

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA
I DEL MEDI NATURAL**



***La conductividad eléctrica del suelo
como indicador de la capacidad de
uso de los suelos de la zona norte
del Parque Natural de la Albufera de
Valencia***

TRABAJO FIN DE GRADO INGENIERÍA AGROALIMENTARÍA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO: FERNANDO GALLART MARTÍNEZ

TUTOR: Dra. SARA IBÁÑEZ ASENSIO

COTUTOR: Dr. HÉCTOR MORENO RAMÓN

Curso académico: 2017-2018

VALENCIA, NOVIEMBRE 2017

RESUMEN

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO COMO INDICADOR DE LA CAPACIDAD DE USO DE LOS SUELOS DE LA ZONA NORTE DEL PARQUE NATURAL DE LA ALBUFERA DE VALENCIA

La Albufera de Valencia, uno de los humedales más importantes de la península ibérica, es un entorno de elevado valor paisajístico y medioambiental destinado en su mayor parte al cultivo del arroz. Climática y edáficamente la zona es adecuada para el cultivo del arroz, sin presentar problemas relevantes en cuanto a fertilidad o manejo del suelo. Sin embargo, la progresiva disminución en la cantidad y calidad de los aportes procedentes de los ríos Júcar y Turia así como de las escorrentías que se está produciendo en las últimas décadas está condicionando en gran medida la calidad de aguas y suelos del parque, y repercutiendo negativamente tanto sobre el estatus medioambiental del entorno como en su capacidad de uso agronómico.

Una de las principales consecuencias de este proceso es el aumento de la salinidad de las aguas freáticas y superficiales del Parque, que se cargan de sales en disolución en los meses más calurosos del año e inducen, en un plazo cada vez más breve, la salinización de los suelos de cultivo.

PALABRAS CLAVE: Salinidad del suelo, suelo hídrico, suelo de arrozal, Albufera de Valencia

AUTOR: Fernando Gallart Martinez

TUTOR: Sara Ibañez Asensio

ABSTRACT

ELECTRIC CONDUCTIVITY OF SOIL AS INDICATOR OF BEARING CAPACITY IN NORTH ALBUFERA OF VALENCIA'S SOIL

The Albufera de Valencia, one of the most important wetlands of Spain, is an environment of high landscape and environmental value, mostly for rice cultivation. Climatically and edaphologically the area is suitable for rice cultivation, without presenting significant problems in terms of fertility or soil management. However, the progressive decrease in the quantity and quality of the contributions from the Júcar and Turia rivers as well as the runoff that is taking place in recent decades is greatly conditioning the water and soil quality of the park, and impacting negatively on both the environmental status of the environment and its capacity for agronomic use.

One of the main consequences of this process is the increase in the salinity of the ground and surface waters of the Park, which are loaded with salts in solution in the hottest months of the year and induce, in a shorter and shorter time, salinization of the cultivation soils.

KEYWORDS: Soil salinity, hydric soil, paddy soil, Albufera of Valencia

AUTHOR: Fernando Gallart Martinez

TUTOR: Sara Ibañez Asensio

RESUM

LA CONDUCTIVITAT ELÉCTRICA COM INDICADOR DE LA CAPACITAT D'ÚS DELS SOLS DE LA ZONA NORD DE L'ALBUFERA DE VALÈNCIA.

L'Albufera de València, un dels aiguamolls més importants de la península ibèrica, és un entorn d'elevat valor paisatgístic i medioambiental destinat en major part al cultiu de l'arròs. Climàtica i edàficament, la zona és adequada per al cultiu de l'arròs, sense presentar problemes rellevants en quant a la fertilitat o el maneig del sòl. No obstant això, la progressiva disminució en la quantitat i qualitat de les aportacions procedents dels rius Xúquer i Túria, així com dels vessaments que s'estan produint en les últimes dècades, estan condicionant en gran mesura la qualitat d'aigües i sòls del parc, i repercutint negativament tant sobre l'estatus medioambiental de l'entorn com en la seua capacitat d'ús agronòmic.

Una de les principals conseqüències d'aquest procés és l'augment de la salinitat de les aigües freàtiques i superficials del Parc, que es carreguen de sals en dissolució en els mesos més calurosos de l'any e induïxen, en un termini cada vegada més breu, la salinització dels sòls de cultiu.

PARAULES CLAU: salinitat del sòl, sòl hídric, sol d'arrossar, Albufera de València

AUTOR: Fernando Gallart Martinez

TUTOR: Sara Ibañez Asensio

Índice

1. Introducción

1.1 Salinidad de los suelos

1.1.1 El suelo. Suelos hídricos y suelos salinos

1.1.2 Salinidad, sodicidad y alcalinidad

1.1.3 Origen

1.1.4 Factores

1.1.5 Efectos

1.1.6 Medida y clasificación

1.1.7 Tolerancia de los cultivos a la salinidad

1.2 La Albufera como humedal mediterráneo

1.3 Antecedentes

2. Justificación y Objetivos

3. Materiales y métodos

3.1 Descripción del medio físico

3.1.1 Localización de la zona de estudio

3.1.2 Geomorfología

3.1.3 Edafología

3.1.4 Climatología

3.1.5 Hidrología

3.1.5.1 Nivel freático

3.1.5.2 Proximidad al mar

3.1.6 Usos y aprovechamientos

3.1.6.1 El cultivo del arroz

3.2 Metodología

3.2.1 Métodos muestreo

3.2.2 Análisis de laboratorio

3.2.3 Cartografiado

3.2.3.1 Procesado de los parámetros edáficos

3.2.3.2 Capacidad de uso del suelo

3.3 Software

4. Resultados y Discusión

4.1 Suelos de la zona norte

4.1.1 Materia orgánica

4.1.2 pH

4.1.3 Salinidad

- 4.2 Cationes y aniones principales
 - 4.2.1 Sodio
 - 4.2.2 Potasio
 - 4.2.3 Calcio
 - 4.2.4 Magnesio
 - 4.2.5 Carbonatos y bicarbonatos
 - 4.2.6 Cloro
 - 4.2.7 Sulfatos
- 4.3 Capacidad de uso del suelo
- 5. Conclusiones
- 6. Bibliografía

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Imagen 1. Vista aérea de la Albufera (Tancat de la Pipa)

Figura 1. Esquema del flujo sub-superficial del agua en un relieve topográfico próximo al mar

Figura 2. Clasificación suelos

Figura 3. Grafica Producción-Salinidad

Figura 4. Biotipos de la Albufera

Figura 5. Diagrama ombroclimático de Sueca

Figura 6. Diagrama ombroclimático de Silla

Figura 7. Distribución espacial del nivel freático (m) de la Comunidad Valenciana.

Figura 8. Arc Gis 1/6

Figura 9. Arc Gis 2/6

Figura 10. Arc Gis 3/6

Figura 11. Arc Gis 4/6

Figura 12. Arc Gis 5/6

Figura 13. Arc Gis 6/6

Figura 14. Interpretación pH según los criterios USDA

Figura 15. Mapa distribución pH 0-20cm

Figura 16. Diagrama p12 (0-20)

Figura 17. Diagrama p38 (0-20)

Figura 18. Mapa distribución M.O. 20-40cm

Figura 19. Diagrama p26 (0-20)

Figura 20. Diagrama p6 (0-20)

Figura 21. Mapa distribución potasio 20-40cm

Figura 22. Mapa distribución sodio 0-20cm

Figura 23. Mapa rendimiento potencial

Tabla 1. Efectos salinidad

Tabla 2. Merms rendimiento cultivos

Tabla 3. Calidad agua de la Albufera

Tabla 4. Puntos y localización coordenadas UTM

Tabla 5. Métodos analíticos

Tabla 6. Rendimiento potencial del arroz

Tabla 7. Valores generales

Tabla 8. Valores cationes y aniones

1. INTRODUCCION

1.1. La salinidad en los suelos

1.1.1. El suelo. Suelos hídricos y suelos salinos

El suelo es la estructura básica de soporte de la agricultura, compuesto por materia mineral, materia orgánica, aire y agua. Sobre él se establece el crecimiento vegetativo y el crecimiento radicular al suministrar a la planta nutriente, agua y un soporte mecánico. El suelo es el resultado de la interacción del clima, topografía, organismos y materiales parentales a lo largo del tiempo (FAO, 2017).

Este recurso, necesario para la subsistencia humana Formado por la disgregación de rocas por cambios bruscos de temperatura y la acción de la humedad y la interacción del aire y seres vivos. El proceso mediante el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o dan lugar a la formación nuevos compuestos, se conoce como meteorización.

Los productos rocosos de la meteorización se mezclan con el aire, agua y restos orgánicos provenientes de plantas y animales para formar suelos. Este proceso tarda muchos años, razón por la cual los suelos son considerados recursos naturales no renovables. También se encuentra el agua, su presencia es de vital importancia, ya que mantiene en solución los nutrientes que serán aprovechados por las plantas; y el aire, que ocupa los poros que el agua deja libres mediante gases atmosféricos, en su mayoría dióxido de carbono. Según su estado físico, los componentes del suelo se encuentran en: fase sólida, líquida o gaseosa.

Dentro de las propiedades físicas de los suelos se encuentran la textura, la estructura, la porosidad, la temperatura, la consistencia y el color, entre otras. Sus propiedades químicas se manifiestan en la transformación de las sustancias formadoras del suelo; por ejemplo, en la presencia de nutrimentos orgánicos e inorgánicos, el intercambio de iones y la acidez del suelo (pH).

En función del espacio poroso, podemos encontrar suelos aireados, suelos húmedos y suelos hídricos, aquellos que se formaron bajo condiciones de saturación, inundaciones, o encharcamiento durante el tiempo suficiente en la temporada de cultivo como permitir que se produzcan condiciones anaeróbicas en la parte superior del perfil del suelo. Además el concepto de suelos hídricos incluye los suelos desarrollados en condiciones suficientemente húmedas para apoyar el crecimiento y la regeneración de la vegetación hidrófila. Los suelos húmedos debido a las medidas artificiales se incluyen también en el concepto de suelos hídricos y a su vez los suelos antropogénicos son hídricos si el suelo, en un estado inalterado, era hídrico (USDA¹: Soil Survey Staff, 1999)

¹ Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

La salinidad constituye un elemento de control de la productividad y la zonación en tipos de hábitat salinos, tanto continentales como costeros. En marismas mediterráneas del sureste peninsular existe una considerable variación estacional en las principales sales solubles en suelos, así como en las condiciones de la capa freática, dando lugar a suelos hídricos salinos.

1.1.2 Salinidad, sodicidad y alcalinidad

Los suelos donde se producen acumulaciones de sales más solubles que el yeso, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de cultivos y plantas no especializadas, se denominan suelos salinos. Se corresponden con los Solonchak de la (WRB², 1998). Aquellos suelos que contienen suficiente sodio intercambiable (ESP) para que afecte adversamente la producción de los cultivos de manera directa, por la interacción del sodio en la fisiología de la planta (Pearson, 1960), e indirectos sobre la estructura por dispersión de las arcillas, se denominan suelos sódicos. Se corresponden con los Solonetz (WRB, 1998). Los suelos que tienen sales más solubles que el yeso y sodio intercambiable se conocen como suelos salino-sódicos. Suelos que resultan adversos para el crecimiento de la mayoría de cultivos (Porta, 2003).

1.1.3 Origen

El origen de la salinidad en los suelos puede ser dividido en dos tipos:

- Salinidad primaria o natural: En el que las características geológicas y edafoclimáticas determinan el grado de salinidad.
- Salinidad secundaria: Inducida antropicamente debido a manejos inadecuados en zonas de regadío.

1.1.4 Factores

La salinidad secundaria es especialmente grave en zonas en las que concurren las siguientes circunstancias:

- **Calidad agua riego**

El agua de riego es un factor que puede influir en la salinidad de los suelos por dos principales vías de actuación:

- 1) Riego con agua cargada de sales, que provoque la salinización de los suelos ya que tras la evapotranspiración se estén acumulando más sales en el perfil que las propias del suelo.

² Base Referencia Mundial

2) El uso de agua recirculada, provocando sobre la misma zona la acumulación de las sales por evapotranspiración. En estos casos la fuente principal de las sales que se acumulan en el suelo de regadío son las disueltas en el agua de riego.

Por ello se debe conocer, de forma detallada, la concentración de sales en el agua que se utiliza para riego ya que esta concentración condiciona el manejo del mismo. (IVIA³, 2014).

- **Aridez climática**

La salinidad suele ser una mayor restricción en la estación seca, cuando la demanda de evaporación es alta (Chapman, 1947). Está claro que en aquellas zonas donde se produzca un déficit de humedad en el suelo ya que la precipitación sea menor que la evapotranspiración, las sales del agua de riego, pasaran al perfil del suelo al secarse este. Dando lugar a la precipitación de estas y su acumulación en el perfil. Además, si las escasas precipitaciones no favorecen el lavado, se promoverá su acumulación en las partes altas y la salinización de la superficie cultivable, desplazando cultivos por su intolerancia a las condiciones salinas del suelo.

- **El nivel freático**

Afecta de forma doble a la salinidad del suelo ya que, además de impedir el lavado y la eliminación del exceso de sales aplicadas en el cultivo, también puede facilitar el ascenso capilar de las sales disueltas en el nivel freático (IVIA, 2014). La atracción que las partículas del suelo ejercen sobre el agua puede levantar y mantener a ésta frente a la fuerza de la gravedad (Thompson y Troeh, 2004).

- **Factores topográficos de forma**

En las depresiones topográficas el nivel freático no sólo suele encontrarse más elevado sino que suele presentar una concentración de sales mayor que en posiciones fisiográficas más elevadas. Esto es consecuencia del proceso de acumulación de las sales que provienen de la disolución, lixiviación y transporte de materiales de zonas más elevadas como podemos observar en la figura 1 (Nguyen., *et al.* 2014).

Si estas depresiones topográficas coinciden en proximidad con masas de agua salada, el acuífero asociado a esta masa salina puede aportar sales a través de la inter-fase con el acuífero continental (agua dulce) (IVIA, 2014).

³ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

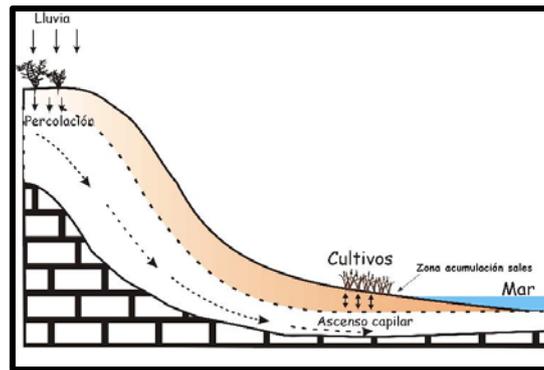


Figura 1. Esquema del flujo sub-superficial del agua en un relieve topográfico próximo al mar (Fuente: IVIA)

1.1.5 Efectos de la salinidad

La acumulación continua de las sales en el tiempo promueve la salinización de los suelos, afectando a la productividad de los cultivos y a la calidad ambiental del ecosistema. Para una mejor comprensión se suelen individualizar los efectos debidos a la salinidad y la sodicidad, que en muchos casos actúan en simultáneo.

- **Salinidad:**

Efectos osmóticos:

-Las sales modifican el potencial osmótico del agua del suelo.

-Se inhibe el crecimiento y puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmólisis)

-Aumentan la concentración de algunos iones que afectan a la fisiología de la planta, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de nutrientes.

En la tabla 1 quedan reflejados los efectos producidos en el cultivo frente a las clases de suelo salino.

Tabla 1. Efectos salinidad (Fuente: FAO)

Clase suelo salino	Conductividad del extracto de saturación (dS/m)	Efecto en cultivo
No salino	0 - 2	Efectos de la salinidad imperceptibles
Ligeramente salino	2 - 4	Rendimientos en cultivos sensibles pueden verse limitados
Moderadamente salino	4 - 8	Rendimientos limitados en la mayoría de cultivos
Fuertemente salino	8 - 16	Solo cultivos tolerantes tendrán rendimientos aceptables
Muy fuertemente salino	> 16	Solo cultivos muy tolerantes tendrán rendimientos aceptables

- **Sodicidad**

La acción dispersante del sodio sobre las arcillas afecta a .as propiedades físicas del suelo. . Se destruye la estructura del suelo y los agregados son poco estables. Esto promoverá una pérdida de la calidad de los suelos al perder su porosidad y provocar por ejemplo un menor desarrollo radical de las plantas.

El crecimiento de las plantas en medios salinos se ve afectado desfavorablemente, con una intensidad que varía de unas plantas a otras, para un mismo valor de la CE_{es} o del PSI.

En plantas no halófilas la presencia de sales en el suelo provoca una sintomatología relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento provocando retardos en la nascencia, menor área foliar y talla, necrosis y menores producciones en masa seca que producirán mermas en los rendimientos de los cultivos. (Porta, 2003)

1.1.6 Medida y clasificación

La medida de la salinidad se realiza mediante la conductividad eléctrica que se mide generalmente en unidades de dS/m. Dicha conductividad eléctrica depende de la temperatura por lo que, para realizar comparaciones válidas la conductividad eléctrica debe expresarse en relación a una temperatura de referencia. Habitualmente esta temperatura es de 25°C (IVIA, 2014). La conductividad del suelo se mide a partir del extracto de pasta saturada (CE_e)

Otro aspecto a tener en cuenta en la clasificación del suelo, como hemos visto anteriormente, es el sodio intercambiable. Su medida en base al uso del SAR o relación de adsorción de sodio a partir de los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en solución.

$$ESP = K'_G * SAR$$

- Siendo $K'_G = 0,015$ ($mmol L^{-1}$)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}$$

Por lo que según sus características de sodio intercambiable y conductividad eléctrica podremos clasificarlos según la figura 2.

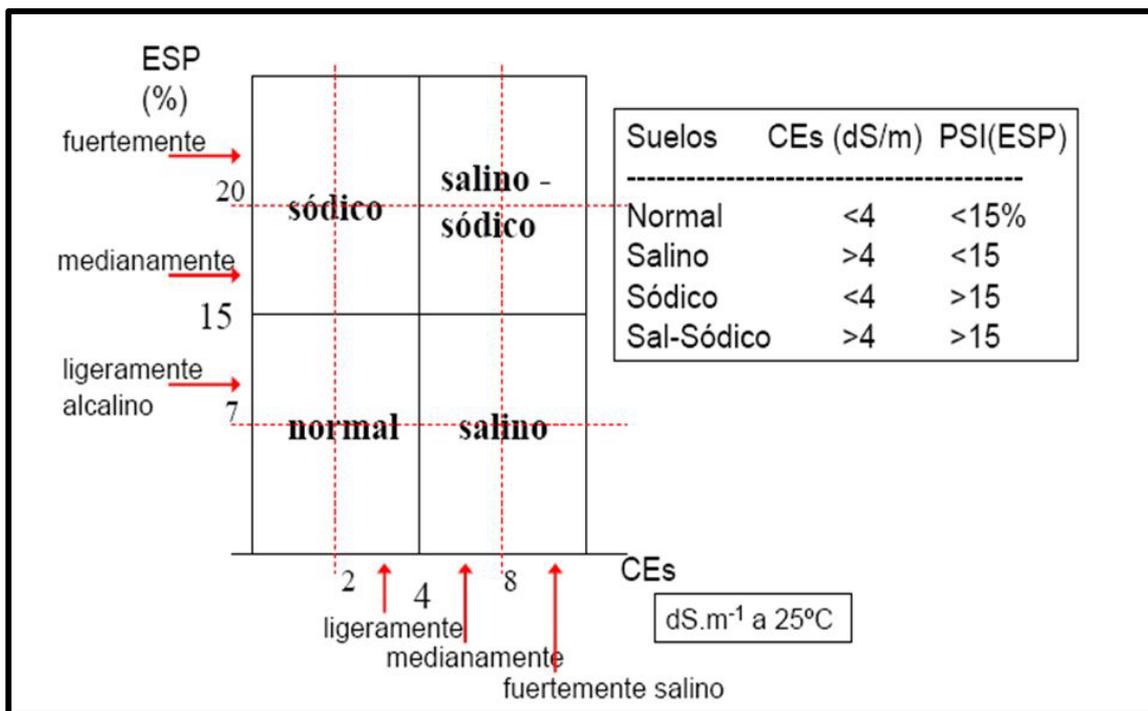


Figura 2. Clasificación suelos (Fuente: INIA, 1962)

1.1.7 Tolerancia de los cultivos a la salinidad

Se define como tolerancia a la salinidad la capacidad que tiene el cultivo para soportar la salinidad del suelo sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo (IVIA, 2014). Esta tolerancia se puede evaluar siguiendo tres criterios:

- Capacidad del cultivo para sobrevivir en suelo salino
- La producción del cultivo en suelo salino
- Rendimiento del cultivo en comparación con la producción bajo condiciones no salinas

En la figura 3 se aprecia la pérdida de producción frente a salinidad.

1.2 La Albufera como humedal mediterráneo

Los humedales comprenden los espacios naturales o artificiales que permanecen cubiertos por agua, de manera temporal o permanente, dando lugar a una gran diversidad de ambientes diferentes (marismas, marjales, deltas, lagunas litorales, albuferas, etc.) y en los que predominan las formaciones botánicas palustres y acuáticas. (Oficina de gestión técnica del parc natural de l'albufera, 2002, 2010)

El Parque Natural de l'Albufera (Imagen 1), constituye uno de los principales humedales de la península ibérica y de mayor importancia del mediterráneo occidental. Representa uno de esos humedales, con una larga tradición de presencia humana que le otorga un rico patrimonio cultural, resultado de esta prolongada convivencia (Ferrando, 2014). Incluido en la categoría V por la UICN⁴ y declarado Parque Natural mediante el Decreto 89/1986, de 8 de julio, Además el 8 de mayo de 1990, el Parque Natural es incorporado a la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional en la Conferencia de Ramsar⁵ y en la Red Natura 2000. El humedal Ramsar L'Albufera de Valencia comprende tres hábitats característicos por su flora y fauna reflejados en la figura 4, los cuales se describen a continuación:

-**La Devesa** de la Albufera es una estrecha franja litoral que forma parte de la restinga, que separa el lago del mar Mediterráneo, orientada N-NO a S-SE, de una longitud aproximada de 12 Km y de anchura variable, que varía entre 1 y 1.5 Km, la cual cerró el golfo de Valencia convirtiéndolo en Albufera. De origen aluvial cuaternario, la Devesa se



Imagen 1. Vista aérea de la Albufera (Tancat de la Pipa)
(Fuente: SEO/Birdlife)

localiza a 9Km al sur de Valencia capital y tiene una superficie de 850 ha. En ella se conjugan una serie de factores climáticos y edáficos tan variados que dan lugar a una diversidad de ecosistemas de gran valor, entre los cuales se diferencian, el ecosistema

⁴ Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

⁵ Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas

dunar, el bosque estabilizado y las depresiones interdunares que reciben el nombre de malladas.

-Marjal: Tierras que anteriormente formaban parte del lago y que ahora están dedicadas al cultivo del arroz. Sus cerca de 14.000 hectáreas son el área más extensa del Parque, representando las zonas llanas inundables y formando un paisaje agrario con gran significado histórico en el contexto valenciano. Aunque se trata de un medio antropizado y sometido a un régimen de explotación intensiva, el arrozal constituye un hábitat imprescindible para el funcionamiento del sistema ecológico de la Albufera y una actividad económica tradicional de la población de la zona.

- **Lago:** Tiene una superficie media de 2800 Ha, de las cuales 350 son de vegetación palustre. En él hay que diferenciar, de una parte, las aguas libres y, por otra, las orillas y matas, cuya conjunción posibilita el desarrollo de su característica diversidad de comunidades vegetales y animales. La profundidad del lago es escasa, con una media inferior a los 80 cm, aunque en algunos puntos llega a alcanzar los 2 metros.



Figura 4. Biotipos de la Albufera (Fuente: www.albufera.com)

1.3 Albufera y Salinidad de los suelos: Antecedentes

La Albufera de Valencia es uno de esos humedales en los que por tradición constante de presencia humana, se cuenta con una rica herencia cultural. Un humedal emblemático, en el que los usos desarrollados por el hombre, han dado lugar a un paisaje cultural propio, con un sinfín de tipismos, elementos y prácticas culturales, muchos de los cuales aún forman parte del día a día en l'Albufera. Un espacio que también ha tenido, durante siglos, el valor de icono paisajístico y cultural y que ha sido referente ineludible para la sociedad valenciana, incluso de su identidad (Sanchis Ibor, 2007)

La Albufera presenta además gran interés ya que en su cuenca se encuentran importantes núcleos de población, zonas industrializadas y zonas tradicionalmente agrícolas especialmente en el cultivo del arroz. Por tanto la composición química de las aguas puede verse afectada por vertidos industriales y/o por otro tipo de residuos contaminantes procedentes de la agricultura como pueden ser fertilizantes, insecticidas, y herbicidas.

Debido a su situación y como hemos podido observar en el punto "localización" son muchos los factores de emisión de contaminantes. El carácter hipertrófico del lago y su

alto nivel de eutrofización han alertado desde hace años pero aun así no son las únicas afecciones que sufre el parque:

- Aterramientos
- Sedimentos del lago contaminados
- Reducción aportes fluviales
- Infiltraciones de origen agrícola
- Los usos intensivos urbano, turístico y recreacional
- Aparición de especies de fauna invasora

Dada esta problemática, toda una serie de actuaciones sobre restauración de hábitats han sido llevadas a cabo por la oficina técnica del parque y otros organismos recogidas en las Memorias de Gestión del Parque Natural de Valencia (CMAAUV⁶, 2008; 2009; 2010^a y 2011) con intención de controlar la calidad ambiental y así revertir los procesos de eutrofización y salinización que se están dando en el parque. (Moreno, 2013)

2 Justificación y objetivos

En los últimos años los estudios sobre suelos hídricos ha ido en aumento con la intención de paliar la insuficiente información en diferentes propiedades de éstos suelos como su contenido en materia orgánica, salinidad, etc... (Moreno et al., 2015)

La producción arrocerá constituye el principal aprovechamiento económico del parque y ocupa aproximadamente el 70 % de su superficie, unas 14.500 ha (Jiménez, 2007). Además supone el mantenimiento de las condiciones medioambientales suficientes para que la zona se considere humedal ya que provee de agua el marjal en verano cuando la evapotranspiración supera la precipitación y los aportes naturales son escasos.

La acumulación de sales en la zona de raíces puede resultar en parcial o completa pérdida de la productividad. Estos problemas además se ven acentuados en zonas áridas o semiáridas bajo sistemas de irrigación y particularmente en regiones costeras donde se producen infiltraciones desde la capa freática marina cargada de sal, con lo que se puede determinar por sal a mayor escala. La salinización parece un aspecto sin importancia, sin embargo un exceso de sales puede determinar el rendimiento resultante del cultivo y flora del parque.

⁶ Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda

La falta de caracterización de la salinidad en los suelos de la albufera de Valencia es motivo del objetivo de este estudio. Se pretende El objeto analizar e interpretar una serie de parámetros químicos que determinan la conductividad eléctrica de la pasta saturada de muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades para determinar el grado de salinidad del perfil del suelo, y utilizar dicho valor como indicador del rendimiento potencial de dichas tierras para el cultivo del arroz.

Un adecuado conocimiento de las características físico químicas del suelo permitiría orientar a técnicos ambientales y productores con el objetivo de hacer más sostenible la agricultura de esta zona.

1. Definir el estado salino de los suelos del sector norte de la Albufera de Valencia
2. Cartografiar los parámetros químicos del extracto de saturación de los suelos.
3. Determinar la capacidad de uso de los suelos del Parque Natural en base a la combinación de datos de salinidad y el cultivo del arroz.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

3.1.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El parque natural tiene una superficie de 21.120 ha y se sitúa en la región suroriental de la plana de Valencia, entre las desembocaduras de los ríos Turia y Júcar. La Albufera y su Devesa están situadas a 10 escasos kilómetros de la ciudad de Valencia, más concretamente, la situación del lago de l'Albufera es:

Latitud: -39° 22' – 24' Norte

Longitud: -0° 18' – 23' Oeste

El lago tiene una superficie de 2200 ha y limita norte, sur y oeste con arrozales de los términos municipales de Valencia, Alfafar, Massanassa, Catarroja, Albal, Silla, Sollana y Sueca. Al este linda con la Devesa de l'Albufera comunicando con el mar a través de canales denominados "golas".

La zona de estudio del presente trabajo concretamente se ha ubicado en la parte norte de la Albufera entre las poblaciones de Silla, Catarroja, Massanasa y Valencia abarcando una superficie de 3623,48 ha.

3.1.3 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

En la Devesa y las áreas próximas al Lago se conjugan una serie de factores climáticos y edáficos tan variados que dan lugar a una diversidad de ecosistemas de gran valor, entre los cuales se diferencian, el ecosistema dunar, el bosque estabilizado y las depresiones interdunares que reciben el nombre de malladas.

La llanura costera donde se emplaza la Albufera de Valencia se localiza en la transición entre los sistemas Ibérico y Prebético, afectada por tectónica de tipo extensional durante el periodo Neógeno (Vegas, 1992).

La Albufera de Valencia se emplaza sobre materiales cuaternarios de origen aluvial depositados en ambientes de transición entre medios continentales y marinos. Bajo los sedimentos cuaternarios se sitúa un conjunto de materiales de edad Mioceno medio y superior, formado básicamente por margas y arenas depositadas en ambientes costeros o marinos someros. El sustrato de este conjunto mioceno, es muy variado. La sucesión estratigráfica más frecuente (IGME⁷, 1985d) está representada por una alternancia de calizas y margas, de unos 400 m de espesor, del Cretácico inferior, que se superpone sobre un conjunto formado por calizas, brechas calcáreas, dolomías y margas del Jurásico (Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, 2006)

⁷ Instituto Geológico y Minero de España

3.1.4 CLIMATOLOGIA

La zona de estudio está caracterizada por un clima mediterráneo semiárido según la clasificación agroclimática de Papadakis. Esta clasificación basada en el régimen hídrico se caracteriza por un período de sequía estival que coincide con elevadas temperaturas lo que se traduce en un déficit hídrico claramente representado en las figuras 5 y 6.

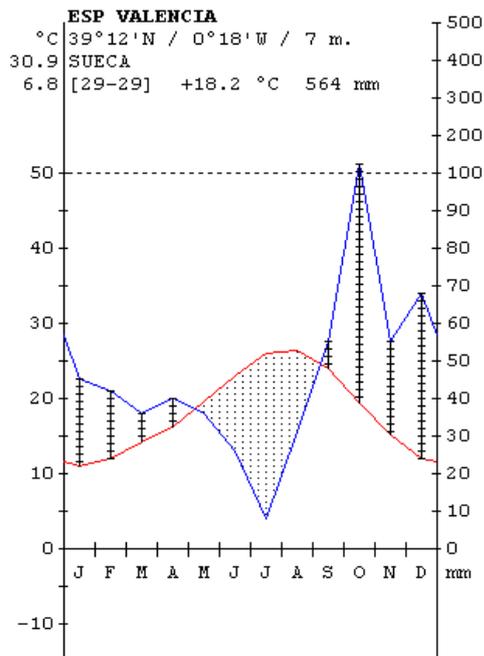


Figura 5. Diagrama ombroclimático Sueca
(Fuente: Centro de investigaciones Fitosociológicas)

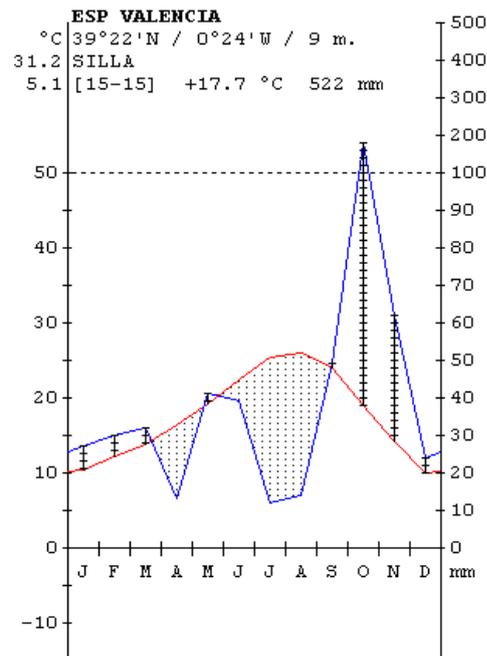


Figura 6. Diagrama ombroclimático Silla
(Fuente: Centro de investigaciones Fitosociológicas)

3.1.5 EDAFOLOGIA

En los suelos de la Albufera dominan dos factores fundamentales: el hidromorfismo y la salinidad. La zona de la Devesa se caracteriza por ser suelos franco arenosos mientras que más hacia el interior y alrededor del lago se caracteriza por ser depresiones de suelos limo-arcillosos impermeables con la presencia de un nivel freático muy cercano, que originan inundaciones en época lluviosa y sequía y salinidad en el estío. La mayor o menor incidencia de cada uno de estos factores por separado, o el efecto combinado de los mismos, establece la división de los suelos de en tres grandes grupos: Los órdenes de la Soil taxonomy, entisoles y aridisoles en la zona de cultivo del arroz (Moreno, 2013) y arenosoles (Delgado, *et al.* 1998)

- Entisoles: Con un perfil escasamente desarrollado donde podemos distinguir Typic Xerofluvent en zonas altas donde las condiciones acuáticas no pueden ser descritas y Typic fluvaquent en las zonas del marjal.
- Aridisoles: Cerca de la costa norte del lago debido a la alta salinidad en suelo caracterizados por la presencia de una capa salina.

- Arenosoles: Suelos predominantes en la Devesa, representativos de las formaciones dunares. Su textura arenosa se manifiesta en la facilidad de infiltración y escasa capacidad de retención de agua.

3.1.6 HIDROLOGIA

Esta albufera se alimenta principalmente, por aguas subterráneas, mediante varios manantiales o “ullals”, que surgen tanto en el fondo de la laguna como en los límites de la misma (Roselló, 1996). Esta agua cuyos valores de calidad podemos ver reflejados en la tabla 3 procede principalmente de escorrentía y de los retornos de riego. La necesidad de controlar los niveles hídricos de la laguna, según los intereses agrícolas crecientes, hizo necesaria la construcción de sistemas de regulación y compuertas que interrumpieron la entrada de aguas marinas hacia la laguna (Sanchis Ibor, 2001). El control que se ejerce mediante compuertas está determinado por la acción humana a través de las cinco golgas o canales de desagüe al mar que tiene el Parque Natural, tres de ellas directamente comunicadas con el lago central. Estas golgas disponen de compuertas para la regulación de niveles y caudales, operadas por la Junta de Desagüe que permiten el cultivo del arroz en gran parte de las 15.000 has. que forman la zona de marjal (Confederación hidrográfica del Júcar, 2015).

Tabla 3. Calidad del agua de la Albufera (Fuente: RAMSAR)

Albufera de Valencia	(mg/l)
DQO	2,3
Cl ⁻	310
SO ₄ ²⁻	378
HCO ₃ ⁻	182
CO ₃ ²⁻	0
N ₃	44
Na ⁺	155
Mg ²⁺	70
Ca ²⁺	152
K ⁺	9
pH	7,4
Conductividad (dS/cm)	2,48

3.1.6.1 Nivel freático

Generalmente, estas condiciones se dan en zonas bajas próximas al mar como la Albufera de Valencia ya que el nivel freático elevado afecta de forma importante a la salinidad de los suelos. Para hacernos una idea del nivel freático de la C.V. nos basamos en la figura 7.

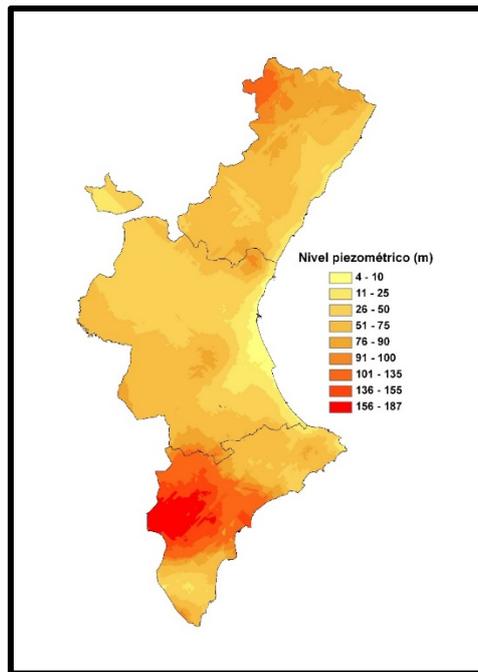


Figura 7. Distribución espacial del nivel freático (m) de la Comunidad Valenciana (Fuente: IVIA)

3.1.6.2 Proximidad al mar

La proximidad al mar de la Albufera de Valencia condiciona la salinidad de la zona ya que las sales proceden de capas freáticas salinas poco profundas, del agua de inundación por efectos de las mareas o por los aportes de sales transportadas por el viento. Este último proceso solo tiene una importancia local y afecta a una estrecha franja. El contenido de sales de las masas de aire marítimo, que se mueven hacia el interior, disminuye de forma exponencial con la distancia a la línea de costa, al ser lavadas por el agua de lluvia. (IVIA, 2014)

3.1.7 Usos y aprovechamientos

El aprovechamiento de los recursos en la Albufera de Valencia es especialmente intenso. El arrozal, la caza y la pesca son actividades que se han venido desarrollando desde hace siglos y que forman parte de la tradición cultura y paisaje de la zona.

3.1.7.1 El cultivo del arroz

El arrozal es el ambiente de mayor superficie, y se extiende sobre lo que antiguamente era un extenso marjal y otorga una clara estacionalidad a todo el sistema, con las alternancias de inundación/deseccación de los campos y el crecimiento de la planta, que producen una variabilidad considerable en cuanto a extensión y características de la superficie inundada.

El cultivo del arroz puede ser dividido en fases de inundación/desección. De febrero a abril el campo permanece seco, momento en el que se realizan diferentes labores de campo como la nivelación y el abonado de fondo. A finales de abril es el momento en el que se produce la siembra, si las condiciones meteorológicas lo permiten, y se inunda el campo hasta finales de junio que es cuando se lleva a cabo el "eixugò". Este secado del campo se realiza para mejorar las características fisiológicas de la planta del arroz, adquiriendo así mayor rigidez en tallos. A principios de julio el campo se vuelve a inundar hasta finales de agosto, dependiendo de la variedad sembrada, momento en el que se realizará la cosecha del cultivo.

Las variedades de tipo Senia, Bomba y Albufera, bajo la Denominación de Origen Arroz e Valencia, están adaptadas perfectamente a la zona del Parque Natural de la Albufera. El sistema de cultivo de arroz en la Albufera supone el mantenimiento de agua estancada casi durante toda la temporada de cultivo lo que produce una reducción significativa en la salinidad de la zona de la raíz por lixiviación y dilución de las sales. Aunque el arroz no es tolerante al exceso de salinidad, es un cultivo favorecido en suelos salinos y es de hecho preferido sobre otros cultivos tolerantes durante los primeros estadios. En la tabla 6 podemos observar como a medida que aumenta la CE_e el rendimiento del cultivo del arroz disminuye.

3.2 Metodología

3.2.1 Métodos muestreo

En todo el sector estudiado se tomaron un total de 21 muestras del perfil del suelo cada 20 centímetros hasta la profundidad máxima de 1 metro, que es la longitud de la barrena (AENOR⁸, 2007b) durante la época de desección de los campos. Una vez tomadas se introdujeron en una bolsa y se etiquetaron para su posterior análisis. La toma de muestras fue principalmente cada 20 cm hasta una profundidad máxima de 80 cm, aunque la presencia de capas freáticas elevadas derivadas de la posición topográfica de los puntos, complicó la extracción de muestras en algunos casos, puesto que era imposible extraer suelo de manera consistente. Se establecieron coordenadas de los puntos muestreados mediante una estación Leica GPS 1200 basada en el concepto de estación de referencia virtual (VRS). Podemos ver la referencia de estos puntos en la tabla 4.

⁸ Asociación Española de Normalización y Certificación

Tabla 4. Puntos y localización coordenadas UTM

Sondeo	X	Y	Sondeo	X	Y
p1	727292	4362814	p22	729427	4362947
p2	727536	4362121	p23	727365	4361051
p3	727601	4362152	p24	727134	4361271
p4	727647	4362113	p25	726667	4359564
p5	727465	4362358	p26	726176	4359929
p6	729391	4360076	p27	725734	4360129
p7	729202	4360569	p28	725228	4360223
p8	728928	4361235	p29	724709	4360363
p9	728673	4361887	p30	730323	4360037
p10	728314	4362520	p31	729087	4363780
p11	728019	4363534	p32	729053	4364453
p12	727503	4364751	p33	729096	4365217
p13	728244	4364312	p34	729096	4365217
p14	728104	4365204	p35	728933	4360254
p15	728115	4365797	p36	728606	4360979
p16	728166	4366295	p37	729533	4362409
p17	726471	4361801	p38	729909	4361649
p18	728249	4359840	p39	729955	4361098
p19	728062	4360196	p40	725487	4362542
p20	727812	4360544	p41	725913	4362347
p21	727556	4360820	p42	726249	4362060

3.2.2 Análisis de laboratorio

La conductividad eléctrica (CE_e) de un **extracto de pasta saturada**: Mide la salinidad de una muestra en condiciones de saturación de agua.

Para preparar el extracto (Porta *et al.*, 1986) se añade agua desmineralizada a una muestra seca y tamizada, hasta conseguir que se forme una pasta, con suficiente agua para poder considerar que está saturada y sin que aparezcan dos fases por exceso de agua. Se deja equilibrar la pasta y después se extrae el líquido filtrando con un embudo buncher al vacío.

Los métodos empleados para analizar los diferentes parámetros físico químicos que a continuación se describen están contemplados en el Orden Ministerial 8/2/88 (métodos de medición y frecuencia de muestreos y análisis). Para el análisis en laboratorio se ha seguido como manual *el Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual Soil Survey Investigations Report No. 51 Version 2* publicado en el 2014 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Dicho manual describe, para cada uno de los parámetros físico-químicos a analizar, el objetivo que se pretende conseguir mediante el análisis, los materiales necesarios a

emplear y la metodología o pasos a seguir para la obtención de resultados fiables. Los parámetros analizados y los métodos analíticos utilizados son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Métodos analíticos

	Método	Referencia al método	Unidades
Bicarbonatos	Volumétrico	USDA	meq L ⁻¹
Cloro	Mohr	USDA	meq L ⁻¹
Potasio	Fotometría de llama	MOA	meq L ⁻¹
Magnesio	Complexiométrico	USDA	meq L ⁻¹
Sulfatos	Turbidimétrico	MOA	meq L ⁻¹
Calcio	Fotometría de llama	MOA	meq L ⁻¹
Sodio	Fotometría de llama	MOA	meq L ⁻¹
pH	Electrodo	USDA	Ud. pH
Salinidad	Electrodo	USDA	dS m ⁻¹
Materia Orgánica	Ignición	USDA	%

Para una información más detallada de los pasos analíticos para la determinación de los mismos consultar **ANEJO I**.

3.2.3 Cartografiado

Tras obtener los resultados de los análisis realizados en el laboratorio se procedió a su evaluación espacial mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) que se define como una metodología o herramienta plasmada mediante software informático que permite recoger, almacenar, manipular, recuperar e iterar datos espaciales georeferenciados de cara a una gestión del recurso o recursos estudiados. (Elangovan, 2006).

Obtenidas las coordenadas de cada uno de los puntos mediante un GPS, se introdujeron los datos y se realizaron los mapas con los valores de concentración y características del suelo. Estos mapas georeferenciados y superpuestos sobre una ortofoto de la zona de estudio, nos muestran los valores de las propiedades que se llevan a estudio dándonos una idea de la situación actual de los suelos de la zona norte de la albufera.

A continuación se muestra un ejemplo del proceso seguido con el programa de geoestadística ArcMap mediante el cual se llega a la elaboración de los mapas de caracterización de las variables edáficas a 0-20 y 20-40 centímetros, así como los mapas de rendimientos potenciales para la capa.

Para el cartografiado de las variables edáficas se utilizó el método de máxima entropía bayesiana, estableciendo manualmente los rangos para la presentación de valores. Este método, especialmente diseñado para gestionar simultáneamente datos de espacio / tiempo de diversa naturaleza y calidad (datos "duros" y "blandos", continuos o categóricos). Se basa en un procedimiento de dos pasos que implica primero un paso de entropía máxima para obtener objetivamente una distribución previa de acuerdo con los conocimientos generales disponibles, y un paso de condicionamiento Bayesiano operacional que actualiza esta función de distribución de probabilidad previa con respecto a los datos recopilados en el sitio de estudio.

Todos los datos analíticos expuestos en el apartado de metodología, se plasmaron gráficamente.

Por otro lado para el cartografiado y obtención del mapa de rendimientos potenciales, destacar que estas fueron las pautas seguidas:

1. Se seleccionó la capa de salinidad y se convirtió en capa de vectores.(Figura 8)

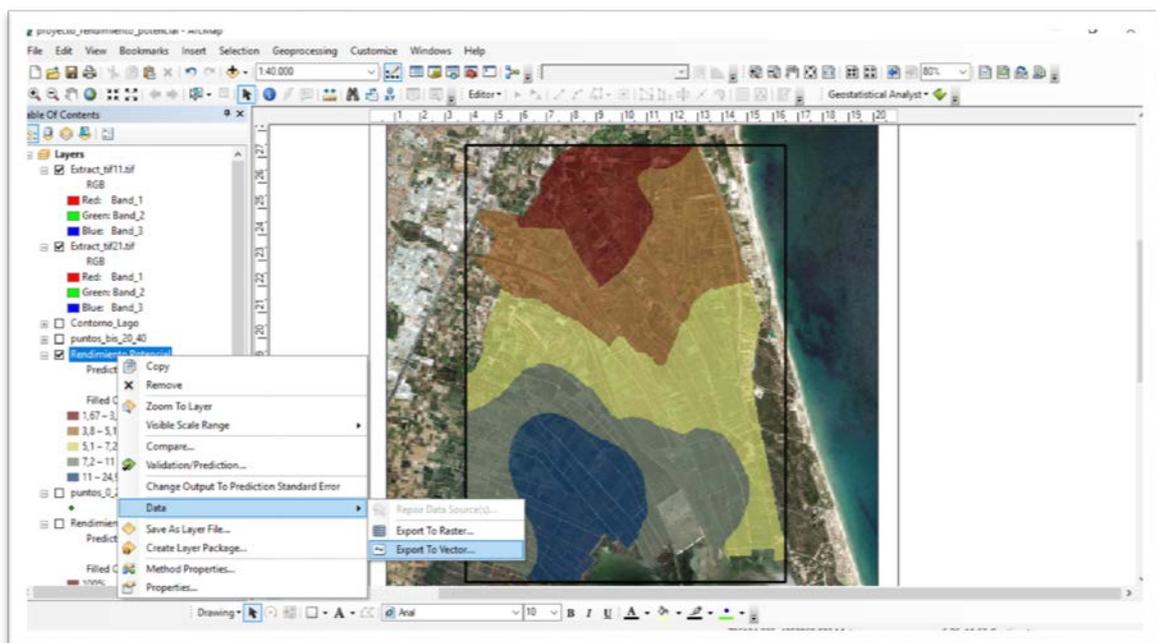


Figura 8. Arc Gis 1/6

2. Se seleccionan las mismas clases para la obtención de una capa de vectores en formato shp.(Figura 9)

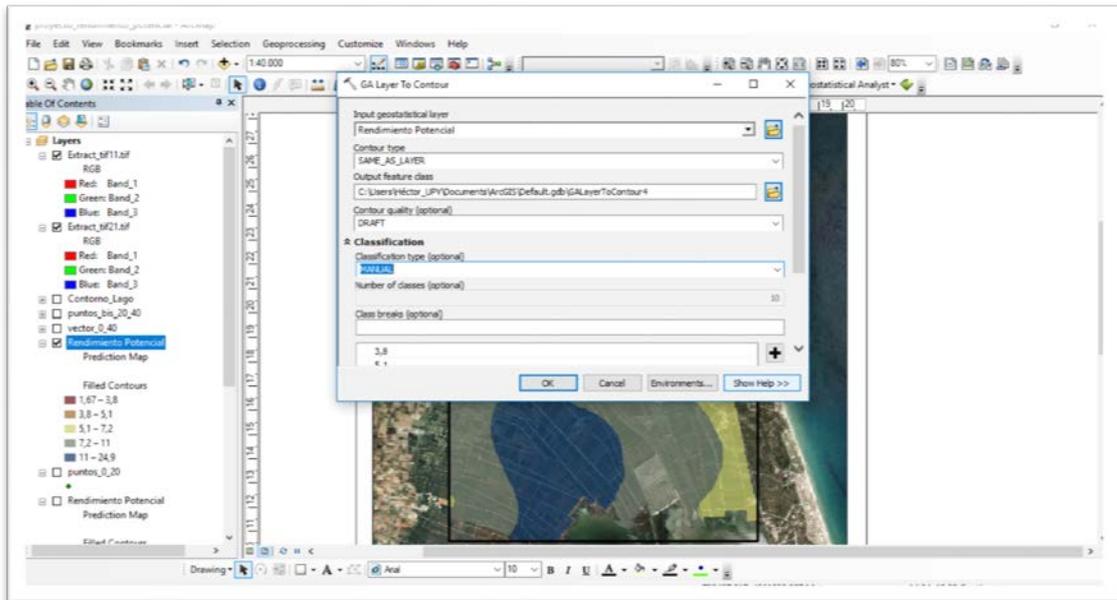


Figura 9. Arc Gis 2/6

3. Se representaron las mismas clases y se obtuvo la tabla con las áreas de ocupación. (Figura 10 y 11)

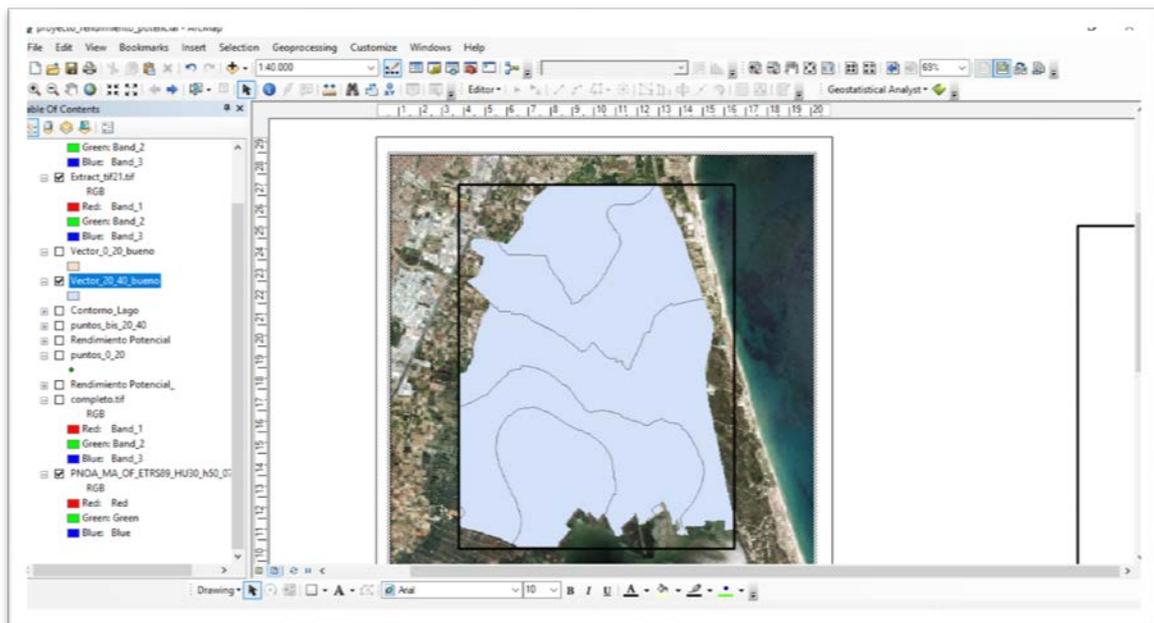


Figura 10. Arc Gis 3/6

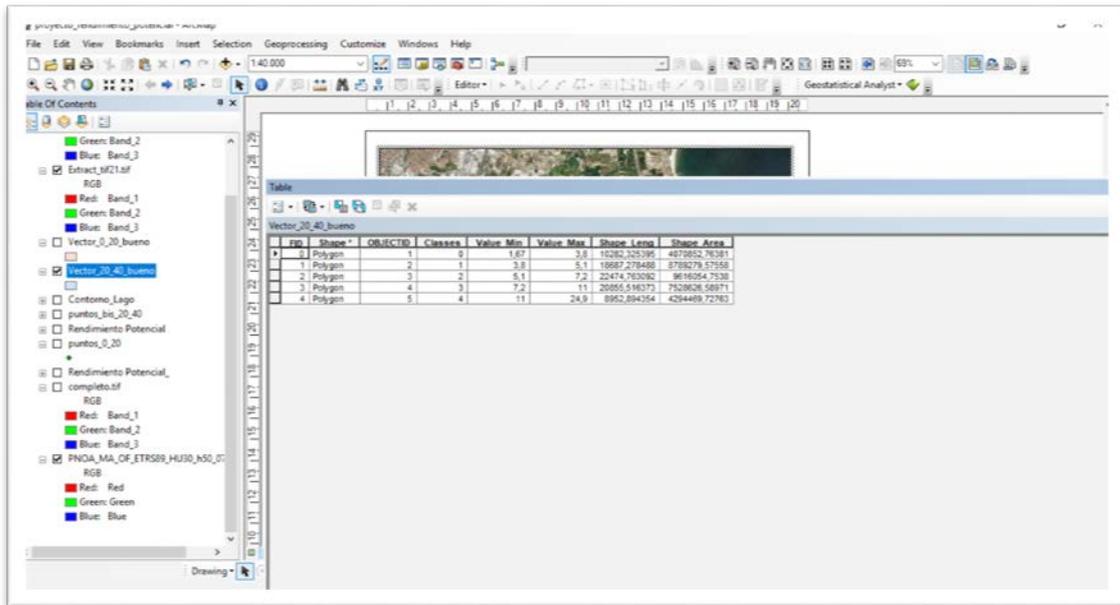


Figura 11. Arc Gis 4/6

4. Una vez se realizó esta operación con las dos capas (0-20cm, 20-40cm) se realizó una intersección de los polígonos (vectores) para ver su combinación (capa 0-40). (Figura 12)

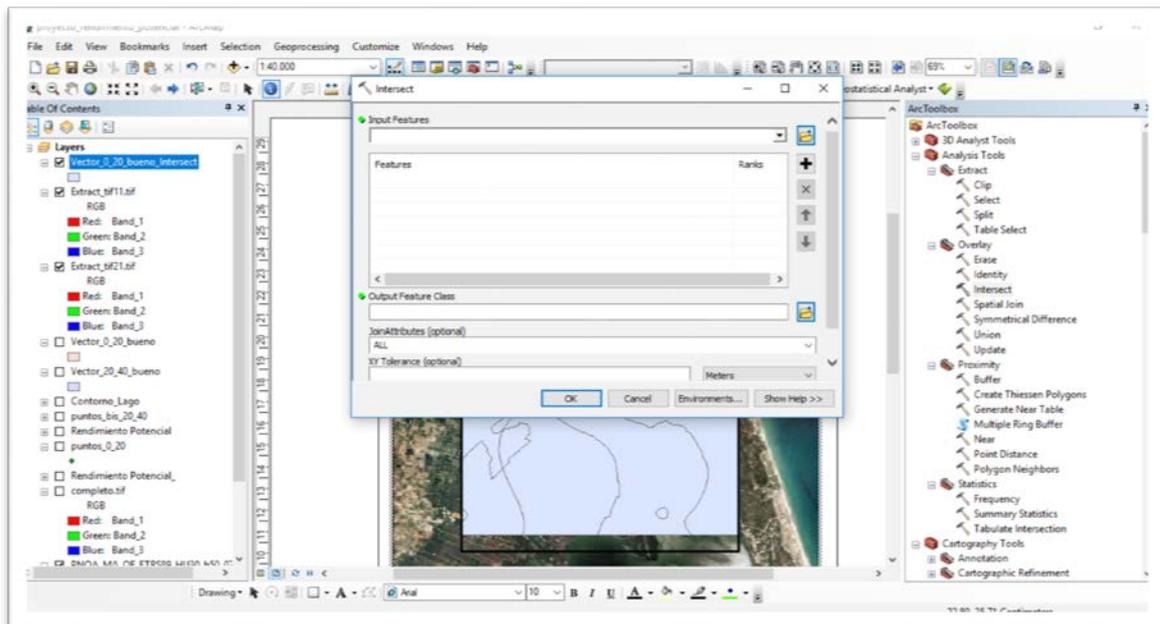


Figura 12. Arc Gis 5/6

5. Se obtiene el mapa y se pasa a raster representando la potencialidad del cultivo del arroz en función de la salinidad de los suelos. Para la obtención de las diferentes clases se ha utilizado. La FAO⁹ establece según la conductividad del suelo un rendimiento esperado del cultivo del arroz como podemos observar en la tabla 6. Esta tabla junto a los valores de CE reflejados en los mapas para ambas

⁹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura

capas (0-20 y 20-40cm) sirvió para la elaboración del mapa de rendimientos potenciales, resultado reflejado en la figura 13.

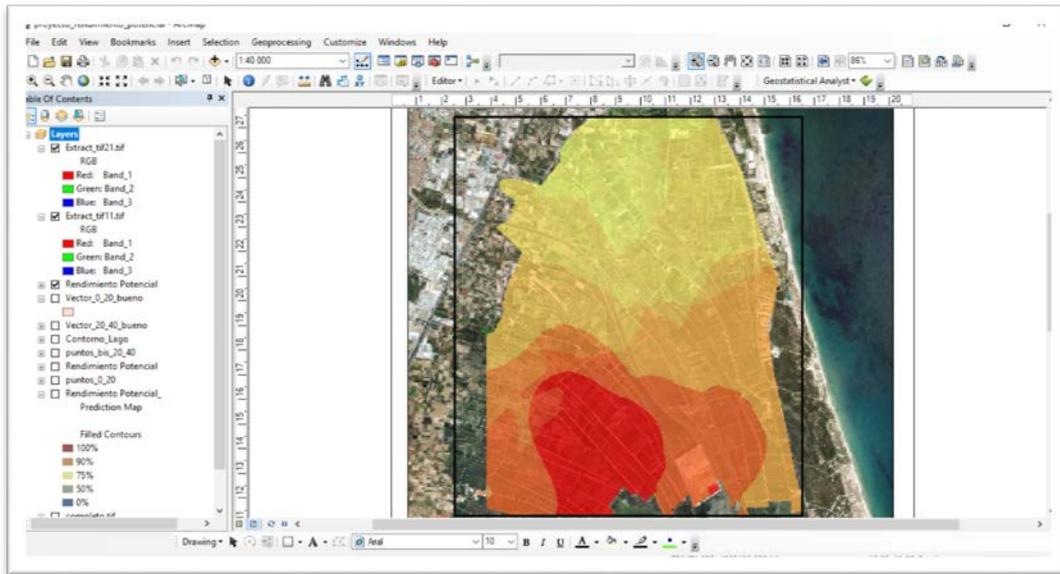


Figura 13. Arc Gis 6/6

Tabla 6. Rendimiento potencial del arroz (Fuente:FAO)

Cultivo	Rendimiento Potencial									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Arroz (Oriza sativa)	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6

EC_e: Conductividad extracto saturado; EC_w: Conductividad agua

3.3 Software

- Arc Map: Es una aplicación de ArcGis que permite crear mapas. Es la aplicación central para todas las áreas que tengan que ver con mapas, incluyendo cartografía, análisis de mapas y edición. Se utiliza en este trabajo para crear un entorno donde las páginas de mapas contienen las vistas geográficas así como otros elementos cartográficos flechas de norte y mapas de referencia para su posterior presentación.
- Statgraphics: Programa de análisis estadístico utilizado en este proyecto para el análisis de los resultados de laboratorio.
- AcQua: Programa para representar los resultados obtenidos en este proyecto.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Suelos de la zona Norte

Del total de 21 muestras analizadas en la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia, los datos medios referentes a su caracterización básica aparecen reseñados en la tabla 7.

Tabla 7. Valores generales

	Materia orgánica (%)	CE _e (dS m ⁻¹)	pH _e
Promedio	4,60	7,83	7,82
Desviación Estándar	2,15	6,38	0,32
Coefficiente de Variación	46,66%	81,46%	4,09%
Mínimo	0,07	1,67	6,85
Máximo	13,08	32,20	8,45

Valor del pH	Calificativo
pH < 4.5	Extremadamente ácido
4.5 ≤ pH < 5.0	Muy fuertemente ácido
5.0 ≤ pH < 5.5	Fuertemente ácido
5.5 ≤ pH < 6.0	Medianamente ácido
6.0 ≤ pH < 6.6	Ligeramente ácido
6.6 ≤ pH ≤ 7.3	Neutro
7.3 < pH ≤ 7.8	Medianamente básico
7.8 < pH ≤ 8.5	Moderadamente básico
8.5 < pH ≤ 9.0	Ligeramente alcalino ¹
9.0 < pH ≤ 10.0	Alcalino
10.0 < pH	Fuertemente alcalino

¹ Químicamente los conceptos de básico y alcalino son casi sinónimos, pero edafológicamente no: un suelo alcalino es aquel de pH superior a 8.5 y en cuyo complejo de cambio abunda o predomina el catión Na⁺.

Figura 14. Interpretación pH según los criterios USDA

Los suelos estudiados entre una profundidad de 0-80 cm son moderadamente básicos (pH de 7.82) según los criterios USDA (tabla 15, figura 15), siendo el valor máximo de 8.45. La localización de este punto (p12), está al este del parque natural y se registró a una profundidad de 0-20 cm. En la figura 9 se observa una representación del balance de cationes y aniones del suelo (diagrama de Stiff). En él, claramente se puede observar el contenido en calcio y sulfato de la muestra. El carácter básico de la cuenca vertiente al lago, con un importante aporte de sedimentos carbonatados, puede ser la explicación a dichos valores tal y como refleja un estudio previo sobre el parque natural (Moreno et al., 2015). El pH del suelo, característica básica en el comportamiento del suelo, puede determinar la precipitación de algunos iones del sistema de cambio produciendo desequilibrios. El pH óptimo para el cultivo del arroz es de 6,6 (Ponnamperuma, 1977), siendo como se puede haber observado muy inferior al obtenido en este estudio.

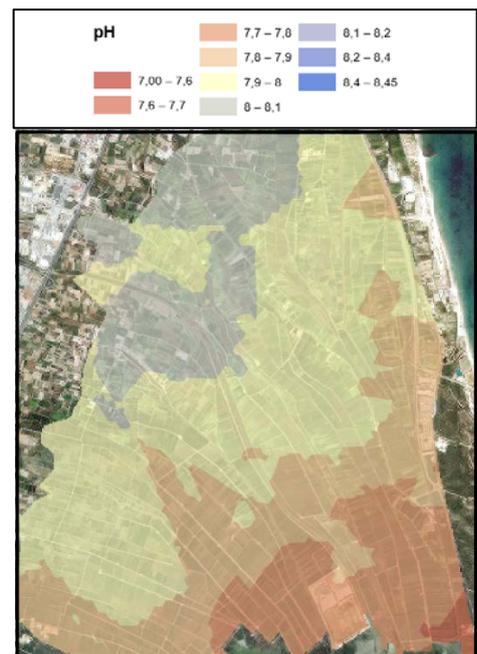


Figura 25. Mapa distribución pH 0-20cm

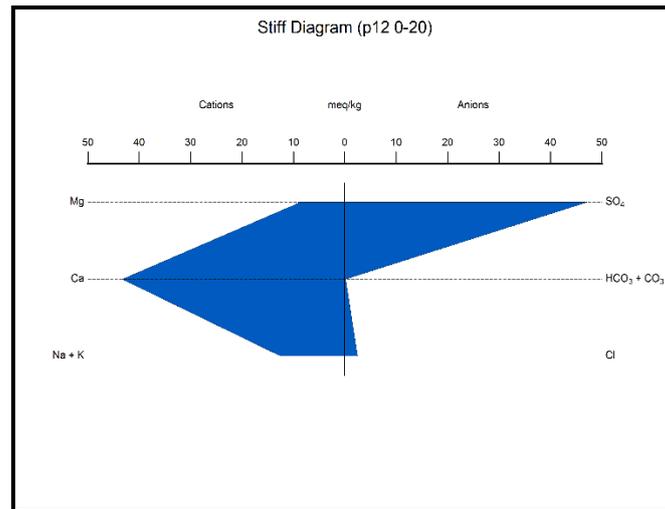


Figura 16. Diagrama p12 (0-20)

Los valores de desviación estándar y coeficiente de variación de la tabla 6 reflejan una homogeneidad en la zona de estudio con un valor máximo de 8,45. El promedio de 7,83 nos indica un carácter básico.

Como podemos observar en los mapas de pH del **anejo II** este carácter básico se distribuye principalmente hacia la zona Norte acentuándose en la capa 20-40 cm.

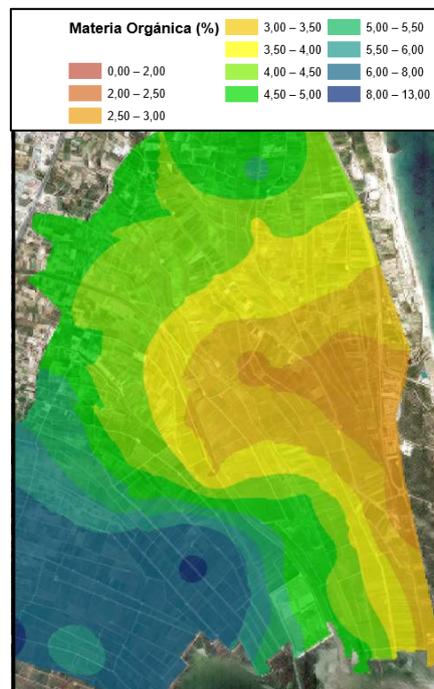


Figura 17. Mapa distribución M.O. 20-40cm

En cuanto al contenido de materia orgánica es de destacar que los humedales suelen ser sumideros de carbono, al acumular materia orgánica debido a su elevada capacidad para generar material vegetal, característica típica de los humedales. En el caso de la Albufera de Valencia el ciclo del cultivo del arroz incluye varias labores que provocan la oxidación de la materia orgánica en el suelo. Los puntos con mayor porcentaje en

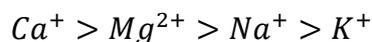
materia orgánica se encuentran en la parte suroeste de la zona de estudio. Por contraste las zonas con menor contenido en M.O. se sitúan en la parte cercana a la restinga como se observa en la figura 17.

Por último y como se ha visto comentado anteriormente un suelo se considera salino cuando su CE_e es superior a 4 dS/m. La medición de la salinidad se realizó en la CE del extracto de saturación. Como hemos podido observar el valor promedio es 7,83 dS/m lo cual ya nos indica la alta salinidad existente en la zona. Aun así los valores son muy dispares encontrándonos en un rango de 1,67 hasta 32,20 dS/m.

En los mapas de CE podemos observar como el carácter salino del suelo disminuye a medida que nos alejamos del lago hacia la zona Norte siendo mucho más acentuado en la capa 20-40 cm especialmente en la zona del "Tancat de la Pipa" donde se registran los valores máximos de CE_e . En la capa más superficial, la cual nos interesa más para el cultivo del arroz, los valores alcanzan hasta 12 dS/m.

4.2 Contenido en Cationes y aniones principales

Por lo que respecta al contenido en sales de los suelos del P. Natural de la Albufera de Valencia, se ha de destacar los valores obtenidos en la solución del extracto de saturación tabla 8. Estos en suelos de regiones áridas y semiáridas los cationes o bases de cambio se suelen presentar con la siguiente distribución (Porta, 2003):



Como observamos en la tabla 7 el Ca^+ se manifiesta como el catión más abundante y el K^+ , en contraste, como el menos cuantioso.

Tabla 8. Valores cationes y aniones

	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)
Promedio	8672,19	11,56	1142,49	668,81	1338,41	48,90	2829,93
Desviación Estándar	7826,24	7,60	747,36	432,65	1513,88	33,26	2409,94
Coefficiente de Variación	90,25%	65,69%	65,41%	64,69%	113,11%	68,03%	85,16%
Mínimo	1321,40	2,24	68,77	14,58	184,89	5,50	121,84
Máximo	31461,88	52,91	2508,34	1719,17	8857,60	153,40	16607

4.2.1 Calcio

El Ca^{+2} contribuye a la fertilidad del suelo ya que desplaza al hidrógeno (H^+) presente en la superficie de las partículas de arcilla, disminuyendo la acidez. Además el Ca^{+2} mejora

la absorción de otros nutrientes por las raíces, así como su traslocación en la planta. Las elevadas concentraciones en la solución del suelo son la causa de antagonismos, por ejemplo, con el sodio.

Como podemos observar en la tabla el promedio de calcio tiene un valor de 2.829,93 mg/l con un valor máximo de 16.607 mg/l. En los mapas de distribución del calcio del **anejo II** podemos contemplar como la concentración de Ca^{+2} disminuye a medida que nos alejamos del lago. En la zona más cercana al lago encontramos los puntos de máxima concentración que se acentúan de manera considerable en la capa 20-40cm del suelo, con una diferencia porcentual a la capa superior de 24,44% en concentración media. La elevada concentración de este catión es consecuencia directa el carácter carbonatado de la cuenca sedimentaria.

4.2.2 Carbonatos y bicarbonatos

La disolución de calizas y dolomías facilitada por la presencia de CO_2 en el espacio poroso del suelo y/o ácidos orgánicos o inorgánicos es una de las fuentes principales de carbonatos y bicarbonatos en suelos.

En los mapas de distribución del **anejo II** observamos como el aumento en la concentración de bicarbonatos se encuentra en las zonas cercanas al lago. En la capa 20-40 cm hay una tendencia hacia el Suroeste, mientras que es en la capa más superficial donde se encuentran las mayores concentraciones. La distribución es más dispersa y no secunda la correlación de a menor distancia del lago mayor concentración, hecho que aparece reflejado en el artículo ya citado de Moreno, *et al* en 2015. La diferencia de concentración entre capas es la mínima entre los iones analizados con 4,81%. Seguidamente se representan los puntos p38 y p26 con altas concentraciones en bicarbonato en las figuras 18 y 19.

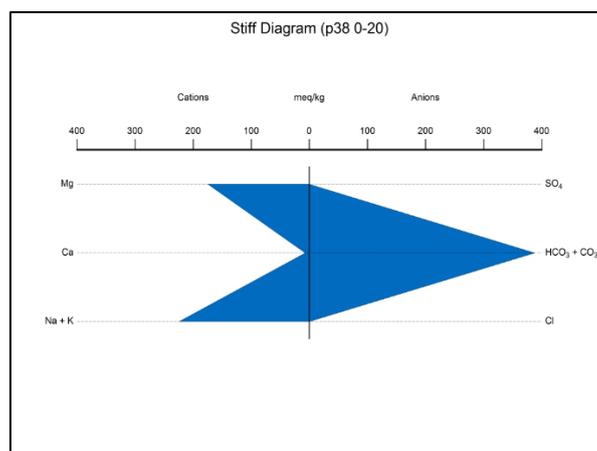


Figura 18. Diagrama p38 (0-20)

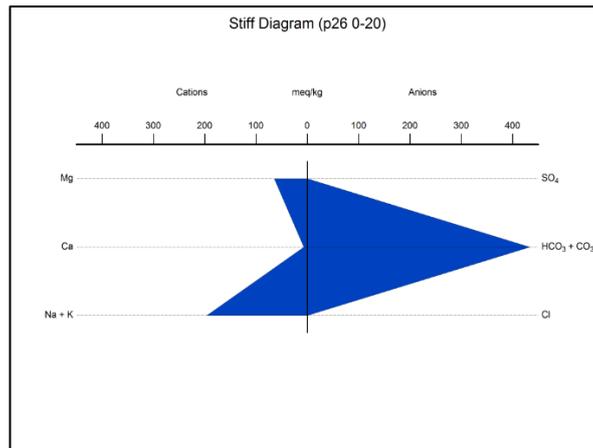


Figura 19. Diagrama p26 (0-20)

4.2.3 Cloro

En las zonas costeras, zonas áridas y semiáridas, el agua subterránea disponible es salina y puede contener alta concentración de cloruros.

Dado que el cloruro es un anión muy soluble se mueve fácilmente con el agua en el suelo. Por lo tanto, la calidad del agua de riego y el manejo de riego son los principales factores que afectan la concentración de cloruro en el suelo.

La correlación negativa entre distancia al lago y concentración vuelve a ser notoria en este anión y como se puede ver en el **anejo II** los valores de concentración aumentan a medida que nos acercamos hacia el lago, donde podemos encontrar el punto de máxima concentración situado en la capa 20-40cm y cuyo valor es 31.461,88 mg/l concretamente en la zona de "El brosar". La diferencia porcentual entre capas en cuanto a concentración asciende al 36,18%.

4.2.4 Magnesio

El magnesio puede proceder de la disolución de rocas carbonatadas dolomías y calizas magnesiana, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos.

En el mapa de distribución se aprecia como las concentraciones máximas para ambas capas se sitúan entre el "Tancat de la Pipa" y el puerto de Silla. La concentración máxima la encontramos una vez más en la capa 20-40cm con un valor de 16.607 mg/l.

Entre capas podemos establecer una diferencia de concentración del 21,57%.

El magnesio en cuanto a carácter de distribución acompaña al del calcio hecho que se explica por su origen geológico, procedentes de la meteorización de calcitas y dolomías.

4.2.5 Potasio

El potasio presente en aguas naturales procede de la meteorización de los feldespatos y la disolución de rocas evaporíticas.

En el mapa de concentración de potasio (figura 20) se puede observar como las zonas colindantes al lago poseen una concentración mayor de cationes de potasio, concentración que se acentúa en la capa 20-40cm con un 28,43%, donde encontramos la concentración máxima de 137,65 mg/l. Su concentración a pesar de escasa, puede deberse a intrusiones marinas y presencia de KCl en la zona.



Figura 20. Mapa distribución potasio 20-40cm

4.2.6 Sodio

Procede de la meteorización de los silicatos y la disolución de las rocas sedimentarias de origen marino y evaporítico, siendo en el caso de las zonas litorales y costeras su aporte debido principalmente a la intrusión marina.

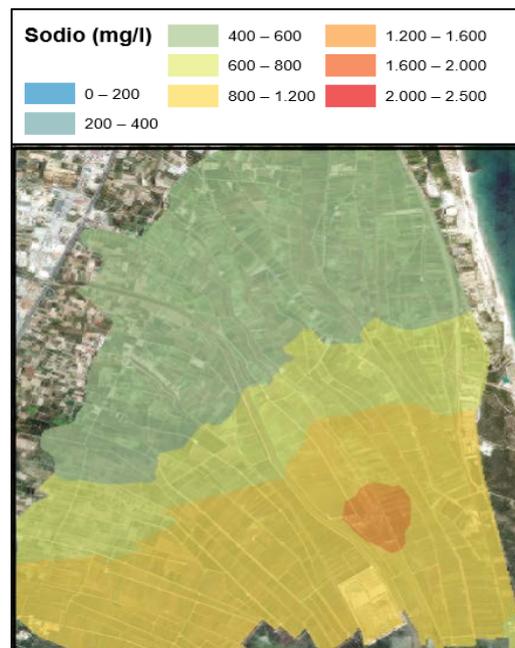


Figura 21. Mapa distribución sodio 0-20cm

En los mapas de distribución de concentraciones podemos observar en la figura 21 una vez más como las concentraciones más altas se encuentran en las zonas cercanas al lago pero esta vez en la capa 20-40cm, donde encontramos las concentraciones más altas. En este caso la diferencia de concentración entre capas es la mayor con un 42,92%. La distribución se distancia un poco del lago hacia la zona del puerto de Silla. Coincidiendo geográficamente con los valores de Cl^- lo que nos da una idea de la caracterización de las sales en los suelos de las zonas de “El Brossar” y “Mata del rey”.

4.2.7 Sulfatos

El sulfato presente en las aguas naturales procede del lavado de materiales sedimentarios salinos, de la oxidación de sulfuros y de la descomposición de sustancias orgánicas entre otras, siendo en este caso la disolución de yeso y la anhidrita el que mayor cantidad de ion aporta a las aguas.

La concentración de sulfatos en la zona de estudio va desde 68,77 a 2.508,34 mg/l en este caso las concentraciones repiten una distribución con tendencia a aumentar hacia la zona de Silla, zona conocida como “El Saladar”. En la capa 20-40cm, es donde encontramos las mayores concentraciones. Las diferencias de valor entre ambas capas son del 12,97%. Estos valores máximos coinciden con los del K^+ lo que nos da una idea de las posibles sales que nos podemos encontrar en esas zonas. La figura 22 nos da una idea de la caracterización de los sulfatos.

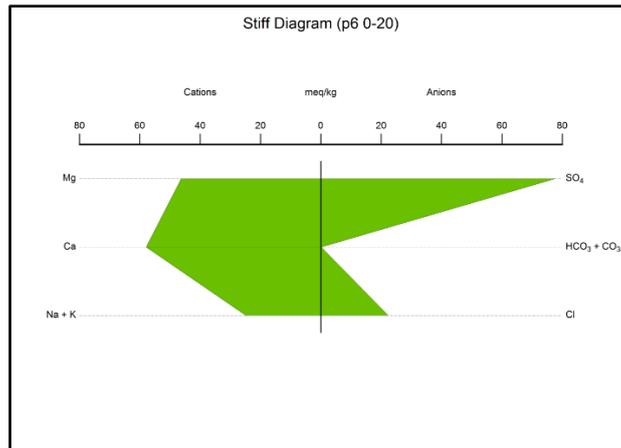


Figura 22. Diagrama p6 (0-20)

4.3 Capacidad del suelo

El mapa de rendimiento potencial para la capa 0-20 cm muestra que en un 56% de la superficie estudiada el rendimiento del cultivo del arroz sería del 100% en la zona más alejada del lago, mientras que al acercarse al mismo se disminuiría un 75%.

Por otro lado, para la capa de 20-40cm se advierten reducciones de hasta el 100% del rendimiento, en las zonas colindantes al lago ocupando el 13% de la zona.

El mapa de capacidad potencial del suelo a una profundidad de (0-40cm) (figura 23) muestra que un 11% de la superficie presentara rendimientos del arroz inferiores al 38%, siendo la superficie de la zona de estudio que podría presentar un rendimiento mayor del 90% del 38% del área. El resto del área, presenta rendimientos entre el 38 y el 70%.



5 Conclusiones

Los suelos de la Albufera de Valencia tienen un contenido en materia orgánica medio y un alto grado de salinidad. Los niveles medios son superiores a 4 dS/m, y alcanzan valores extraordinariamente altos en profundidad. Los suelos de la zona norte están salinizados en más del 58% de la superficie, siendo este alto grado de salinización mayor en las zonas cercanas al lago frente a las zonas altas como las de Pinedo, donde la salinidad de los suelos es mucho menor.

En referencia al cartografiado del contenido en cationes y aniones se puede afirmar que la distribución espacial presenta concentraciones mayores en zonas colindantes al lago a excepción de los bicarbonatos, siendo el único parámetro con un comportamiento diferente. En consideración a su distribución en profundidad las concentraciones de todos los cationes y aniones analizados han resultado mayores en la capa 20-40 cm. La variación porcentual media de todo el conjunto de iones es de un 24.78%, siendo el sodio el que mayor diferencia presenta entre las capas 0-20 y 20-40. Exactamente la capa 20-40 presenta un 42.92% más de concentración media que la capa 0-20. Por el contrario, el bicarbonato presenta únicamente un 4.81% medio de diferencia entre ambas profundidades.

Si tenemos en cuenta los mapas resultantes de la potencialidad de cultivo del arroz en función de la salinidad del suelo para la capa 0-20, toda la superficie presenta rendimientos superiores a 75%, pudiéndose producir una merma del 25% en el 56% de la zona estudiada.

La zona radicular del cultivo del arroz se localiza en los 20 primeros cm del suelo, por lo que explicaría el rendimiento de este cultivo en el Parque Natural. Además el riego con aguas de mejor calidad (no salinas) provoca un desplazamiento del frente salino en profundidad. No obstante, la salinidad provoca pérdidas de rendimientos (según conversaciones con los agricultores), pero dichos datos no han sido todavía contrastados a nivel institucional.

En referencia a la potencialidad de los suelos para el cultivo del arroz en la capa 20-40, destacar que a esta profundidad en un 63% de la superficie la reducción es mayor del 75%, por lo que la capacidad de uso de estos suelos se ve claramente reducida.

Por último si se combinan ambas capas (0-40 cm), encontramos un mapa potencial del suelo para el cultivo del arroz que nos indica que más del 51% de la superficie registraría rendimientos del cultivo inferiores al 75%. No es habitual realizar labores tan profundas en la marjal y en los campos de arroz, pero dicho manejo no evita el riesgo potencial de la mezcla de horizontes por subsolado o movimiento de tierras profundas.

Por último destacar que la capacidad de uso se ve claramente influenciada por la cercanía al lago, siendo las reducciones de la producción mayores en la zona de los

tancats colindantes al lago, donde la cota del terreno es la más baja (sobre el nivel del mar) y los suelos se encuentran a una cota inferior a la lámina de agua del lago. Será posible por tanto utilizar la salinidad del suelo como indicador de la reducción de la producción en el arrozal.

De este modo y como líneas futuras sería interesante:

- El estudio y uso de variedades resistentes a la salinidad que se adapten mejor a las características del suelo.
- Asegurar una lámina de agua constante y de calidad para desplazar las sales del perfil y que las raíces no sufran dicho estrés salino
- Evitar volteos de tierra que puedan elevar las sales de capas más profundas hacia capas más superficiales.
- Diagnosticar y localizar el problema de la salinidad en cada tancat, controlando los rendimientos de producción reales de forma integral.
- Cartografiado (georreferenciada y datada) de áreas salinas, para un control de la variabilidad espacial y temporal, vigilando y monitorizando de los niveles de salinidad.

6 Bibliografía

- BRIDGES, E.M.; BATJES, N.H. & NACHTERGAELE, F.O. (Eds.). (1998). *World Reference Base for soil resources: atlas*. Leuven: ACCO.
- CHAPMAN, V.J., (1974). *Salt marshes and salt deserts of the world*. Plant Science Monographs. Verlag Von J. Cramer. Lehre.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR. (2006). *Informe seguimiento hidrológico de l'Albufera de Valencia*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/albufera/Hidromorfolgica%20Informes/Informe%20a%20C3%B1o%20hidrol%20C3%B3gico%202005-06%20Trimestre%203.pdf>
- DELGADO, M.J. (1998). *Suelos y Vegetación en afloramientos volcánicos neógenos de la zona litoral del Sureste peninsular*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia. P.390.
- ELANGO VAN, K. 2006. *GIS: Fundamentals, Applications and Implementations*. New India Publishing. Nueva Delhi. India pp. 208
- FAO (2017) <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- INIA (1962) *Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Instituto nacional de investigaciones agrícolas. Secretaría de agricultura y ganadería Mexico
- INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS. AGROSAL. *Factores que influyen en la salidad del suelo*. (<http://www.agrosal.ivia.es/factores.html>)
- MAAS, E.V., HOFFMAN, G.J. (1977). *Crop salt tolerance: Current assessment*. J Irrig. Drain E-ASCE 103: pp.115-134
- MARTÍN JIMENEZ, J. (2007). *Valoración económica mediante modelos multicriterio del Parque Natural del Marjal de Pego-Oliva*. Universitat Politècnica de València. Directores: Jerónimo Aznar y Vicente Estruch.
- MORENO RAMÓN, H. (2013). *Evaluación espacio-temporal de las aguas y suelos de la zona colindante al lago de la Albufera de Valencia: Intento de recuperación*. Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. p.38
- MORENO RAMÓN, H.; MARQUÉS MATEU, A.; IBAÑEZ ASENSIO, S.; GISBERT BLANQUER, J.; (2015). *Wetland soils under rice management and seawater intrusion: Characterization and classification*. Spanish journal of soil science.

- NGUYEN, L.; WATANABE, T. & FUNAKAWA, S. (2014). *Spatiotemporal variability in soil salinity and its effects on rice (Oryza sativa L.) production in the north central coastal region of Vietnam*. Soil Science and Plant Nutrition. 60(6), pp.874-885.
- SOIL SURVEY STAFF. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA Natural Resources Conservation Service, Agric. Hdbk. 436, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 869 pp.
- OFICINA TÉCNICA DEVESA-ALBUFERA. (2010). *La Gestión l'Albufera de Valencia y su Devesa*. (<http://www.albufera.com/parque/sites/default/files/descargas/gestion.pdf>)
- OFICINA DE GESTIÓN TÉCNICA DEL PARC NATURAL DE L'ALBUFERA. (2002). *Importancia del cultivo de arroz en el Parc Natural de l'Albufera*. Generalitat Valenciana. (http://www2.chj.gob.es/albufera/01_WEB_ED/01_AV_DSAV/04_GA/01_MC/7-Linkdocs/21121_Importancia%20arrozal%20Albufera.pdf)
- ROSELLÓ, V.M (1996) *El parque natural de la Albufera de Valencia*. Boletín de la Real Sociedad Geográfica, 132, pp. 135-150
- SANCHIS IBOR, C. (2007). *La construcció d'una icona paisatgística. L'albufera de València (1889-1939)*. Saitabi: revista de la Facultat de Geografia i Història. 57, 2007, pp. 241-260
- PEARSON, G. A. (1960). *Tolerance of crops to exchangeable sodium*. U.S.D.A. Int. Bull, nº 216, p.4.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1997. *Physiochemical properties of submerged soils in relation to fertility*. IRRI Research paper series nº5. International research institute. Manila Filipinas. pp.32.
- PORTA i CASANELLAS, J.; LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M. & ROQUERO DE LABURU, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente (3ª ED.)*. Madrid: Mundi-Prensa. pp. 929
- SANCHIS IBOR, C. (2001). *Regadiu i canvi ambiental a l'albufera de València*. Valencia: Publicacions Universitat de València.
- SEGARRA FERRANDO, J., DIES JAMBRINO, B. (2014). *El parc natural de l'Albufera. Un paisaje cultural cargado de historia*. Revista PH. nº 85 abril 2014, pp. 54-77
- THOMPSON, L., TROEH, F. (2004). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Reverté.
- USDA, (1998). *Keys to Soil Taxonomy. Eighth edition. U.S. Governamnet Printing Office. Washington, D.C. p.326*
- VEGAS, R. (1992). *The Valencia Trough and the origin of the Western Mediterranean basins*. Tectonophysics. Volumen 203. pp. 249-261.