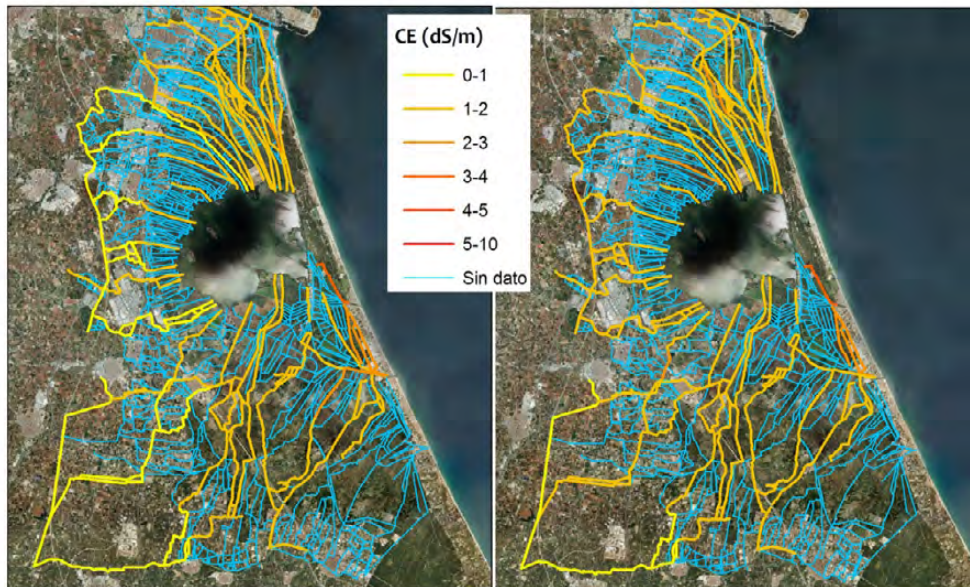


Figura 4: Variación espacio-temporal de la CE en acequias en junio 2010 y enero 2012.

El análisis estadístico de los datos de CE en función de los sectores de riego mostró que los sectores Acequia de Oro y Acequia de Favara en la zona norte del lago alcanzaron un valor medio mayor que el resto. Las aguas de estas dos acequias proceden, respectivamente, de las depuradoras de Pinedo y Quart-Benacher. En contraposición a estos resultados, el sector de la Acequia Real del Júcar fue el que menores valores medios de CE registra, siendo responsable del riego del parque en su zona sur y oeste.

En referencia al muestreo de la lámina libre circulante por los campos de arroz, el valor medio de la CE fue de 2.34 dS m^{-1} , con un máximo de 14.40 dS m^{-1} y un mínimo de 0.15 dS m^{-1} . El arroz es una planta con moderada tolerancia a la salinidad, que puede reducir su rendimiento entre un 10-18% por cada unidad de aumento de la CE a partir de un valor umbral de 2 dS m^{-1} (Ayers y Westcot 1987; Qadir et al. 2000). En este sentido cabe destacar que el 52% de las muestras recogidas presentaron una CE superior a 2 dS m^{-1} , y un 6.8% del total una CE superior a 4 dS m^{-1} . Así pues hay zonas del Parque Natural cuyas

aguas superficiales no son aptas para el riego del arroz puesto que inducen importantes mermas en su rendimiento; teoría que Ballesteros ya expuso en 2007 tras detectar valores medios elevados en el agua de los *tancats*, lo que supone una amenaza para el ecosistema agrícola (Ballesteros 2007). Este problema es ya una realidad y los agricultores, conocedores de la buena calidad del agua del Júcar, desean que ésta llegue para inundar sus campos así como que las dosis se mantengan constantes durante el ciclo. Nuestros datos reflejan una disminución de la CE de las aguas durante el final de la campaña del cultivo del arroz y al inicio del periodo de inundación posterior. Esta tendencia se transloca al inicio del periodo de preparación de los campos en marzo.

Los mayores valores de CE se localizaron en el *Tanecat* de Pipa y en el *tanecat* colindante a éste hacia el este (Figura 5). El *Tanecat* de Pipa, situado al norte del lago, fue construido entre 2007-2009 y es uno de los 3 humedales artificiales de la zona. Éstos, rondaron los 14 dS m^{-1} y se alcanzaron en los meses de septiembre cuando los campos son secados para proceder a cosechar el arroz facilitando que se produzcan filtraciones desde la capa freática hacia la escasa lámina libre existente. El aumento de la salinidad del agua superficial fue consecuencia del aporte de sales de la capa freática. En cuanto a la naturaleza de estas agua libres, el 79,8% de las muestras fueron cloruradas, mientras que el 14% presentaron facies sulfatadas y el 5,6% restante facies carbonatadas.

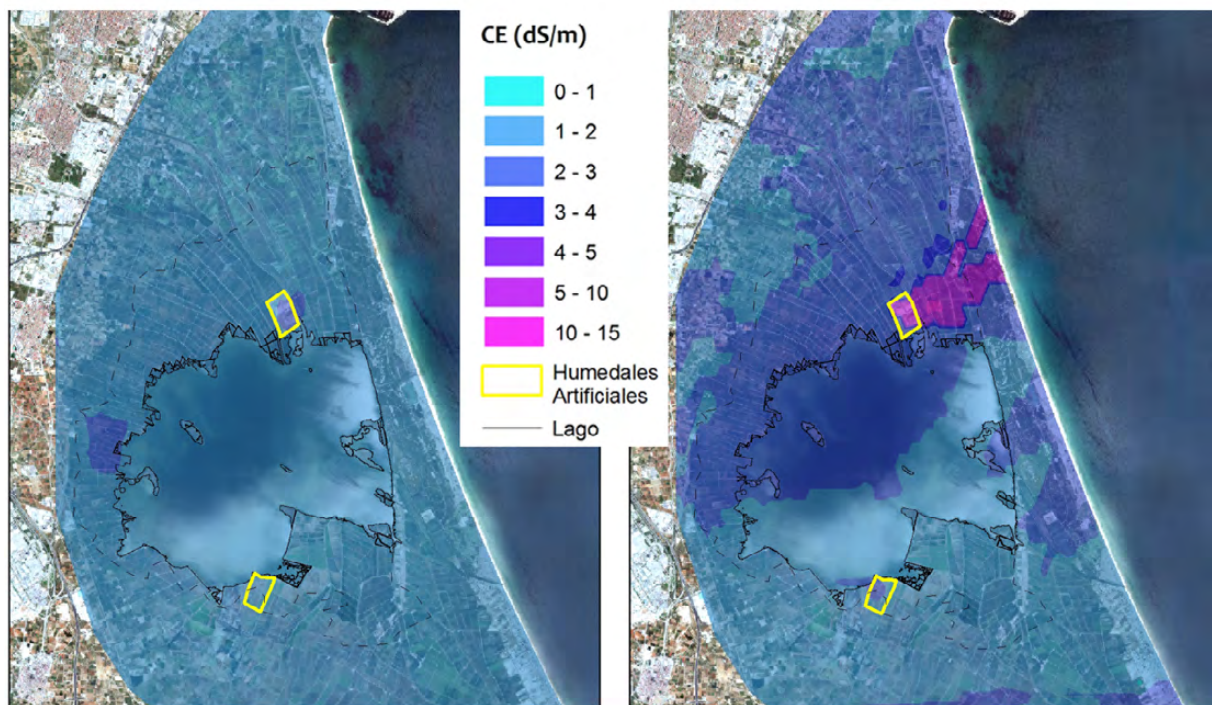


Figura 5: Salinidad de la Lámina libre en Marzo de 2011 y Septiembre de 2011.

La correlación bivariada entre las distancia al lago y a la costa con respecto a CE de las aguas de la lámina libre mostró significancia estadística a un nivel de confianza superior al 99%, indicando que a mayor cercanía a la costa y al lago mayores eran los valores de salinidad en las aguas.

En referencia al contenido en sales de la capa freática, destacar que el valor medio de la CE fue de 6.96 dS m^{-1} , con un valor máximo de 46.21 dS m^{-1} y un mínimo de 0.29 dS m^{-1} . En este caso el 76% de las muestras presentaron una CE superior a 2 dS m^{-1} , siendo el 42% de las mismas mayores a 4 dS m^{-1} . Si analizamos el valor promedio en cada mes para

todo el conjunto de sondeos se observa como hubo una disminución de la CE durante los meses de marzo, abril y noviembre, que es cuando se registraron los mayores valores de precipitación. Los valores promedios de CE en la capa freática fueron mayores durante el ciclo del arroz: $8,86 \text{ dS m}^{-1}$ durante el cultivo frente a los $7,25 \text{ dS m}^{-1}$ de los meses de inundación invernal.

Los valores más altos de CE corresponden a los años 2011 y 2012 y se localizan en el tancat de Milia en la zona sur y en los tancats colindantes al lago de la zona norte, siendo el tancat de Pipa el área de mayor salinidad. Los tancats de Milia y Pipa son antiguos arrozales reconvertidos en humedales artificiales para la depuración de los nutrientes de las aguas por lagunaje, y su manejo diferente al resto del arrozal influyó sustancialmente en dichos valores. Además durante su ejecución se alteró la cota inicial del terreno para permitir el flujo natural de las aguas hacia el lago, eliminándose el *topsoil* y volteándose los horizontes del suelo. Las aguas se clasifican como cloruro sódicas y el valor máximo fue registrado en junio de 2011 en el tancat de Pipa (Figura 6).

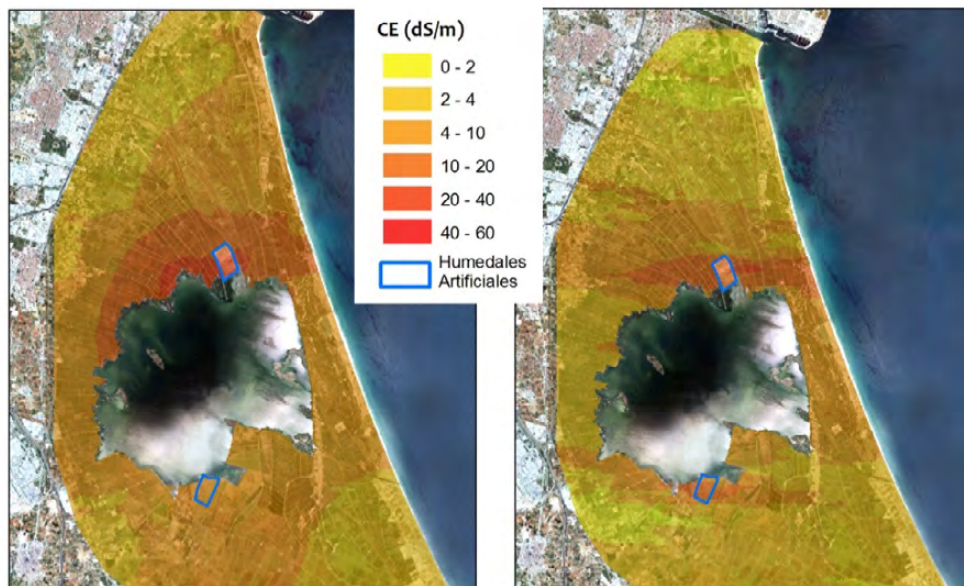


Figura 6: Salinidad de la capa freática en junio de 2011 y marzo de 2012.

En general, el conjunto de aguas (freáticas, lámina libre y acequias) se clasificaron como ligera y moderadamente alcalinas, con un riesgo de sodificación bajo. Únicamente un 5% de las muestras de lámina libre presentaron dicho riesgo. Por el contrario, en el caso de las aguas freáticas, éste porcentaje fue mucho mayor (46%).

En referencia a los suelos, destacar que fueron moderadamente carbonatados (35.5%), con un porcentaje medio de materia orgánica del 4.56 y una textura franco arcillosa, aunque encontramos también texturas más gruesas cerca de la restinga arenosa. Los suelos se clasificaron como Aridisoles y Entisoles (*Soil Survey Staff 2014*), siendo el hidromorfismo y la salinidad sus características más relevantes. El valor medio de la salinidad fue de 7.56 dS m^{-1} , con un máximo de 55.7 dS m^{-1} y un mínimo de 1.03 dS m^{-1} . El 80% de las muestras presentaron carácter salino, siendo el 7% de las mismas fuertemente salinas ($\text{CE}_e > 16 \text{ dS m}^{-1}$). El 20% restante tuvo valores inferiores a 4 dS m^{-1} , localizándose principalmente en los arrozales situados a cotas más elevadas o en los primeros 20 cm de la superficie del suelo. Especialmente, los mayores valores se observaron en las zonas cercanas al lago y en el área de la restinga. En relación a la distribución de las sales en el

perfil del suelo, el 65% de los puntos muestreados reflejó un aumento claro de la salinidad con la profundidad (Figura 7). En los humedales artificiales construidos para depurar el agua la salinidad en la superficie del suelo registró los máximos valores, aunque en la representación cartográfica no es apreciable debido a la escala. Como hemos indicado en el párrafo anterior, al eliminarse los horizontes superficiales del suelo durante su proceso de construcción, horizontes más profundos y salinizados quedaron en superficie.

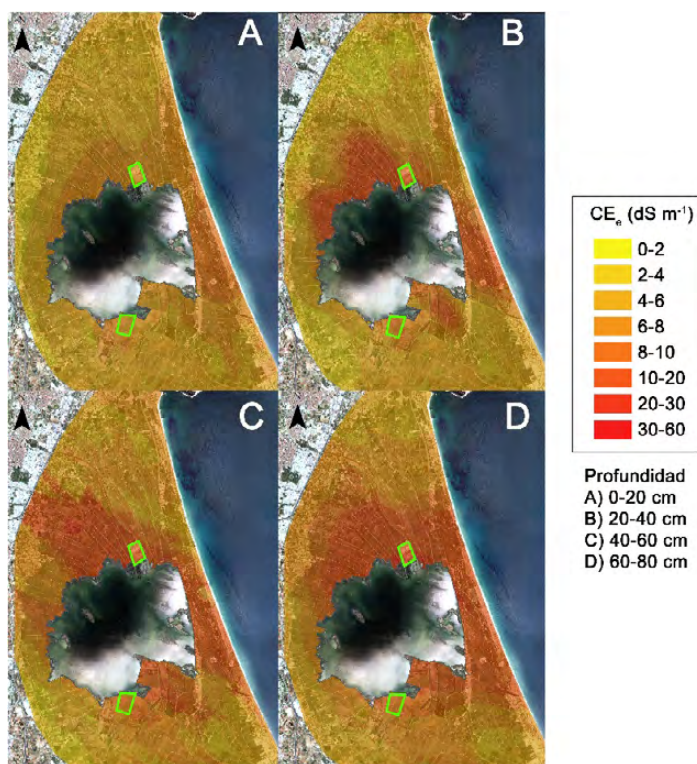


Figura 7: Mapas de la salinidad en suelos a distintas profundidades.

La clasificación de los suelos (tabla 1) en función de la CE_e y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) indica que el 80% de las muestras fueron salinas o salino-sódicas, siendo normales únicamente el 20% restante. En coincidencia con la distribución en el perfil del suelo de la CE_e , el valor del RAS también aumentó en profundidad.

Tabla 1: Clasificación de los suelos en función de CE_e y RAS.

	$CE_e < 4 \text{ dS m}^{-1}$	$CE_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$
RAS < 13	Normal: 20%	Salinos: 52,7%
RAS > 13	Sódicos: 0%	Salino-sódicos: 27%

Finalmente, el análisis de la evolución temporal de las sales retenidas en la matriz del suelo reflejó que el 53.3 % de las muestras recogidas en 2014 presentaron valores de $CE_{1/5}$ inferiores a los iniciales, mientras que en el 46,7% restante fueron superiores. Al agrupar los datos según la profundidad del muestreo se observó que el 35.5% de los suelos presentaron mayores valores de $CE_{1/5}$ en superficie, pero a profundidades 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm, el porcentaje de suelos que son más salinos respecto a 2010 es del 46%, 53% y 58% respectivamente. Además, si consideramos la cota y analizamos por separado las zonas altas de las bajas, el número de puntos salinizados aumenta en las proximidades al lago. En todo el proceso la influencia de la capa freática es determinante, sustentando la idea de que el flujo subsuperficial procedente del mar mediterráneo es el causante de la salinización del suelo.



4- Conclusiones y recomendaciones

La calidad de las aguas en acequias y lámina libre en relación a la salinidad es aceptable para el cultivo del arroz con valores de CE media-alta, y en general presentan cloruro-sódicas.

Las aguas freáticas presentan valores de CE altos, siendo la capa freática el principal agente causante de la salinización del suelo. Se constata la existencia de intrusión marina puesto que los máximos valores de CE de estas aguas se asemejan a la CE del agua del mar en el Mediterráneo. En general presentan facies cloruro sódicas con un contenido bajo en sodio, y mayores valores de salinidad durante el ciclo de cultivo, en las proximidades al lago y en los puntos de menor cota.

En cuanto a los suelos, las mayores CE_e se registraron en la zona norte y en los humedales artificiales recientemente construidos. Se ha constatado un mayor contenido en sales en los horizontes más profundos que en el *topsoil*, los cuales además han acumulado sales a lo largo del tiempo.

En conclusión, la combinación y posterior modelización de datos (valores de CE de la capa freática y de la lámina libre con alturas piezométricas) permitirá en un futuro el control del riesgo potencial de salinización del Parque Natural que ha de ser monitorizado para evitar la degradación del entorno. Así mismo, debido a la gran variabilidad de manejos que se producen en la Albufera de Valencia se estima necesario llevar a cabo un estudio pormenorizado de cada uno de los *tancats* ya que existe un riesgo muy alto de que las sales de la capa freática asciendan y salinicen la parte superficial del suelo, imposibilitando de este modo el cultivo del arroz. Además sería interesante hacer un estudio de la evolución de plantas halófitas en las zonas con mayor salinidad, para estimar el grado de desplazamiento de la vegetación natural autóctona por especies más tolerantes a la salinidad de aguas o suelos.

5- Bibliografía

- APHA. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Clesceri, L.S.; Greenberg; A.E.; Eaton, A.D.; Rice E.W., eds. Washington. USA.
- Ayers, R.S. Westcot, D.W. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudios de Riego y Drenaje nº 29 –Rev. 1. FAO. Roma. Italia..
- Ballesteros, L. (2007). Implantación de redes de control en el Parque Natural de l'Albufera (Valencia) Universitat Politècnica de Valencia. pp. 194.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de perfiles, 4th ed. FAO. Rome. Italia.
- Sanchis, C. (2007). L'Albufera de Valencia: Sistema natural y producto humano. En: Arroz en el Parque Natural de l'Albufera: Un futuro sostenible Encuentro Ecorice. (pp. 10-29). Grupo ECORICE. Valencia.
- Quadir, M. Ghafoor, A. Murtaza, G. (2000). Amelioration strategies for saline soils: A review. Land degradation & Development. 11: 501-521.
- Soil Survey Staff. (2009). Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 1.0. Burt, R., eds. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington. USA.
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.



- Soria, J.M. Sahuquillo, M. Miracle, R. (2005). Relaciones entre las aportaciones a la zona regable del río Júcar y la conductividad de la Albufera de Valencia. *Limnetica*, 24: 155-160
- Sparling, G.P. Schipper, L.A. Bettjeman, W. Hill, R. (2004). Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104: 523–534.