



UNIVERSIDAD DE MURCIA

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA,
GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA**

**Caracterización y Riesgos de Salinización de los Suelos
de la Red de Riegos del Bajo Segura**

**Dña. Ana Francisca García Navarro
2015**



UNIVERSIDAD DE MURCIA

Facultad de Química

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología

**CARACTERIZACIÓN Y RIESGOS DE SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA
RED DE RIEGOS DEL BAJO SEGURA**

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR:

Ana Francisca García Navarro

DIRIGIDA POR:

Dr. D. Antonio Sánchez Navarro

Dra. Purificación Marín Sanleandro

Dr. Roque Ortíz Silla

Murcia, 2015

Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi más sincero agradecimiento a los directores de esta Tesis, por haber podido contar con sus consejos, así como con su apoyo incondicional durante este tiempo y de haberme sabido transmitir sus conocimientos, sin los cuales habría sido imposible llevar a buen término este trabajo. Ante todo, les agradezco la confianza puesta en mí, su constante amistad y las muchas horas que han dedicado para que este trabajo salga adelante. Siempre les estaré muy agradecida por todo lo que han hecho por mí y porque siempre han estado ahí, tanto en los buenos como en los malos momentos.

A Asun, María José y Purita por su amistad de tantos años.

Al resto de profesores del Departamento, que han manifestado interés por este trabajo, por la ayuda prestada y su constante disposición ante mis dudas.

A mis compañeros de laboratorio, becarios, alumnos internos, etc. como María, Abel, Feli y Marina por los buenos momentos vividos.

A Arancha, por su ayuda tanto en los mapas como en la estadística, y por estar ahí siempre que la necesito con sabios consejos.

A mis compañeros, profesores de Biología en los distintos institutos en los que he estado, que siempre me han estado animando para que terminara la Tesis. En especial a Antonia Rebollo y Noelia Dolón por el apoyo mostrado en estas últimas semanas y por su amistad de tantos años.

A mi madre y hermano, porque siempre están ahí apoyándome en todo lo que hago y con muchas ganas de que terminara la Tesis. A lo largo de estos años hemos pasado por muchas situaciones difíciles y al final hemos salido para delante, y ahora no va a ser menos.

A Ramón que desde el primer día me ha demostrado su paciencia, comprensión, apoyo y cariño. Ánimo, ya sólo me queda aprobar la oposición.

A Alfonso, mi mayor alegría en la vida.

Y como no, a mi padre, que aunque hace años que ya no está con nosotros, su recuerdo sigue presente todos los días.

A Alfonso

ÍNDICE

	Pg
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	8
1.3. Objetivos.....	12
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA.....	13
2.1. Situación.....	15
2.2. Aspectos históricos, agrícolas y sociales de la comarca.....	16
2.3. Geología.....	21
2.4. Relieve.....	22
2.5. Hidrología.....	23
2.5.1. Aguas superficiales.....	23
2.5.2. Aguas subterráneas.....	24
2.5.3. Aguas de riego.....	26
2.6. Suelos.....	31
2.7. Clima.....	34
2.8. Vegetación y cultivos.....	39
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	45
3.1. Muestreo.....	47
3.2. Descripción macromorfológica.....	50
3.3. Determinaciones analíticas.....	53
3.4. Análisis estadístico de los resultados y representación cartográfica.....	60

	Pg
4. CARACTERIZACIÓN TIPOLOGICA, ANALÍTICA Y MINERALÓGICA DE LOS SUELOS	61
4.1.Descripción macromorfológica, datos analíticos y mineralogía de arcillas en perfiles.....	63
4.1.1. Descripción macromorfológica de perfiles.....	67
4.1.2. Características analíticas de los perfiles	98
4.1.3. Mineralogía de arcillas	116
4.1.3.1. Fluvisoles	117
4.1.3.2. Solonchaks	122
4.2. Muestras de capa arable	126
4.2.1. Situación y descripción de los lugares de muestreo	126
4.2.2. Determinaciones analítica generales	129
5. DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE SALES	147
5.1. Efecto de la salinidad sobre el suelo y las planta	150
5.2. Conductividad eléctrica de capa arable.....	152
5.2.1. Conductividad eléctrica 2002	156
5.2.2. Conductividad eléctrica 2004	160
5.2.3. Conductividad eléctrica 2006	163
5.2.4. Evolución espacial de la CE	166
5.2.5. Evolución temporal de la CE.....	170

	Pg
5.2.6. Velocidad de salinización	173
5.2.7. Evolución del grado salino	176
5.3. Caracterización y dinámica espacio-temporal de los iones responsables de la salinidad.....	179
5.3.1. Variación temporal de las sales	179
5.3.2. Variación espacial de las sales	198
5.3.3. Correlación entre iones	203
5.4. Relación de adsorción de sodio	207
5.4.1. Evolución temporal del RAS	207
5.4.2. Evolución del porcentaje de sodio de cambio	210
5.4.3. Velocidad de alcalinización	214
6. CAPACIDAD DE USO y FERTILIDAD	215
6.1. Capacidad de uso	217
6.2. Fertilidad.....	227
6.2.1. Macronutrientes	231
6.2.2. Micronutrientes	235
6.3. Gestión de los suelos estudiados	238
6.3.1. Zonas agrícolas	238
6.3.2. Zonas halomorfás	243
7. CONCLUSIONES.....	247
8. ANEXOS	253
9. BIBLIOGRAFÍA	281
INDICES DE FIGURAS, TABLAS, FOTOGRAFÍAS Y MAPA	299

1. INTRODUCCIÓN

El suelo constituye la capa más superficial de la corteza terrestre y es uno de los recursos naturales no renovable, junto al agua y el aire, más importantes con los que contamos los seres humanos, ya que éste resulta ser esencial para la supervivencia de cualquier especie. Es un sistema muy dinámico que ejerce numerosas funciones y desempeña un papel crucial para la actividad humana y la supervivencia de los ecosistemas, pero dicha actividad antrópica, junto a otros procesos naturales, puede conducir a la degradación más o menos rápida del mismo. La velocidad de degradación de un suelo depende de factores de tipo climático, litológico y topográfico, pero también de otros íntimamente relacionados con el tipo de suelo del que se trate y de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas.

La degradación del suelo se define por la FAO/PNUMA (1980) como un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y/o cualitativamente) bienes o servicios. Sin embargo, desde un punto de vista agrícola, Lal y Steward (1990) consideran que la degradación del suelo consiste en una disminución de la productividad como consecuencia de cambios adversos en el estado nutricional y en la materia orgánica del suelo, en los atributos estructurales y en las concentraciones de electrolitos y elementos tóxicos del suelo. Hay que destacar que no todos los procesos de degradación que tienen lugar en un suelo son inducidos por el hombre, muchos de ellos se producen de forma natural, como consecuencia de todos los procesos que están actuando en la naturaleza.

La salinización se considera, junto a la degradación de la cubierta vegetal, la erosión hídrica y la erosión eólica, como uno de los procesos primarios de desertificación, ya que sus efectos son muy amplios y tienen un impacto muy significativo sobre la producción de la tierra (PNUMA, 2002). La degradación debida a la salinización de los suelos es, sobre todo, un problema de las áreas de regadío de zonas cálidas y secas. Las pérdidas de tierras de regadío, por esta causa, son muy variables, estimándose que el 10-15% del total de las tierras de regadío sufren cierta degradación debida a la salinización y al anegamiento. En 2011 se perdieron 24 millones de toneladas de suelo fértil, lo que equivale a 3,4 toneladas por cada habitante del planeta, si pusiéramos un valor económico a dicha pérdida cada persona estaría pagando 69.5 dólares al año, y si continuásemos a este ritmo se calcula que para el 2050 la superficie de suelo fértil se verá reducida a la mitad (FAO, 2015).

El proceso de degradación de los suelos puede conducir a la desertificación de los mismos y afecta tanto a países desarrollados como a países en vías de desarrollo, aunque ésta es mucho más espectacular y dramática cuando afecta a regiones pobres, dónde desertificación es igual a hambre y marginación. En las tierras mediterráneas del sur de Europa, el riesgo de desertificación amenaza al 60% de los paisajes, lo que constituye uno de los riesgos ambientales más preocupantes de la Unión Europea, ya que los efectos sociopolíticos de la desertificación se extienden más allá de las regiones afectadas. España es el principal país europeo afectado por este proceso que está degradando al 53% de la superficie del territorio nacional, unos 270.000 kilómetros cuadrados con afección media, alta o muy alta. (Rodríguez, 2009). Concretamente, la Región de Murcia tiene la desertificación o pérdida de suelo fértil entre sus riesgos naturales más importantes, y su avance va a afectar a un 40 por ciento de la superficie, es decir, a casi medio millón de hectáreas. Los datos se recogen en el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND), en el que se indica que hay 206.601 hectáreas en la región con riesgo muy alto de desertificación, (18,27%), y 283.831 hectáreas (25,10%) con riesgo alto. Por zonas, son el Altiplano, áreas del Campo de Cartagena y el litoral, las más afectadas en la región. Estas áreas coinciden, además, con las que tienen una mayor sobreexplotación de los acuíferos (Romero Díaz, 2015).

En la zona mediterránea, hay que destacar la gran importancia que tiene la agricultura como fuente de desarrollo económico y tecnológico y su repercusión en todo el territorio. Sin embargo, este desarrollo trae consigo importantes cambios en el medio edáfico que pueden afectar seriamente a su calidad y por tanto a su productividad. La agricultura intensiva en áreas mediterráneas requiere del aporte de agroquímicos para la nutrición de los cultivos así como de gran cantidad de agua para riego, de manera que dichos factores de producción se convierten en las causas principales de la salinización del suelo cuando el agua es de mala calidad y la incorporación de abonos no es la adecuada. Esta salinización inducida por el hombre se conoce como salinización antrópica y puede tener un origen industrial, urbano o agrícola (Aragües y Cerdá, 1998).

Como se ha dicho anteriormente, los procesos de salinización en un suelo pueden ser debidos tanto a factores antrópicos como naturales. En zonas como la estudiada, tiene más influencia la mano del hombre que la evolución natural. Debido a las características climáticas de la zona, temperaturas elevadas, precipitaciones escasas

y evaporación alta, es necesario el uso de aguas de riego para asegurar el buen rendimiento de los cultivos. Cuando la calidad de las aguas de riego no es la adecuada y poseen un alto grado de salinidad, provoca un aumento de la concentración de sales en el suelo, más grave si el agua de riego escasea, como ocurre en esta zona de estudio (Martínez, 2006). El uso de aguas de mala calidad puede provocar problemas de salinización, así como la pérdida de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, bien por el aumento de la concentración salina en la capa freática, o por contaminación en las aguas superficiales, lo que también puede generar problemas en el abastecimiento de agua potable. También puede producir la alteración de la flora y la fauna tanto de los sistemas fluviales como lacustres, con incidencia en el resto de los ecosistemas (Martín de Santa Olalla y de Juan, 1993; Plaster, 2000).

Otra causa de salinización es el empleo de grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas, imprescindibles, junto con el agua de riego, en los sistemas de agricultura intensiva presentes en la zona de estudio. Generalmente los fertilizantes son muy solubles y así por escorrentía o lixiviación, pueden llegar a producir la eutrofización de las aguas tanto superficiales como subterráneas junto con la salinización de los distintos horizontes del suelo, produciendo una pérdida de su calidad. Felipó y Garau (1987) consideran que las elevadas dosis de fertilizantes que se aplican en el suelo afectan a la producción, pero no de forma proporcional a la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo, sino que a partir de una determinada concentración el rendimiento se mantiene constante y concentraciones superiores pueden producir efectos negativos, bien por ser tóxicos para el cultivo o por originar desequilibrios nutritivos al establecerse competencias por parte de otros elementos.

Como es sabido, existe una cierta relación entre los procesos de salinización y fertilización, ya que la salinidad de origen agrícola es en parte una consecuencia del incremento en la aplicación de fertilizantes para obtener cosechas más abundantes, de los procesos erosivos del suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes, del vertido directo de residuos orgánicos de granjas a los cauces y, fundamentalmente, de los flujos de retorno del regadío, cargado de sales y agroquímicos (NRC, 1989).

1.1. Antecedentes

Los problemas de salinización no son nuevos en el mediterráneo, pero la fuerte expansión que ha experimentado la agricultura de regadío en los últimos años se ha visto acompañada por un incremento de los suelos afectados por sales. Esta salinización puede conducir a una pérdida parcial o total de la capacidad productiva del suelo, al provocar una degradación interna, prácticamente irreversible, de sus propiedades químicas y físicas. Esto es conocido desde tiempos muy antiguos, habiéndose citado que la salinización de grandes áreas de tierras regadas en la llanura aluvial de Mesopotamia, al conducir a descensos drásticos en la producción de alimentos, fue una de las principales causas de la caída de la Civilización Sumérica hace ya casi 5.000 años. En todo el mundo, más de un 10% de las tierras están afectadas en condiciones naturales por algún proceso de salinización (Plá, 1991).

A nivel mundial, se pierden cada año más de 10 millones de ha de regadío como consecuencia del encharcamiento y la salinización del suelo (Szabolcs, 1989). Un informe de U.N.C.E.D (1992), declara que en zonas áridas y semiáridas como en las que se plantea el estudio, el 30% de los suelos agrícolas en régimen de regadío se degradan aceleradamente a causa de la salinización

El aumento de la superficie regada en toda la cuenca mediterránea ha ido acompañado de problemas relacionados con la salinización y pérdida de la fertilidad del suelo (Omar, 1998; Al Jaloud, 1994, etc.), afectando a unos 16 millones de hectáreas de forma moderada o grave. De ellas cerca de 1 millón pertenecen a la península ibérica.

El fenómeno de la salinización de los suelos ha sido ampliamente estudiado en la Región de Murcia por diferentes investigadores. Álvarez (1997) estudia la salinización natural en "las relaciones suelo-vegetación en saladares del SE de España", con vista a diseñar estrategias de protección de la biodiversidad de estos ecosistemas naturales dignos de conservar. Previamente, Ramírez et al. (1989) y Robledano et al. (1991a y b) estudian los humedales de la Región de Murcia y algunos del sur de Alicante, su evolución histórica, situación y perspectivas de conservación.

Estudios edafológicos de suelos salinos del sureste peninsular han sido llevado a cabo por: Caro (1970); Simón (1978); Ortiz y Caselles (1982); Ortiz et al. (1985); Ortiz et al. (1995) y Álvarez et al. (1995 a y b; 1996).

Marín (1992) hace un estudio de los suelos del sector meridional de la Vega Alta del Segura, centrándose en la caracterización macromorfológica, mineralógica y analítica de los mismos y, sobre todo, en la dinámica del K y la fertilidad de este elemento.

Arnaldos (2001) estudia la evolución de la salinidad en distintos tipos de suelos en una zona de interés agrícola de la Región de Murcia como es el Campo de Cartagena.

Vela de Oro (2002) estudia los procesos de salinización en el Valle del Guadalentín (Murcia), hace una caracterización de los suelos afectados por dicho proceso y establece las recomendaciones de uso más adecuadas para su conservación.

Vidal (2002) en la "Evaluación de los principales procesos de degradación en Fluvisoles Calcáricos de la Huerta de Murcia", detecta un importante incremento de la salinización antrópica en el tiempo al igual que Arnaldos (2000) y Vela de Oro (2002).

Otros estudios llevados a cabo en la zona fueron los realizados por Micó (2006) sobre metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas y Visconti (2009) que elaboró un modelo predictivo de la acumulación de sales en suelos agrícolas de regadío bajo clima mediterráneo; aplicación a la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó. Así mismo Nieves (1995 y 2005) ha realizado diversos estudios sobre la calidad de las aguas de riego y su influencia en los suelos y cultivos de la Vega Baja del Segura.

De Paz et al. (2011) llevan a cabo un estudio al sur de la provincia de Alicante, próxima a la desembocadura del río Segura y desarrollan una metodología que combina el uso del sensor de WET junto con geoestadística para delimitar y evaluar la salinidad del suelo dentro de una zona de regadío bajo clima mediterráneo semiárido y concluyen que dicha técnica es una forma rentable para dibujar mapas de la salinidad del suelo a escala regional y puede ser aplicable a otras zonas agrícolas bajo riesgo de salinización por causa del riego.

Acosta et al. (2011), realizan un estudio para poner de manifiesto el estado de salinización de un área agrícola de alta productividad situada en las proximidades de la ciudad de Murcia, entre los ríos Segura y Guadalentín. Estos autores encuentran que los iones responsables de la salinidad son los cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio, mientras que los fosfatos, amonio, nitratos y potasio se asociaron con la adición de fertilizantes. Asimismo, sugieren que el sulfato de calcio procede tanto del agua de

riego como de origen edafogenético, lo que indica que la salinización primaria contribuye también a la salinización del suelo en el área estudiada. Por otro lado, obtuvieron diferencias significativas entre estaciones, de manera que la conductividad eléctrica y las concentraciones de cloruro, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio y nitratos son significativamente más altas en julio. Finalmente, concluyen que el SIG es una técnica útil para identificar las fuentes u origen de las sales, la distribución espacial de iones y permite la identificación de las zonas vulnerables.

Pedrero et al. (2013), en un experimento diseñado a lo largo de cuatro años bajo condiciones de campo en un huerto pomelo en Campotejar (Murcia, España), donde el objetivo principal fue evaluar los efectos del riego con agua desalinizada frente a la procedente del trasvase Tajo-Segura, no observaron problemas de acumulación de sales en el suelo.

Martínez-Alvarez et al. (2014), en un estudio sobre los efectos de las restricciones de agua de riego en la gestión de las explotaciones agrícolas en el Campo de Cartagena, llegan a la conclusión de que el uso de aguas salinas para riego es insostenible a medio-largo plazo debido a la salinización del suelo y de los acuíferos.

Blanco (2015), realiza un estudio SIG de algunas propiedades del suelo en la cuenca del Segura y propone modelos de distribución espacial. Los modelos a escala regional elaborados sirven para estimar los valores medios de las propiedades físico-químicas seleccionadas, a pesar de no ser capaces de reflejar toda la variabilidad espacial mostrada por las mismas.

Los estudios de evaluación de procesos de degradación del suelo a escala regional y continental están actualmente en la primera línea del cambio medioambiental global. Numerosas agencias nacionales e internacionales de protección medioambiental han puesto en marcha proyectos para la monitorización de indicadores de calidad del suelo y de procesos de degradación (p. e. los muestreos LUCAS, la base de datos EIONET-SOIL, y el proyecto ENVASSO en la UE).

1.2. Justificación

Como queda patente en el epígrafe anterior, existen muy diversos estudios relacionados con la salinización del suelo en zonas próximas a la estudiada, pero son

muy escasos los llevados a cabo en el último tramo de la Vega Baja del Segura, justo antes de su desembocadura en Guardamar de Segura.

Por otro lado, la normativa europea obliga a la protección del suelo. Así la estrategia para la protección del suelo de la Unión Europea (COM 2006) propone medidas cuyo objeto es la protección del suelo y la preservación de su capacidad de desempeñar sus funciones ecológicas, económicas, sociales y culturales. La estrategia incluye el establecimiento de un marco jurídico que permita proteger y utilizar el suelo de forma sostenible, la integración de la política de protección del suelo en las políticas nacionales y comunitarias, el refuerzo de la base de conocimientos y una mayor concienciación de la población. Prevé asimismo medidas dirigidas a determinar los problemas de la salinización, prevenir la degradación del suelo y rehabilitar los suelos contaminados o degradados.

Por otra parte, la propuesta de Directiva prevé que los Estados miembros conciencien a la población sobre la importancia de la protección del suelo y que velen porque los ciudadanos puedan participar en la elaboración, la modificación y la revisión de los programas de medidas sobre las zonas de riesgo, así como de las estrategias nacionales de rehabilitación. Los Estados miembros y las instituciones comunitarias deben integrar la protección del suelo en las políticas sectoriales que puedan tener una incidencia importante en aquél, especialmente la agricultura, el desarrollo regional, los transportes y la investigación.

En 2012, la Comisión del Parlamento Europeo elaboró un informe al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, sobre la Aplicación de la Estrategia Temática para la Protección del Suelo y actividades en curso. En este informe se hace balance de la aplicación de dicha Estrategia Temática desde que se adoptó en septiembre de 2006. La Estrategia Temática ha realizado: (1) tareas de sensibilización acerca de la importancia del suelo en nuestro planeta; (2) impulsado el establecimiento de muchas herramientas y redes de sensibilización sobre el tema del suelo en los Estados miembros, en particular, la Red europea ENSA; (3) financiado con cargo al Séptimo Programa Marco de Investigación alrededor de veinticinco proyectos específicamente dirigidos a solucionar problemas relacionados con el suelo y a completar la base de conocimientos necesaria para la actuación; (4) y la Comisión ha estado trabajando en la integración de las consideraciones relativas al suelo en toda una

serie de políticas como: Política Agrícola Común (PAC), instalaciones industriales, política de cohesión y ayudas estatales para la rehabilitación de suelos contaminados. El informe concluye también que en la última década la degradación del suelo se ha agravado tanto en la UE como en todo el mundo y es probable que esa tendencia se mantenga, a menos que se haga frente a una serie de factores como son los usos del suelo, fomentando aquellos que garanticen la preservación de la materia orgánica y un uso más eficiente sostenible de los recursos.

Durante los días 11 y 12 de junio de 2013 tuvo lugar en Roma la primera reunión de la asamblea plenaria de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS), un mecanismo voluntario creado en diciembre de 2012 por el Consejo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Los participantes aprobaron el reglamento de la Alianza, se estableció el Grupo Técnico Intergubernamental sobre Suelos, se avanzó en el desarrollo de los planes de acción para los pilares de la Alianza y, en última instancia, se discutió el camino a seguir por la propia AMS. Además, la asamblea plenaria apoyó la propuesta de celebrar el Día Mundial del Suelo el 5 de diciembre de cada año y, a su vez, el Año Internacional de los Suelos en 2015, propuestas que fueron ratificadas oficialmente por la Asamblea General de las Naciones Unidas en su 68ª sesión celebrada en diciembre de 2013. La AMS permite a los países miembros y otras instituciones asociadas unir esfuerzos para preservar los recursos limitados y vitales del suelo y comenzar a revertir las tendencias alarmantes de degradación que se están produciendo. Para conseguirlo, la AMS establece cinco pilares de acción que abarcan desde la promoción del manejo sostenible del suelo mediante la armonización de los métodos y medidas empleados para ello, hasta el fomento de la inversión, la cooperación técnica, las políticas, la concienciación, la investigación y el desarrollo edafológico. La Comisión Europea, por su parte, ha sido un apoyo fundamental para el establecimiento de la Alianza Mundial por el Suelo, en consonancia con su Estrategia Temática para la Protección del Suelo. Además, la Comisión Europea está integrando el suelo en sus diferentes acciones y programas. Baste citar como ejemplo, la Hoja de Ruta por una Europa Eficiente en el uso de recursos, integrada en la Estrategia Europa 2020, y que tiene como objetivo *“que para 2020, las políticas europeas tengan en cuenta su efecto directo e indirecto sobre el uso del suelo en la UE y en terceros países, y que haga un seguimiento del porcentaje de suelo ocupado para que en 2050 la ocupación neta de suelo sea cero”*. Otro ejemplo

destacable es el Séptimo Programa de Acción en materia de Medio Ambiente, aprobado en diciembre de 2013 y que entró en vigor el 17 de enero de 2014, el cual hace un llamamiento al establecimiento de objetivos para limitar la ocupación de suelo y reconoce que la degradación del suelo es un serio desafío.

En relación con la agricultura, actividad que, como ya se ha indicado, puede afectar de forma considerable a la degradación del suelo, la Política Agrícola Común (PAC) contemplan múltiples aspectos de protección de este recurso. En las Buenas Condiciones Agrarias y Medioambientales (BCAM), desde que se introdujo la condicionalidad a las ayudas de la PAC en 2003, se hace hincapié en limitar la erosión, retener y aumentar la materia orgánica y evitar la compactación. Tras tomar nota de la experiencia adquirida, la Comisión propuso, en octubre de 2011, aclarar y especificar más las normas aplicables al suelo en el contexto de la reforma global de la PAC con vistas a 2020. En particular, ha propuesto una nueva BCAM sobre protección del suelo, atenuación de la degradación y conservación de la materia orgánica.

En este escenario, el próximo Programa de Desarrollo Rural de la Región de Murcia (PDR) para el periodo 2014-2020, contempla aspectos relacionados con el uso y la degradación de los suelos de la región, especialmente en el apartado de "detección de necesidades", establece una prioridad relacionada con el estudio de los procesos de degradación y desertificación, principalmente en suelos desnudos. Asimismo, identifica al suelo como un sumidero potencial de almacenamiento de C, por su bajo contenido en materia orgánica y, por tanto, destaca el papel importante que puede desempeñar la agricultura y la silvicultura como sumidero de CO₂. Finalmente, contempla acciones de transferencia de conocimientos e información como vehículos de transmisión para evitar la degradación de los suelos de cultivo y la pérdida de suelo fértil.

Se ha estimado que alrededor de un 10 % del total del territorio europeo está afectado por problemas de salinización, concretamente en la Península Ibérica se localizan en: valle y delta del Ebro, **curso bajo del Segura**, curso medio bajo del Guadalquivir, Campo de Cartagena, valle del Guadalentín, zonas costeras de la Comunidad Valenciana y Cataluña, curso bajo de Tinto y Odiel, Algarve y norte de Aveiro. (Gisbert, 1991; Szalboacs, 1996; Bridges y Oldeman, 1999).

Como conclusión, puede decirse que, la ausencia de estudios edáficos detallados y recientes de los suelos del último sector de la Vega Baja del Segura, junto a las

exigencias en materia de protección del suelo impuestas por la Unión Europea y asimiladas por la normativa nacional, justifican esta investigación y la vigencia de la misma.

1.3. Objetivos

El objetivo general de esta investigación es realizar un estudio exhaustivo de los suelos de la Vega Baja del Segura como paso previo para determinar la evolución de la salinización y establecer la distribución cartográfica de los componentes y propiedades que más influyen en la misma. Para conseguir este objetivo general se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar morfológica, analítica y tipológicamente los suelos afectados por procesos de salinización, así como precisar su distribución geográfica.

- Determinar cualitativa y cuantitativamente la dinámica espacio-temporal de las sales en el suelo a lo largo del periodo de estudio y determinar la velocidad de salinización del mismo.

- Identificar los cationes y aniones que más influyen en la salinización del suelo.

- Hacer un análisis geoestadístico para determinar la distribución cartográfica de las principales propiedades y componentes del suelo relacionados con la salinización.

- Conocer la fertilidad y la capacidad de uso agrícola de estos suelos, y establecer medidas de gestión y conservación adecuadas.

2. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA

ZONA

2.1. Situación

La zona de estudio se encuentra incluida dentro de las comarcas alicantinas de la Vega Baja y Bajo Vinalopó, y se extiende de norte a sur entre las coordenadas UTM 4230000-4217000 de latitud norte y 689000-706000 de longitud oeste. Ocupa un área de unos 193 km² que coincide con el sector final de la Vega Baja del río Segura o Bajo Segura, en su margen izquierdo.

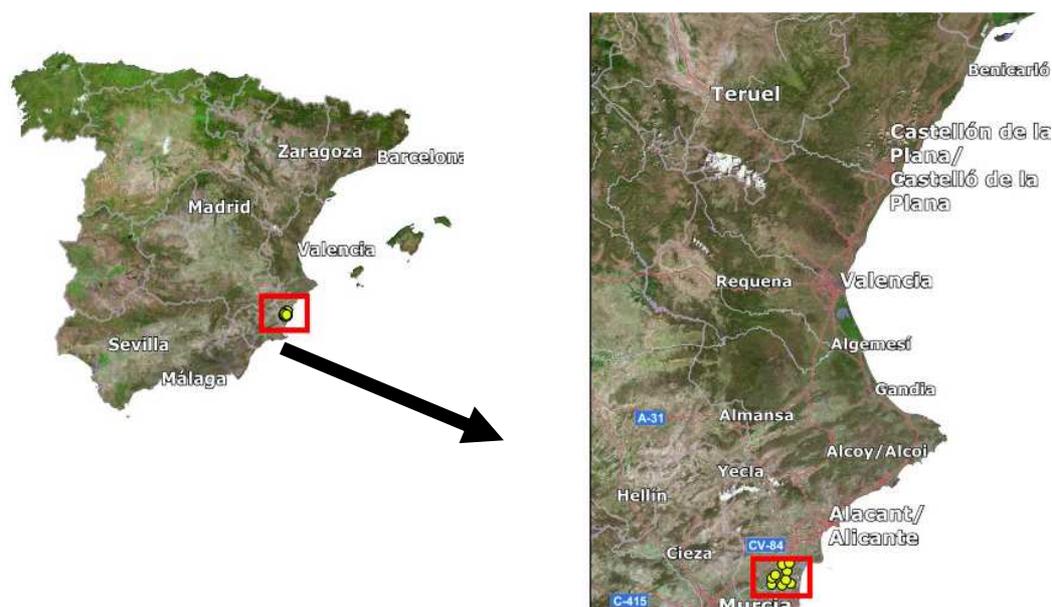


Figura 2.1. Zona de estudio

En ella aparecen total o parcialmente representados veinte términos municipales, de los cuales destacan Elche, Crevillente, Guardamar del Segura, Almoradí, Dolores, Rojales, San Fulgencio, Daya Nueva y Catral.

La principal vía de comunicación es la autopista A-32 que parte de la A7 en las proximidades de Crevillente, y que atraviesa el territorio de norte a sur. También destaca por su alta densidad de tráfico, la N-332 que va paralela a la costa. Aparecen, además, gran cantidad de carreteras y caminos que unen los innumerables núcleos de población que hay esparcidos por la zona de estudio, sirven de acceso a las distintas fincas de cultivo y constituyen la denominada Vega Baja del Segura.

Esta zona ha experimentado una profunda transformación económica, demográfica y paisajística desde 1970 a la actualidad. Principalmente se debe a dos hechos: a la llegada de las aguas del Trasvase Tajo-Segura y al aumento del turismo.

2.2. Antecedentes históricos de la zona y su repercusión en la situación actual

A lo largo de la historia han sido muchos los asentamientos humanos que han pasado y que han dejado restos de su cultura: fenicios, íberos, romanos, árabes, han sido los más importantes. Así, en la zona podemos encontrar: el yacimiento del Cabezo Lucero, donde fue encontrada la Dama de Guardamar y que data del S. IV.ac, los restos del castillo de la antigua ciudadela y el yacimiento islámico de la Rábida Califal del S. X, fortaleza militar y religiosa, declarada como Bien de Interés Cultural (BIC). También en las proximidades se encuentra el yacimiento de la Alcudía (Elche), de donde procede la Dama de Elche que data del S. IV.

Generalmente, las vegas de los ríos han sido seleccionadas por las distintas civilizaciones para establecer sus asentamientos y han sabido aprovechar sus recursos de muy diversas maneras, siempre teniendo en cuenta las características propias de la cuenca. En este caso, los íberos ya comenzaron a desarrollar la agricultura, adaptando sus cultivos a los ciclos de sequía e inundación del Río, además de introducir también la pesca en él. A continuación, los romanos comenzaron a construir acequias que servían para distribuir el agua del Río para sus cultivos, pero fueron los árabes los que desarrollaron un sistema de riego más complejo, basado en canalizaciones (azudes, acequias, azarbes, azarbetas, molinos, norias y puentes colgantes) para aprovechar los recursos de los que disponían y que han llegado hasta nuestros días. Se hacía que el agua inundara las tierras y la sobrante se recogía y utilizaba de nuevo. Cuando llegaban las avenidas fertilizaba la vega, pero la población debía buscarse otros recursos cuando había épocas de sequía.

Esta zona formaba parte del llamado Seno Ilicitano (Canales y Vera, 1985), que era un gran estuario donde desembocaban los ríos Segura y Vinalopó. Con el paso del tiempo y debido al aporte de los sedimentos por parte de estos ríos y el fuerte viento de Levante, se fue construyendo un cordón dunar en la orilla, dando lugar a la llamada albufera de Elche. Asociada a esta albufera se creó una zona pantanosa o de marisma

formada a partir de los sedimentos que aportaban los dos ríos en sus épocas de crecidas y que debido a la escasa pendiente de la zona, a veces por debajo del nivel del mar, facilitaba su deposición. Esta zona se extendía hasta Albaterra por el oeste y a Orihuela por el sur.

Diversos caseríos se establecieron en los alrededores de este área pantanosa, que supieron aprovechar los recursos, pesca y caza, que ésta les brindaba. También han sufrido las consecuencias de las grandes avenidas fluviales que se vienen produciendo en la zona y los efectos de enfermedades como el paludismo. Fueron muchos los intentos de poner en cultivo estas tierras anegadas por el agua, y de ahí que todas las culturas que han pasado por la zona han intentado drenarla para poner estos terrenos en cultivo. Gracias a esto, hoy se conserva una extensa red de canalizaciones de agua como azarbes, azarbetas, canales de riego y drenaje, etc. en la comarca que reflejan la evolución histórica que ha tenido lugar en la misma.



Foto 1. Redes de canalización de agua

Los mayores cambios que han ocurrido y que nos llevan a la situación actual en la que se encuentra la zona, se dieron a lo largo del S. XVIII con la colonización de las tierras que se encontraban en la zona pantanosa. Esta colonización fue llevada a cabo por el Obispo de Cartagena-Murcia, Don Luis de Belluga y Moncada, que además de sanear las tierras que le fueron cedidas por Orihuela, Guardamar del Segura y el

Marqués de Catral, fundó tres nuevas poblaciones en la zona: Dolores, San Fulgencio y San Felipe de Neri. Los objetivos que se plantearon a la hora de realizar esta colonización fueron: sanear los terrenos pantanosos del Bajo Segura, conquistar para la agricultura una zona de suelo fértil, anegado y salobre, además de dotar con la renta producida por estas tierras gran número de instituciones benéficas a través de Pías Fundaciones. El desagüe del agua de drenaje de los terrenos cedidos por Orihuela se realizó a través de la albufera de Elche, lo que provocó numerosos conflictos con el Marqués de Elche por la dulcificación de sus aguas y por tanto pérdida de su riqueza pesquera. Pero cuando le fueron cedidos los terrenos de Guardamar se optó por realizar estos drenajes lo que se hizo a través del curso del Río. Otro de los problemas que se le plantearon fue que una vez saneados y para su puesta en cultivo debía de garantizarles el agua con la que regar. Para ello, se construyeron numerosas canalizaciones que traían el agua que les sobraba a los regadíos tradicionales de la zona y de sus excedentes, que asegurara el éxito de la colonización. En total, fueron puestas en cultivo 4.500 ha en la zona de terrenos que anteriormente habían sido improductivos.

Tras el proceso de colonización, Cavanilles realiza una valoración de los resultados obtenidos, haciendo hincapié en la calidad de las tierras de las distintas poblaciones creadas. Así, las que se encontraban en San Felipe de Neri eran de inferior calidad por el exceso de salinidad, motivada por los inmediatos saladares de Crevillente, Elche y Albaterra. Algo mejor son las de San Fulgencio, aunque sometidas a frecuentes inundaciones, mientras que las de Dolores eran las de mejor calidad. Esto es una realidad, que aún hoy se sigue manteniendo y que condiciona los cultivos existentes en la zona.

Desde el punto de vista ambiental es una zona de gran valor ecológico, ya que en ella se localiza el Parque Natural del Hondo y en los alrededores se encuentran otros dos parajes naturales: el Parque Natural de las Salinas de Santa Pola, en el extremo septentrional, y las Dunas de Guardamar junto a la desembocadura del río Segura.

El Parque Natural del Hondo se sitúa en la comarca del Bajo Vinalopó, entre los términos municipales de Elche y Crevillente, en la llanura de inundación del río Segura, donde recibe las aguas de los ríos Vinalopó y Segura. Posee una extensión de 2.387 ha y fue creado con el fin de que sirviera como embalse de agua para riego de los cultivos de la zona. Se trata de una laguna y dos embalses, el de Levante de 450 ha y el de Poniente

de 650 ha. Los principales aportes de agua que le llegan provienen de las sobrantes del río Segura y de los azarbes de la Vega Baja mediante elevaciones superficiales. Sin embargo, se ha convertido en un paraje natural que cuenta con la figura de protección de Zona Especial de Protección para las Aves (ZEPA) y zona RAMSAR debido a la gran diversidad faunística que posee.

Las dunas de Guardamar o sistema dunar de Guardamar-Elche tiene una longitud de 13 km y se extiende desde las salinas de La Mata (Torrevieja) hasta las del Pinet (Santa Pola). Afecta a los municipios de Guardamar del Segura, San Fulgencio y Elche.



Foto 2. Frentes de dunas repoblados en Guardamar del Segura

Su morfología básica consiste en una playa, dunas litorales y una serie de trenes de dunas, repoblados con vegetación, con dirección predominante NW-SE, pudiéndose observar hasta cinco de estos trenes de dunas separados por valles dunares.

La dinámica de este sistema dunar en parte está influenciada por el río Segura y su cuenca. En principio el origen de estas dunas está en el Cuaternario, pero la creación de este sistema dunar tan peculiar es debido a un aporte de sedimentos por el Río en su desembocadura como consecuencia de las roturaciones y deforestaciones llevadas a cabo en el siglo XVII en la cuenca alta-media. Junto a esto, también hay que tener en cuenta la existencia de un banco de areniscas blandas en el subsuelo de gran parte de la

franja litoral que debido a la dinámica litoral (oleaje, corrientes y vientos) sirvió para desarrollar aún más este cordón dunar. Estas dunas se repoblaron en 1907 para evitar que se desplazaran por la zona, pusieran en peligro a la población de los municipios cercanos e inutilizaran las tierras de cultivo (Giménez, 2000).



Foto 3. Dunas en Guardamar del Segura

Las salinas de Santa Pola se encuentran situadas en los términos municipales de Santa Pola y Elche, poseen una superficie de 2.496 ha de las cuales 1.100 han sido transformadas en salinas. El agua que se utiliza en las salinas es bombeada desde el Mediterráneo a través de un canal y conducida a unos depósitos de agua salada fresca donde comienza el proceso de obtención de la sal. Por otra parte, las charcas que rodean las salinas propiamente dichas conforman un conjunto bastante estable, delimitado por un azarbe que las rodea y separa del terreno salino circundante. Tales azarbes aportan aguas salobres procedentes de riegos o afloramientos y van a desembocar al mar. Por otro lado, la zona recibe agua semidulce procedente de la zona del Hondo por el azarbe del Dalt, que surte a una pequeña extensión de terreno situado al suroeste, conocida por pantano o laguna de Santa Fe, de unas 450 ha. El mismo azarbe, cerca de su desembocadura en el mar, forma otra pequeña charca de agua salobre de una 250 ha. Al igual que la Laguna del Hondo, está catalogada como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) e incluida como sitio RAMSAR.

2.3. Geología

La zona de estudio se encuentra geológicamente situada en el extremo nororiental de la zona Bética s.str., el más meridional de los sectores en que se subdividen las Cordilleras Béticas. Está constituida principalmente por materiales del Cuaternario, a excepción de unos pequeños afloramientos triásicos que aparecen en el extremo noroccidental del área. Además de estos materiales, en los alrededores de la zona, se pueden encontrar también formaciones neógenas postorogénicas del Tortoniense y Plioceno. Los datos disponibles proceden de un estudio llevado a cabo para el Instituto Geológico y Minero de España por Fina Ibérica (1978) y anteriormente por Montenat (1973).

Se dan a continuación las características litológicas más importantes de los materiales citados.

Materiales del Trías

Como ya hemos comentado anteriormente aparecen en unas pequeñas elevaciones topográficas próximas a Catral y están constituidos por rocas carbonatadas, calizas y dolomías, con intercalaciones de pizarras y filitas. Según Fina Ibérica (1978) estos materiales tienen gran afinidad con la Unidad de Callosa perteneciente al Complejo Ballona-Cucharón.

Formaciones neógenas

Están representadas por una potente serie areniscosa que varía de potencia por cambios laterales de facies a la que se le ha atribuido una edad pliocénica inferior. Estos niveles de areniscas y calcarenitas con gran cantidad de fósiles marinos, principalmente lamelibranquios, se encuentran, principalmente, en el paraje de Rellana, al sur de la población de Algorfá, entre Rojales y Guardamar, y en diversos afloramientos en la Sierra del Molar. Sobre estos materiales aparecen arcillas y limos rojos que tienen en su parte superior una potente costra caliza que constituyen superficies de glaciares asociadas a las pequeñas elevaciones topográficas de la zona, principalmente en la Sierra del Molar. Montenat (1973) denomina a estos materiales como Formación de Sucina y la dató cronológicamente como Villafranquiense; es decir, como tránsito entre el Plioceno y el Cuaternario.

Depósitos cuaternarios

Se trata de depósitos constituidos por arcillas, limos, arenas y gravas que proceden de la erosión de los suelos y las rocas presentes en zonas topográficamente más elevadas de los alrededores. La mayoría de estos materiales son aportados por el Río en sus antiguas avenidas, pero también podemos encontrar, en las zonas próximas a la desembocadura, materiales del Cuaternario marino constituidos por biocalcarenitas de grano grueso de facies litoral con restos de conchas, siendo su edad posterior a la costra de Sucina, ya que aparecen fragmentos de ella englobados en la formación biocalcarenítica.

Aparecen también sedimentos coluviales en la base de las elevaciones topográficas de la zona (Molar y el Moncayo) formando pequeños conos de deyección constituidos por cantos heterométricos y poligénicos que se encuentran unidos por una matriz limoarcillosa de color pardo rojizo. Próximos a la desembocadura del río Segura y ya en la costa aparecen depósitos de arenas que constituyen el sistema dunar de Guardamar.

Por último, rodeando la cuenca lacustre del Hondo aparecen limos de albufera o marisma en donde se desarrollan suelos con un claro carácter halomorfo.

2.4. Relieve

La topografía actual se debe a los movimientos orogénicos producidos durante el plegamiento alpino, la actividad tectónica que desde finales del Mioceno hasta el Cuaternario ha afectado a la Región y los procesos de erosión-sedimentación que han tenido lugar con posterioridad (Ortiz, *et al.*, 2003).

La comarca tiene predominantemente una topografía plana o casi plana con pendientes inferiores al 2% y con ausencia casi absoluta de elevaciones. ya que nos encontramos en la llanura aluvial del río Segura, que se ha formado a partir de depósitos aluviales de éste. No obstante, en los alrededores si podemos encontrar pequeños cabezos o montículos como el Cabezo Soler (89 m), Loma Larga (209 m), Cabezo Redondo (206 m) y Moncayo (107m), entre otros. Mientras, en la parte septentrional destacan la Sierra del Molar, con los vértices geodésicos La Plana (89 m) y Centenera

(73 m) y Los Cabezos (61 y 33 m) de origen triásico, que se encuentran situados al Oeste de Catral.

Al sur del Río Segura y fuera del área de estudio, se encuentran áreas topográficamente más elevadas, constituidas por materiales neógenos, que forman una alineación de pequeños montículos que, en su parte meridional, vierten las aguas de escorrentía superficiales hacia el sur.

Las formaciones detríticas pliocuaternarias y cuaternarias constituyen, principalmente en el sector meridional, superficies de glaciares caracterizados por la ligera inclinación de su pendiente. Estos glaciares son formas del modelado del relieve originadas por las oscilaciones climáticas, con fases de lluvias violentas y espaciadas capaces de transportar por arroyada difusa gran cantidad de materiales. La costra caliza que caracteriza a estos glaciares tiene, generalmente, un origen edáfico debido a procesos de lavado lateral por aguas cargadas de bicarbonato cálcico procedentes de los relieves próximos. Como consecuencia de fenómenos erosivos recientes y a la acción antrópica, estos glaciares han sido en gran parte desmantelados.

2.5. Hidrología

2.5.1. Aguas superficiales

El río Segura, conocido como Thader (palmera) por los romanos y War-Alabiat (río Blanco) por los árabes, nace en la Sierra del Segura, en el extremo sureste de la Provincia de Jaén y desemboca tras recorrer 225 km en Guardamar del Segura en la denominada Gola del Segura. Su cuenca tiene una superficie de 18.815 km² y a ella pertenecen parte de las provincias de Murcia, Albacete y en menor proporción Alicante, Granada y Jaén. La entrada a la provincia de Alicante marca el inicio de la Vega Baja del río, y de ahí que la comarca más meridional de ésta reciba el nombre de Vega Baja del Segura.

El reparto de lluvias en la cuenca es muy irregular a lo largo del año, concentrándose principalmente en otoño, aunque no tiene ciclos anuales definidos de manera homogénea, ya que tras largos años de sequía le pueden suceder años de inundaciones. Estas inundaciones cargadas de sedimentos son el origen de la fertilidad de los suelos de la vega, ya que aportan nutrientes y a la vez lavan las sales acumuladas

en los suelos. Sin embargo, en la actualidad el Segura es uno de los ríos más regulados del mundo y dichas avenidas ya no son de la misma magnitud ni frecuencia, lo que ha provocado que los suelos de esta zona se empobrezcan, no sólo por las extracciones de nutrientes originadas por los muy diversos cultivos intensivos de la zona, sino también como consecuencia de la salinización gradual y paulatina que no se ve atenuada con dichas inundaciones.

La irregularidad de los recursos hídricos es y ha sido uno de los principales problemas de la cuenca del Segura, debido a lo cual, en la década de los sesenta se desarrollaron las grandes infraestructuras hidráulicas presentes en la misma y que vinieron a completar las ya existentes (Talave, Alfonso XIII). En este sentido, cabe destacar el embalse del Cenajo (1960) que controla todos los recursos hídricos de la cuenca y del Trasvase Tajo-Segura (1968), que ha permitido ampliar las zonas de riego y mantener los regadíos tradicionales existentes en la zona. En 1971 se aprobó la Ley de Aprovechamiento conjunto del Tajo-Segura en la que se establecía un caudal trasvasable de 600 hm³ en una primera fase y de 1.000 hm³ en una segunda. En 1975 se construyó la presa de Azud de Ojos, que es utilizada para derivar las aguas que llegan del trasvase Tajo-Segura, hacia la izquierda hasta el Canal de Crevillente y desde éste al embalse de la Pedrera, y hacia la derecha a los campos de Lorca y Almería. Finalmente, en la década de los noventa se acometieron una serie de infraestructuras hidráulicas dentro de lo que se ha llamado como “Plan Borrell”, con ellas se ha conseguido evitar el gran número de avenidas que año tras año tenían lugar, sobre todo al comienzo del otoño. Dichas infraestructuras están relacionadas con la regulación de la cuenca mediante la construcción de diques de regulación de ramblas y barrancos y la limpieza de los cauces principales.

2.5.2. Aguas subterráneas

La zona de estudio se encuentra incluida en la unidad hidrológica Vega Media y Baja del Segura (Unidad hidrogeológica (U.H.) O7.24) y se reparte entre la cuenca del Segura y del Júcar. Posee una extensión de 1.046 km² y desde el punto de vista geográfico se distinguen dos zonas: Vega Media con 206 km² y la Vega Baja con 840 km², la línea divisoria entre ambas se encuentra en los límites provinciales.

Por encima de los materiales Plio-Cuaternarios se sitúan los acuíferos principales de la Vega Baja del Segura. Se trata de una sucesión de niveles impermeables (arcillas) y permeables (gravas y/o arenas gruesas) denominado de forma simplificada “acuífero profundo”, de carácter confinado o semiconfinado, según las zonas, que llega a alcanzar los 250 m de espesor; y un nivel superficial de escasos metros de potencia, formado por limos y arenas de carácter libre (“acuífero superficial”). Ambos acuíferos quedan separados por un tramo de arcillas que tiende a independizarlos hidráulicamente, provocando que el nivel piezométrico del sistema profundo se situé por encima del superficial, llegando incluso a ser surgente. El acuífero profundo se extiende a la práctica totalidad de la cuenca, el nivel superficial se considera presente en la zona donde afloran los depósitos aluviales, desapareciendo, hacia al norte (Depresión de Albaterra-Benferri, Campo de Elche) donde comienzan a desarrollarse mantos de arrollada y derrubios de ladera (ITGE y DPA, 1996 En Moreno *et al.*, 2001).

El balance hídrico indica que entran en el sistema anualmente unos 59 hm³, de los cuales 32 hm³ corresponden a aportes laterales y 27 hm³ proceden de la recarga desde niveles superficiales. De los recursos entrantes (59 hm³), 26 hm³ son bombeados, y 33 hm³ salen en forma de descargas al acuífero superficial y al mar (ITGE y DPA, 1996 En Moreno *et al.*, 2001).

2.5.3. Aguas de riego

La evaluación de la calidad de un agua de riego se basa inicialmente en su composición química, pero además de esta calidad química del agua, evaluada por su conductividad eléctrica, el pH, los cationes y aniones, etc, conviene tener en consideración otros aspectos como son las características físicas del suelo a regar, la tolerancia a la salinidad del cultivo elegido, el clima, condiciones de drenaje del suelo y el método de riego (Porta *et al.*, 2003).

Históricamente los cultivos de la zona de estudio eran regados con las aguas del río, haciendo uso de un entramado de canales que constituyen el sistema de regadíos tradicionales. Sin embargo, en los últimos años, y como consecuencia del importante déficit hídrico que está soportando la zona, los agricultores se han visto obligados a

buscar aguas de otros orígenes como pozos artesianos, plantas depuradoras, desalinizadoras, etc.

La calidad del agua de riego empleada en la zona se ha evaluado en el Proyecto Fin de Carrera titulado “Estudio de la Calidad del Agua de Riego en la Zona Norte de la Vega Baja del Segura” (2006), realizado por D. Miguel Ángel Martínez Sánchez en el Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología de la Universidad de Murcia y dirigido por miembros del Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Suelos, cuyos resultados más destacados se resumen a continuación.

Las muestras de agua se tomaron en los azarbes y canales más importantes de la zona, dentro del margen izquierdo del río Segura. Se realizaron dos muestreos a lo largo del año para ver si había variaciones en la calidad del agua. El primer muestreo se realizó en noviembre-diciembre del año 2005, y el segundo muestreo entre mayo y junio del año 2006. En las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 aparece la situación geográfica de las muestras recogidas, así como los valores de los diferentes parámetros analizados en los dos muestreos.

A la vista de los resultados expuestos en dichas tablas, se comprueba que el pH es ligeramente básico, ya que oscila entre 8,0 y 8,4, sin existir grandes diferencias entre los dos muestreos. Estos valores descartan la presencia de agentes contaminantes en las aguas que puedan modificar el pH. La CE media es de 5,7 dS m⁻¹, variando entre 3,1 y 13,4 dS m⁻¹. Al igual que en el pH apenas existen diferencias entre los dos muestreos. Estas aguas son consideradas como de mala calidad para el riego ya que superan los umbrales de 3-3,5 dS m⁻¹ en CE propuestos por varios autores (Cerdá *et al.*, 1980; Cánovas, 1986; FAO, 1976).

En cuanto al total de sales disueltas, los resultados obtenidos en ambos muestreos establecen un rango entre 1.832-10.266 mg l⁻¹, obteniéndose una concentración media de 4.302,62 mg l⁻¹. Todas las muestras a excepción de una están por encima de los 2 g l⁻¹ en sales, lo que clasifica al agua como de mala calidad, llegando a ser en algunos puntos como de muy mala calidad.

La composición cualitativa encontrada, tanto para cationes como aniones, evidencia una leve diferencia entre los dos muestreos, debido fundamentalmente al aumento de la concentración de sales a consecuencia del incremento de la solubilidad de las mismas con la temperatura en el segundo muestreo

Dentro de los cationes, los valores de sodio representan el 30-40% del total de cationes y la razón de adsorción de sodio (RAS) media es de 6,5 en el primer muestreo y 7,2 en el segundo, lo que indica que estas aguas de riego no tienen un poder alcalinizante pronunciado (Cerdá, 1980). A pesar de todo, si en vez del RAS se utiliza el , RAS ajustado (17,59 en el primer muestreo y 19,09 en el segundo), la calidad pasa a ser media (RAS ajustado está entre 8-16) , o baja cuando es mayor de 16.

Según las normas Riverside, un 66% de las muestras estudiadas son consideradas como no aptas para el riego, por su elevada salinidad y sodicidad, siendo el resto consideradas como tolerables, aunque siempre teniendo en cuenta acciones preventivas.

Dentro de los aniones, es de destacar las elevadas concentraciones de cloruros, superando todas las muestras los 500 mg l⁻¹, lo que puede provocar riesgos por fitotoxicidad en los cultivos.

Así, atendiendo a la calidad del agua empleada para riego se pueden distinguir dos zonas: la zona más próxima al río Segura que posee aguas de calidad media y la zona más septentrional, próxima a la laguna del Hondo, con aguas de baja calidad.



Foto 4. Río Segura a su paso por la zona de estudio

Tabla 2.1. Relación de muestras de agua analizadas

Muestra	Coordenadas U.T.M	Situación
1	30SXH900260	Rincón de los Pablos (Albatera)
2	30SXH900210	Casa de la Era Alta (Almoradí)
3	30SXH900180	Las Barracas (Benejuzar)
4	30SXH930210	Camino Catral (Almoradí)
5	30SYH016265	Azarbe Robatorio (Elche)
6	30SYH015230	Azarbe del Riacho (San Fulgencio)
7	30SXH985240	Azarbe Mayayo (San Fulgencio)
8	30SXH000252	Canal de Riegos del Levante (Elche)
9	30SXH954242	Acequia del Acierto (Dolores)
10	30SXH943246	Aguas vivas Catral (Dolores)
11	30SXH960263	Acequia de Cebada (Callosa del Segura)
12	30SXH960213	Acequia Mayor de Almoradí (Daya Nueva)
13	30SXH940190	Acequia de los Llano (Almoradí)
14	30SXH980183	Acequia Nueva (Formentera del Segura)
15	30SXH990180	Acequia del Río (Rojales)
16	30SXH003196	Acequia de la Alcudía (Rojales)
17	30SXH005210	Azarbe del Señor (San Fulgencio)
18	30SYH035193	Canal de Depuradora (Rojales)
19	30SYH033193	Acequia de los Huertos (Rojales)
20	30SYH010225	Azarbe de la Culebrina (San Fulgencio)
21	30SYH010223	Azarbe de Enmedio (San Fulgencio)
22	30SYH052206	Azarbe de la Villa (Guardamar del Segura)
23	30SYH051202	Acequia de la Roca (Guardamar del Segura)
24	30SHY035200	Azarbe de la Culebrina (San Fulgencio)

Fuente: Martínez, 2006

Tabla 2.2. Calidad del agua de riego en la zona de estudio. Primer muestreo: noviembre-diciembre 2005

Muestra	pH	CE	TSD	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	CO ₃ H ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	RAS	RAS _{aj}
1	8,3	8,2	6297,4	53,2	38,0	1,3	6,6	53,0	1,3	39,0	56,7	7,7	25,3
2	8,3	4,4	3429,2	19,8	24,7	0,9	7,2	21,9	0,4	22,4	31,9	4,2	13,0
3	8,0	4,0	2940,8	32,2	42,4	0,6	7,0	18,9	0,5	20,3	30,4	3,7	11,6
4	8,2	4,1	3053,2	18,4	23,1	0,6	4,5	20,6	0,7	20,3	31,5	4,0	12,1
5	8,1	11,9	9038,8	82,9	55,0	1,1	7,5	83,0	1,6	39,5	67,4	11,3	37,5
6	8,1	13,4	10266,8	101,9	57,6	1,3	6,3	95,8	1,5	42,5	67,7	12,9	42,6
7	8,2	5,6	4159,2	30,7	32,4	1,3	7,2	34,6	1,3	24,6	35,9	6,3	19,5
8	8,3	9,7	7272,4	46,2	67,8	1,8	7,0	63,7	2,1	39,4	66,0	8,8	29,0
9	8,1	5,7	4127,2	36,8	29,9	0,6	6,6	30,9	1,4	17,3	17,7	7,4	21,4
10	8,1	3,4	2411,6	14,3	17,6	0,0	8,1	16,4	1,3	10,8	8,3	5,3	14,9
11	8,1	4,8	3671,2	27,5	27,1	0,8	6,8	24,8	1,2	15,2	15,3	6,4	18,4
12	8,2	3,4	2498,0	14,3	18,1	0,4	6,8	15,4	0,8	12,1	10,6	4,6	12,8
13	8,1	3,5	2598,0	15,1	19,2	0,3	7,0	17,8	1,3	13,5	12,5	4,9	13,8
14	8,1	3,9	2968,0	25,5	24,5	0,7	6,8	15,3	0,7	12,5	10,7	4,5	12,6
15	8,2	3,4	2505,2	14,7	19,3	0,3	7,0	18,9	0,6	13,9	13,3	5,1	14,3
16	8,1	4,0	2930,8	18,6	23,6	0,7	7,0	21,5	0,0	14,9	15,2	5,6	16,1
17	8,4	4,6	3365,2	23,2	26,0	7,1	7,0	15,9	0,0	5,8	5,3	6,8	16,9
18	8,4	3,1	1832,4	17,0	8,7	0,0	6,3	18,6	0,0	13,5	13,1	5,1	14,3
19	8,2	4,1	2953,2	18,2	23,1	0,5	7,2	40,0	0,0	21,3	23,7	8,4	24,5
20	8,2	7,0	5351,6	46,5	41,2	1,1	8,1	38,7	0,0	22,7	19,9	8,3	25,0
21	8,2	6,7	5163,2	42,3	38,8	1,5	7,9	35,1	0,0	20,4	22,2	7,6	22,1
22	8,1	4,8	3563,6	24,7	27,6	1,1	6,6	23,1	0,0	15,3	14,8	5,9	17,3
23	8,2	4,4	2680,8	22,6	26,0	1,0	6,6	21,5	0,0	14,3	13,8	5,4	16,1
24	8,1	4,5	3997,2	23,4	26,7	0,9	6,6	22,6	0,0	15,0	14,8	5,9	15,85

CE en dS m⁻¹
TDS en mg l⁻¹
Cationes y aniones en meq l⁻¹
RAS_{aj}:RAS ajustado

Tabla 2.3. Calidad del agua de riego en la zona de estudio. Segundo muestreo: mayo-junio 2006

Muestra	pH	CE	TSD	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	CO ₃ H ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	RAS	RAS _{aj}
1	8,3	7,1	5122,8	78,2	50,4	0,5	7,4	62,0	0,9	32,5	30,8	9,4	34,1
2	8,4	4,5	3406,0	38,2	39,6	0,7	8,5	34,3	0,9	28,0	25,6	6,6	21,2
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	8,3	11,1	8866,8	118,8	69,5	0,8	6,4	101,3	0,9	36,2	50,0	15,4	50,9
6	8,3	12,8	9493,6	101,7	54,2	0,8	8,5	85,2	0,6	31,0	34,9	14,8	47,5
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8,4	7,6	5783,2	56,7	35,3	0,8	8,5	43,3	2,2	22,2	25,5	8,9	26,6
9	8,4	8,8	7542,8	59,3	39,2	1,1	8,5	48,7	0,6	60,0	30,3	7,2	24,6
10	8,1	7,1	5374,4	52,7	30,7	0,9	8,5	46,1	0,6	22,5	21,6	9,8	30,4
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	8,3	3,7	2958,4	16,2	19,0	0,4	8,5	16,6	0,4	20,2	13,6	4,0	12,1
13	8,3	3,7	2947,6	16,4	19,3	0,4	7,4	17,3	0,4	15,2	13,9	4,6	12,7
14	8,3	3,9	2852,4	18,8	22,9	0,5	7,4	17,7	0,4	14,9	14,3	4,6	13,0
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	8,1	3,8	2808,8	17,3	19,5	0,6	6,4	17,4	0,6	14,0	13,2	4,7	13,2
17	8,3	4,0	3172,0	21,3	23,6	0,7	7,4	18,7	1,2	16,9	15,1	4,7	13,5
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	8,2	3,9	3100,0	19,2	22,9	0,4	7,4	19,1	0,4	14,4	15,2	5,0	13,9
20	8,2	6,1	4776,0	37,9	34,4	0,9	8,5	32,6	0,4	21,6	23,2	6,9	20,7
21	8,4	5,3	4108,8	31,1	29,2	0,3	8,5	28,7	0,4	19,4	19,0	6,6	19,6
22	8,3	5,0	3580,8	25,5	26,7	0,8	8,5	24,1	0,5	17,4	17,8	5,7	17,3
23	8,3	4,4	2735,2	24,6	24,0	0,9	8,5	24,3	0,6	16,6	17,1	5,9	17,8
24	8,3	3,9	3004,8	20,3	19,9	0,5	6,4	19,2	0,4	13,4	13,7	5,2	14,6

CE en dS m⁻¹

TDS en mg l⁻¹

Cationes y aniones en meq l⁻¹

RAS_{aj}: RAS ajustado

2.6. Suelos

En la zona de estudio se han descrito fundamentalmente Fluvisoles y Solonchaks (FAO, 1988), aunque en las proximidades hay otros suelos como Regosoles, Calcisoles, Leptosoles, Gipsisoles y Arenosoles (Ortiz *et al.*, 2003, 2004). A continuación aparece el Mapa de suelos del Bajo Segura, realizado para el Proyecto LUCDEME (Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo).



Foto 5. Solonchaks

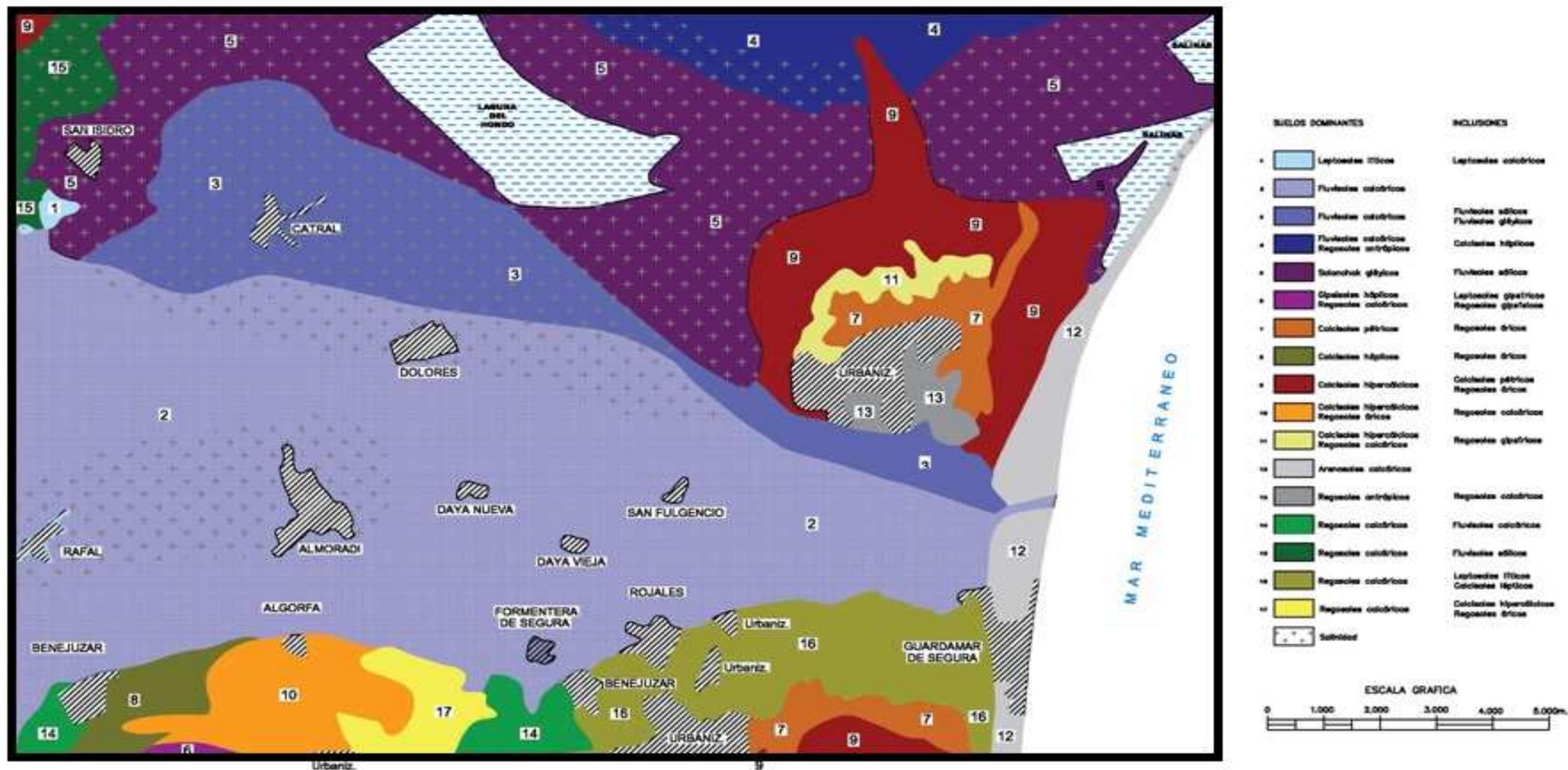
Según estos autores los Fluvisoles son los suelos más representados en la zona de estudio, mientras que los Solonchaks aparecen en el extremo más septentrional y próximos a la Laguna del Hondo. Dentro de los Fluvisoles, predominan los cálcricos sobre los gléyicos y sálicos, que se concentran en las proximidades de la laguna, como ocurre con los Solonchaks, debido a las características tan especiales de la zona que ya serán comentadas posteriormente. Los suelos de esta zona en general tienen un elevado contenido de carbonato cálcico, sales y en ocasiones yeso. En algunos casos llegan a formar horizontes diagnósticos (horizonte sálico). Una de las diferencias más importante entre Fluvisoles y Solonchaks es el material original a partir del cual se han formado, los primeros van a ser suelos poco evolucionados originados a partir de depósitos aluviales recientes. Los Solonchaks se caracterizan por tener un horizonte

sálico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo. Al igual que los Fluvisoles podemos encontrar tanto Solonchaks calcáricos como gléyicos.

En los relieves cercanos se pueden encontrar Regosoles, que se caracterizan por ser suelos formados a partir de materiales no consolidados que están muy escasamente desarrollados y evolucionados. Se suelen presentar varios tipos de Regosoles: calcáricos, lépticos, gipsíricos, áricos y antrópicos. En ocasiones junto a estos suelos aparecen también Gipsisoles, en zonas donde el material original posee abundante yeso. En esta zona se pueden encontrar Regosoles antrópicos, asociados a plantas de áridos y canteras (Sierra del Molar), aunque los Regosoles que predominan en los alrededores son los cálcicos, que pueden estar más o menos alterados por la mano del hombre. Estos suelos suelen encontrarse junto a Calcisoles, que son con los Fluvisoles los suelos más abundantes en la Comarca de la Vega Baja. Estos pueden ser pétricos, háplicos e hipercálcicos y se caracterizan por tener, entre otros, un horizonte cálcico o petrocálcico. Se suelen encontrar en áreas con suave pendiente y sus horizontes cálcicos se han originado principalmente como consecuencia del lavado lateral y posterior acumulación del carbonato cálcico desde los relieves calizos cercanos que hay en la zona (Ortiz, *et al.*, 2003).

En ocasiones, en los cerros y algunas elevaciones topográficas de la comarca, hay suelos que están limitados en profundidad por una roca dura continua dentro de los 25 cm de la superficie que constituyen Leptosoles; dentro de los cuales se pueden reconocer, atendiendo al débil espesor del horizonte A y a la naturaleza del material original, diferentes tipos: líticos, calcáricos y gipsíricos.

Los Arenosoles aparecen en las proximidades, en toda la línea de costa desde Torrevieja hasta Santa Pola, asociados a las dunas litorales existentes y bordeando la desembocadura del Río Segura. Se caracterizan por tener un perfil sencillo con un alto contenido en carbonato cálcico y textura gruesa, por lo que son considerados como Arenosoles cálcicos.



Mapa 1. Mapa de suelos del Bajo Segura

2.7. Clima

El clima es una característica ambiental de particular importancia como factor en la formación del suelo, ya que condiciona gran parte de los procesos edafogénicos y su intensidad. La precipitación y temperatura son los dos parámetros climáticos más importantes que afectan a la evolución de los suelos. Además, los vientos, la insolación y la humedad, también influyen en dicho desarrollo edáfico, definido por un régimen de humedad y de temperatura (USDA, 2006).

A falta de datos climatológicos relativos al propio suelo, se han seleccionado tres estaciones meteorológicas situadas en la zona de estudio o en su proximidad como son las de Guardamar del Segura (27 m de altitud), San Miguel de Salinas (85 m de altitud) y Elche (86 m de altitud) que suministran con regularidad los datos mensuales de precipitación y temperatura, y así poder realizar los correspondientes balances hídricos y hacer una estimación de los regímenes de humedad y de temperatura.

En la Tabla 2.4 se muestran los valores medios mensuales de temperatura y precipitación suministrados por las estaciones meteorológicas, a partir de los cuales se ha calculado la evapotranspiración potencial y se han realizado su correspondientes balances hídricos (tablas y gráficos 2.5, 2.6 y 2.7), asignando al suelo una capacidad de almacenamiento de agua o reserva, R de 200 mm, valor considerablemente alto para la inmensa mayoría de nuestros suelos, pero que, no obstante, no afecta a los resultados finales.

Una vez analizados los balances hídricos podemos ver que la precipitación media anual más elevada se da en San Miguel de Salinas con 313 mm, ya que las estaciones de Guardamar del Segura y Elche muestran 271 y 286 mm respectivamente, lo que da lugar a una P media anual de 290 mm en la zona. El periodo más árido coincide con el verano en todas las estaciones, siendo octubre el mes más lluvioso. La temperatura media anual, es de 18,0 °C y comparando las temperaturas medias de todos los meses del año de las tres estaciones seleccionadas vemos que Elche tiene las temperaturas medias ligeramente más altas.

La evapotranspiración potencial media anual es de 891 mm en Guardamar del Segura, 913 mm en San Miguel de Salinas y 937 mm en Elche, siendo muy superior a las precipitaciones medias que se dan en la zona. Esto provoca que exista un déficit de agua en el suelo la mayor parte de los meses del año con excepción de los meses del

invierno (diciembre, enero, febrero) donde las precipitaciones suelen ser mayores que la evapotranspiración. El déficit anual de agua del suelo es de 619 mm en Guardamar, 601 mm en San Miguel de Salinas y 671 mm en Elche.

Tabla 2.4. Valores medios mensuales de temperatura y precipitación

Estación		E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
Guardamar del Segura	Tm	10,9	11,6	14,0	15,6	19,0	21,6	25,2	25,6	23,3	18,9	14,7	11,6	17,7
	P	27	18	13	25	22	13	4	5	31	47	28	38	271
San Miguel de Salinas	Tm	10,5	11,6	14,2	16,3	19,8	23,0	25,9	26,0	23,2	18,8	14,3	11,2	17,9
	P	36	21	17	36	20	14	2	5	33	53	33	43	313
Elche	Tm	11,2	21,0	14,7	16,4	19,9	22,9	25,8	26,6	23,8	19,5	15,0	12,0	18,3
	P	21,0	25,0	14,0	30,0	24,0	21,0	3,0	6,0	27,0	57,0	26,0	32,0	286

Tm en °C; P en mm

Considerando que la sección de control se encuentra húmeda en todas las partes cuando la reserva es mayor de 125 mm, completamente seca cuando es menor de 25 mm, y parcialmente húmeda para valores intermedios, puede afirmarse que la sección de control de los suelos caracterizados por las estaciones de Guardamar del Segura, San Miguel de Salinas y Elche se encuentra seca más de la mitad del tiempo en que la temperatura media a 50 cm de profundidad es de 5 °C o más; en consecuencia su régimen de humedad es arídico. Sin embargo, se considera que el régimen de humedad es xérico al ser en su mayoría suelos de cultivo en regadío. El régimen de temperatura de estos suelos es térmico.

Tabla y gráfico 2.5. Balance hídrico de Guardamar del Segura

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
P	27	18	13	25	22	13	4	5	31	47	28	38	271
ETP	21	25	43	56	89	114	153	149	110	69	38	24	891
ETR	22,1	25	25	25	22	13	4	5	31	47	28	24	-
VR	5	-7	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	14	-
R	19	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	-
DEF	0	0	17	31	67	101	149	143	79	22	10	0	619
SUP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
T	10,9	11,6	14,0	15,6	19,0	21,6	25,2	25,6	23,3	18,9	14,7	11,6	17,7

P, ETP, ETR, VR, R, DEF, SUP en mm
T en °C

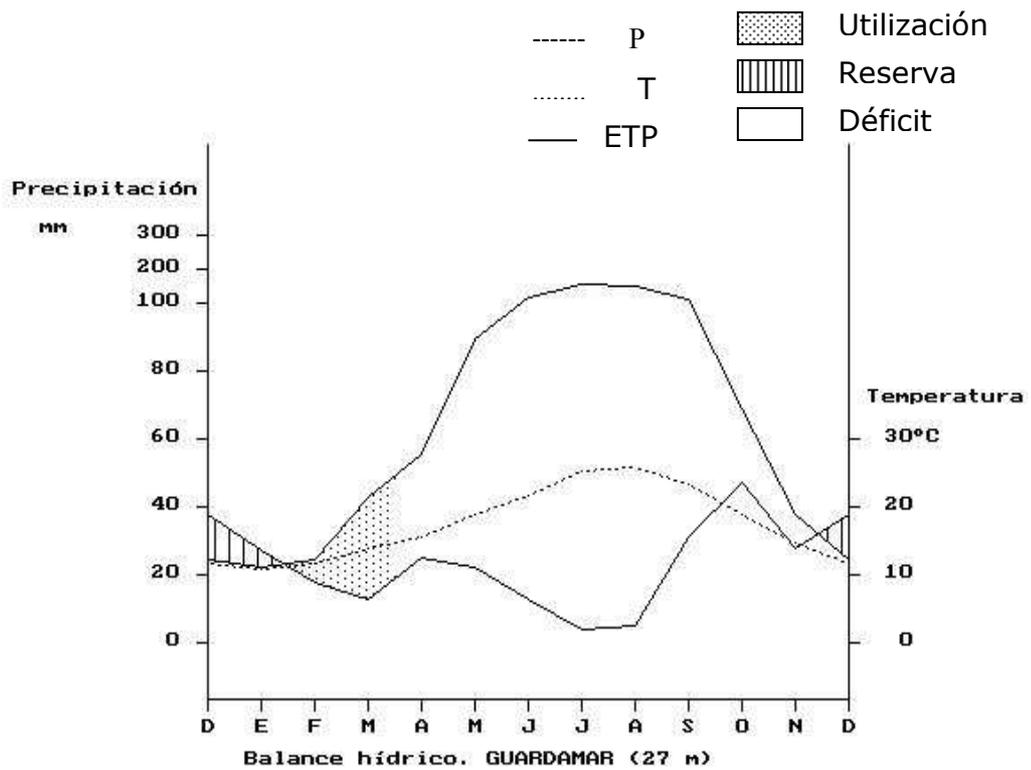


Tabla y gráfico 2.6. Balance hídrico de San Miguel de Salinas

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
P	36	21	17	36	20	14	2	5	33	53	33	43	313
ETP	20	24	43	59	95	126	161	151	108	68	36	22	913
ETR	20	24	43	44	20	14	2	5	33	53	33	22	-
VR	16	-3	-26	-8	0	0	0	0	0	0	0	21	-
R	37	34	8	0	0	0	0	0	0	0	0	21	-
DEF	0	0	0	15	75	112	159	147	75	15	3	0	601
SUP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
T	10,5	11,6	14,2	16,3	19,8	23,0	25,9	26,0	23,2	18,8	14,3	11,2	17,9

P, ETP, ETR, VR, R, DEF, SUP en mm
T en °C

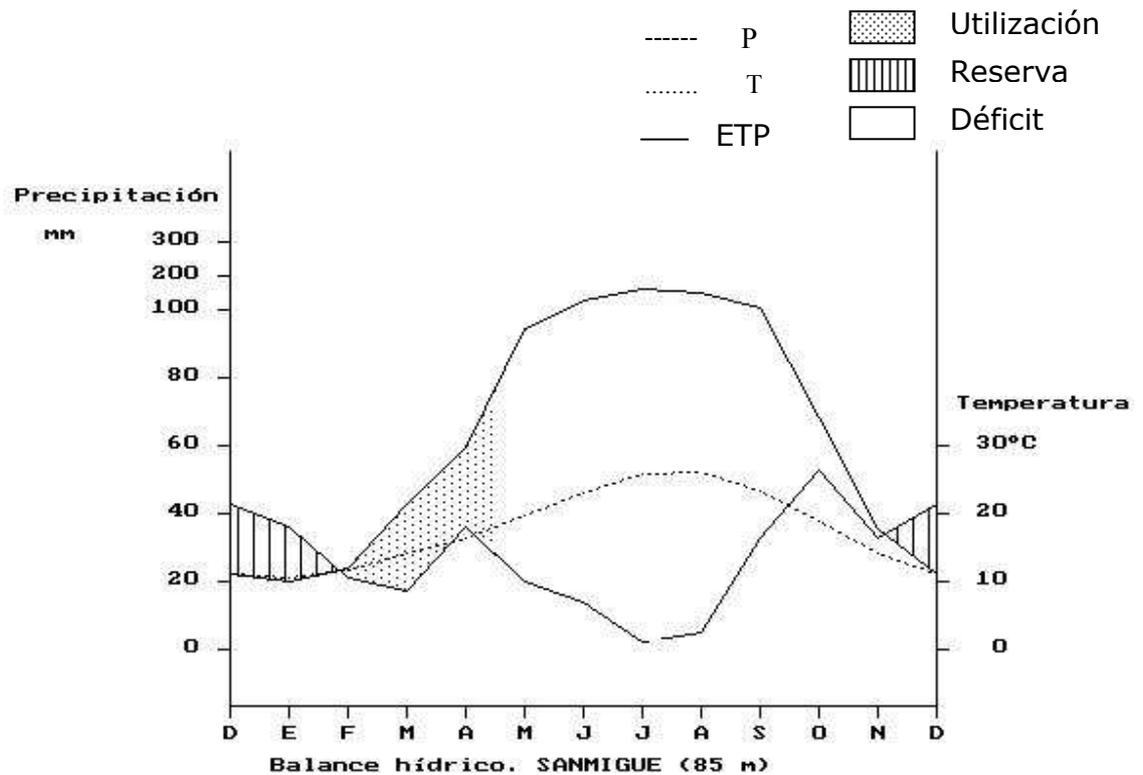
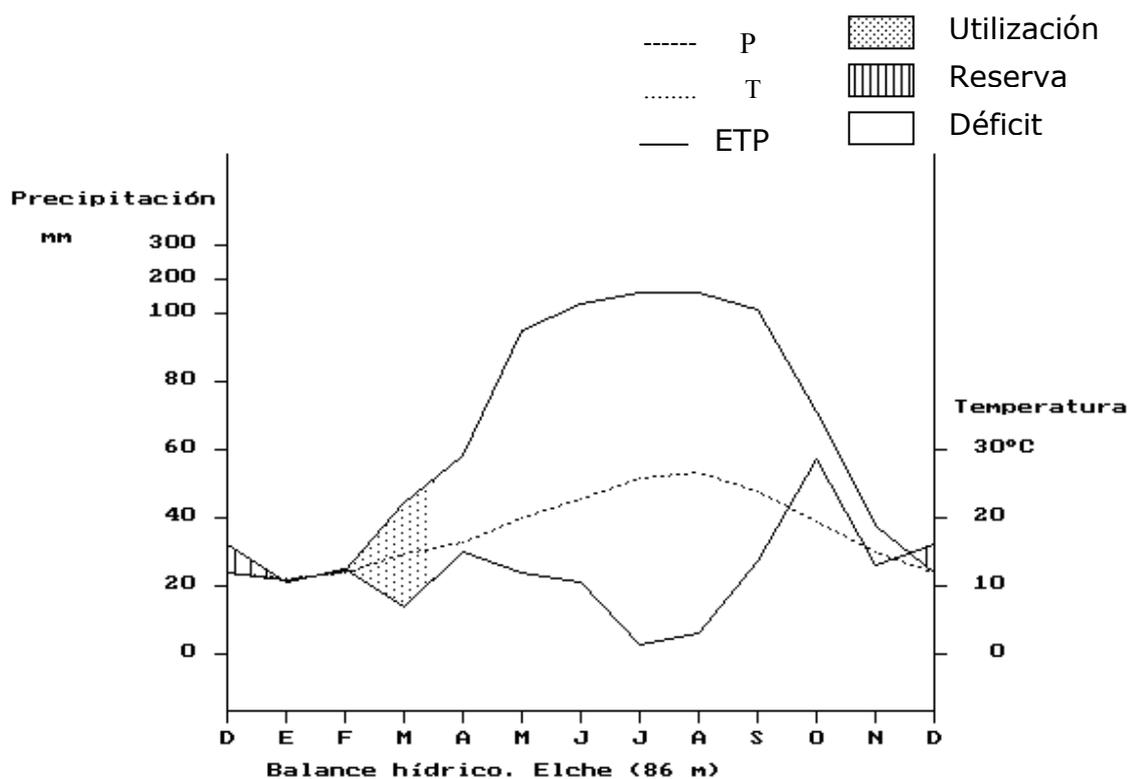


Tabla y gráfico 2.7. Balance hídrico de Elche

P, ETP, ETR, VR, R, DEF, SUP en mm

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
P	21	25	14	30	24	21	3	6	27	57	26	32	286
ETP	21,5	24,3	44,2	58,3	95,0	125,8	159,8	163,2	113,7	71,3	37,5	24,0	938,6
ETR	10	24,3	14,7	30	24	21	3	6	27	57	26	24	-
VR	-0,8	0,7	-0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	-
R	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	-
DEF	11,5	0	29,5	28,3	71,0	104,8	156,8	157,2	86,7	14,3	11,5	0	671,6
SUP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
T	11,2	12,0	14,7	16,4	19,9	22,9	25,8	26,6	23,8	19,5	15,0	12,0	18,3

T en °C



2.8. Vegetación y cultivos

La zona de estudio se encuentra incluida desde el punto de vista biogeográfico en la provincia Murciano-Almeriense, sector Alicantino-Murciano y a caballo entre los subsectores Murciano-Meridional y Alicantino, según Alcaraz (1996). La vegetación que se va a dar en la zona va a estar condicionada por todas las características climáticas, edáficas y litológicas que ésta tenga. La zona objeto de estudio es llana con temperaturas elevadas (entre 17-20°C), de escasas precipitaciones, casi siempre por debajo de los 350 mm y predominan los materiales carbonatados. El termotipo asociado a esta zona es el termomediterráneo y el ombrotipo semiárido, por tanto la serie asociada es la termomediterránea murciano-almeriense del lentisco (*Pistacia lentiscus*). *Chamaeropo humilis-Rhamneto lycioidis Sigmatum*. La potencialidad climática es esclerófila con predominio de arbustos de tipo nanofanerofítico, pero con un estrato abierto de pinos carrascos (*Pinus halepensis*). Predominan los lentiscos (*Pistacia lentiscos*), palmitos (*Chamaerops humilis*), espinos negros (*Rhamnus lycioides*, *Rhamnus oleoides* subs. *angustifolia*), coscojas (*Quercus coccifera*), enebros (*Juniperus oxycedrus*), correspondiendo a la asociación vegetal endémica murciano-almeriense *Chamaeropo humilis-Rhamnetum lycioidis* (Ortiz *et al.*, 2003).

Sin embargo, hay que tener en cuenta la presencia de otros microambientes que van a condicionar la aparición de otro tipo de vegetación. Este es el caso de la zona en la que centramos este estudio, donde la presencia del río Segura y de la Laguna del Hondo, así como los saladares próximos (saladares de Santa Pola y el Altet), van a modificar tanto las propiedades edáficas como las climáticas de la zona desarrollándose un tipo de vegetación distinta de la potencial.

Debido a la influencia que ejerce el río Segura en la zona, la vegetación potencial es sustituida por otra característica de este microambiente y que pertenece a la Geoserie ripícola termomediterránea semiárida murciano-almeriense y muluyense. Se pueden diferenciar dos bandas de vegetación que se corresponden con la asociación *Typho-Schoenoplectetum* (Braun-Blanquet. y O. Bolòs, 1958) y *Lonicero biflorae-Populetum albae* (Alcaraz, Ríos, Sánchez-Gómez En Alcaraz *et al.*, 1989).



Foto 6. Vegetación de ribera

La asociación *Typho-Schoenoplectetum* está constituida por carrizales (*Phragmites communis*) y aneales (*Typha sp.*) propios de cursos de agua más o menos permanentes, en ocasiones algo salinos. Vienen caracterizados por *Typha domingensis* y *Scirpus tabernaemontani*. Debido a la importante degradación que hay en la zona la asociación de *Lonicero biflorae-Populetum albae* está muy poco representada. Esta asociación es formada por choperas (*Populus alba*) y tarayales (*Tamarix canariensis*) que sustituyen a las olmedas y alamedas de la clase *Quercu-Fagetea* en los ríos iberolevantinios meridionales sometidos a un régimen de crecidas muy irregulares.

En las proximidades de la laguna del Hondo, la vegetación que aparece se encuentra incluida dentro de la Geoserie especial halófila termo-mesomediterránea inferior alicantino-murciana y ayorano-villenense. Esta geoserie está determinada por la existencia de suelos halomorfos en los cuales los fenómenos de acumulación de sales y sus movimientos en el perfil, debidos a las oscilaciones del nivel de la capa freática, la presencia de inundaciones temporales y/o movimientos de las aguas salinas por capilaridad en el suelo.

En las áreas de los saladares con inundación prolongada se extienden comunidades monoespecíficas de carrizos (*Phragmites australis*) y juncales de *Juncus maritimus*, siendo los últimos adscribibles a la asociación suroriental ibérica *Elymo elongati-Juncetum maritimi*. Dentro del agua se pueden observar algunas comunidades integradas

por plantas herbáceas, destacando las de *Ruppia maritima* (asociación *Ruppium maritima*).

En las áreas de los saladares sometidas a inundaciones temporales se encuentran comunidades arbustivas dominadas por especies crasicaules o crasifolias, que se separan en función de la posición dentro del gradiente de inundación. Estas comunidades están dominadas en las áreas con menores oscilaciones estacionales de la salinidad por almarjos (*Sarcocornia fruticosa*), que caracteriza en el territorio a la asociación *Cistancho luteae-Arthrocnemetum fruticosi*. Cuando las oscilaciones de salinidad aumentan otra especie de almarjo se hace dominante (*Arthrocnemum macrostachyum*), que en principio permite reconocer la asociación *Frankenio corymbosae-Arthrocnemetum macrostachyi*, aunque en algunas zonas arenosas convive con *Halocnemum strobilaceum*, especie de gran interés biogeográfico y que caracteriza a la asociación *Frankenio corymbosae-Halocnemum strobilacei*. Entre las tres asociaciones de almarjales citadas pueden presentarse praditos de terófitos, con una clara diferenciación entre los primaverales, dominados por *Frankenia pulverulenta*, *Hymenolobus procumbens*, *Parapholis incurva* y/o *Sphenopus divaricatus* (asociación *Parapholido incurvae-Frankenietum pulverulentae*), y los estivales, con la también crasicaule *Salicornia patula* (asociación *Suaedo spicatae-Salicornietum patulae*).

En las áreas salinas no sometidas a inundaciones temporales se asientan herbazales diversos, unos dominados por plantas de hojas agrupadas en roseta basal pertenecientes al género *Limonium* (*Limonium caesium*, *Limonium cossonianum*, *Limonium delicatulum*, etc.), que se incluyen en la asociación *Limonietum angustibracteato-delicatuli*, y otros por albardines (*Lygeum spartum*), pero ricos en especies halófilas, incluidos en la asociación *Limonio caesio-Lygeetum sparti*.

En los suelos más evolucionados de las áreas salinas se pueden instalar tarayales dominados por *Tamarix canariensis* y con presencia puntual de *Tamarix boveana*; normalmente abiertos y dispersos, estos bosquetes se adscriben a la asociación *Inulo crithmoidis-Tamaricetum boveanae* (Alcaraz, 1996).



Foto 7. Vegetación de la zona salina

Hay que destacar que apenas quedan restos de vegetación natural o potencial, a excepción de las proximidades a la laguna del Hondo, ya que todo está muy transformado como consecuencia de la actividad agrícola y urbanística. En primer lugar, el río Segura está totalmente canalizado, se ha modificado su cauce natural, su entorno y, por tanto, toda la vegetación que iba asociada a él. También hay que añadir que debido a las labores de saneamiento del cauce, la vegetación existente en él es eliminada periódicamente. Suelen aparecer comunidades de malas hierbas a veces de carácter ruderal, incluso hipernitrófilo en terrenos en barbecho ó también en los límites de las parcelas cultivadas.

En parte, el cambio en el tipo de vegetación está condicionado por la colonización realizada durante el S. XVIII en estas tierras, y que ha determinado la morfología agraria actual existente en la zona. En los trabajos realizados por Canales y Vera (1985) se hace un análisis de la estructura parcelaria de la zona, donde se ve que más del 90% de los propietarios sólo cuentan con la titularidad de una parcela, lo que demuestra que en la zona tiene gran importancia el minifundio. Consideran que el 77,6% del total de parcelas están comprendidas entre 0,01 y 0,59 ha, mientras el resto de las parcelas se reparten entre un 12,2% para las comprendidas entre 0,60 y 0,99 ha, y el 10 % que superan 1 ha (Tabla 2.8).

Tabla 2.8. Distribución de las tierras según su tamaño

Tamaño de las parcelas (ha)	%
0,01-0,59	77,6
0,59-0,99	12,2
+ 1	10,2

Efectivamente, las parcelas que hay en la zona son de pequeño tamaño y, por tanto, no constituyen grandes explotaciones agrícolas. Aún se siguen utilizando todas aquellas acequias y azarbes que transportaban los drenajes de los cultivos como medios de transporte para el agua de riego, sobre todo a manta y en muy pocos lugares se puede encontrar implantado el riego por goteo. Es una zona donde la agricultura está muy limitada por los recursos hídricos, lo que va a condicionar aún más su producción agrícola.

Dentro de los cultivos herbáceos las hortalizas son las más abundantes en la mayoría de los municipios representados en la zona, seguidos por los cereales, tubérculos, cultivos forrajeros y leguminosas.

Dentro de los cultivos en los leñosos, los cítricos son los cultivos dominantes, muy por encima del resto de cultivos y destaca la poca importancia que tiene en esta zona el viñedo, que en las comarcas limítrofes es tan importante.

Dentro de los cereales para grano, el maíz y la cebada son los cultivos predominantes mientras que la patata lo es dentro de los tubérculos destinados al consumo humano, teniendo también en la zona gran importancia el cultivo de la alfalfa. Es de destacar, que la alcachofa es el cultivo de hortalizas más extendido, le sigue el cultivo de lechuga y ya en menor proporción la coliflor, habas y tomates. Los limoneros son los cítricos dominantes en toda la zona, seguidos muy de cerca por los de naranjos. El resto de frutales no tienen tanta importancia en la zona como los cítricos, a excepción del granado, quizás por su demostrada resistencia a la salinidad. Al igual que ocurre con la alcachofa que suele encontrarse en ambientes ligeramente salinos y alcalinos.

El paso de una agricultura de secano, principalmente productora de cereal, olivo, almendro, a otra de regadío (hortalizas, cítricos, cultivos industriales) fue un gran avance para el desarrollo económico de la zona. El problema se acentúa más aún, no hay agua suficiente para riego y hay que buscarla de donde se pueda, lo que está provocando serios problemas de sobreexplotación de acuíferos, contaminación de éstos por intrusión marina, pérdida de calidad de sus suelos por empleo de aguas de mala calidad y el abuso de fertilizantes. El agua que se usa para el riego tiene muy diversos orígenes, puede ser captada directamente del Río, de los acuíferos subterráneos, del trasvase Tajo-Segura y también pueden ser aguas residuales depuradas o desaladas.

Se está produciendo un gran auge del turismo en la zona y esto está provocando que muchas superficies agrícolas pasen a ser ahora terrenos urbanísticos o sean abandonadas. No sólo se está cambiando el uso del suelo por este fenómeno, sino también por el excesivo déficit hídrico que existe en la zona, que hace que muchos de los cultivos existentes sean insostenibles tanto por la pérdida de calidad como de cantidad de sus cosechas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Muestreo

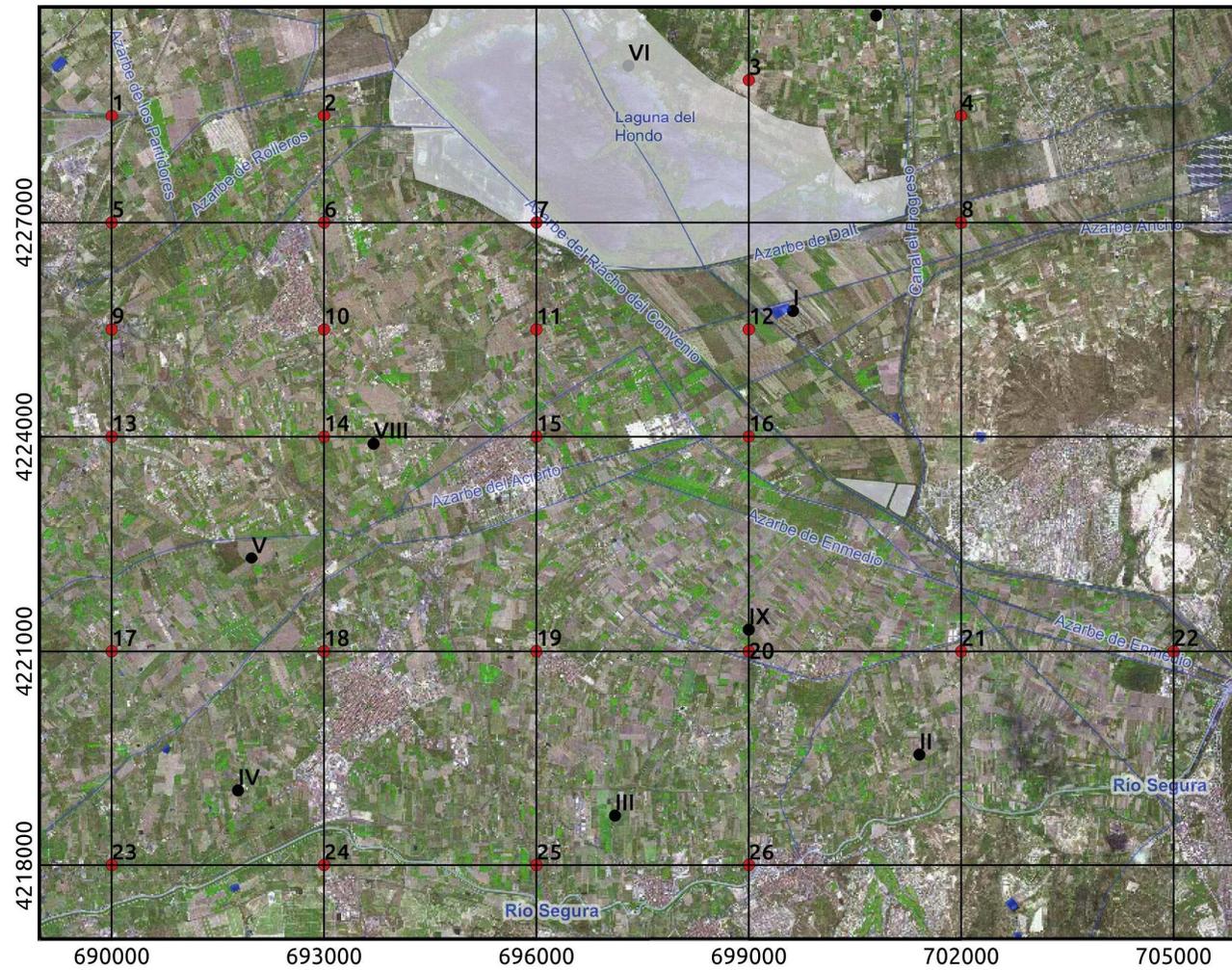
El área seleccionada para este estudio ha sido la correspondiente al sector final de la denominada Vega Baja o Bajo Segura. En ella podemos encontrar veinte términos municipales incluidos en las comarcas alicantinas de Bajo Vinalopó y Vega Baja.

En esta área se han seleccionado 9 perfiles representativos y 26 puntos de capa arable cuyas coordenadas figuran en la Tabla 3.1, para poder caracterizar morfológica, analítica y tipológicamente los suelos de esta zona. Los perfiles se encuentran repartidos por toda el área de estudio y representan toda la variabilidad de suelos existentes, mientras que las muestras de capa arable están ubicadas en una malla variable de 3x3 km a 1.5x3.0 km, dependiendo de la mayor o menor variabilidad de los suelos y/o de sus propiedades en cada zona en cuestión. De esta forma, en la mayor parte de la zona estudiada se ha efectuado un muestreo de 3x3 km y sólo en las zonas más afectadas por sales se ha intensificado para poder evaluar en ellas la dinámica de las mismas. Cada muestra se ha tomado a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) para valorar la evolución de la salinidad con la profundidad. Para ello se utilizó el Mapa Topográfico a escala 1:50.000 correspondiente a las hojas de Elche (893) y Guardamar del Segura (914), y los 1:25.000 comprendidos en dicha área.

Tabla 3.1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Muestra	Coordenadas	Muestra	Coordenadas	Muestra	Coordenadas
1	30SXH900290	10	30SXH930255	19	30SXH960210
2	30SXH930290	11	30SXH960255	20	30SXH990210
3	30SXH990290	12	30SXH990255	21	30SYH020210
4	30SYH020290	13	30SXH900240	22	30SYH050210
5	30SXH900270	14	30SXH930240	23	30SYH900180
6	30SXH930270	15	30SXH960240	24	30SXH930180
7	30SXH960270	16	30SXH990240	25	30SXH960180
8	30SYH020270	17	30SXH900210	26	30SXH990180
9	30SXH900255	18	30SXH930210		

Mapa 2. Localización de las muestras de capa arable y perfiles



Leyenda

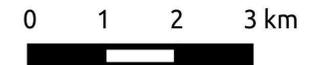
- Muestras capa arable
- Muestras perfiles

Red hidrográfica

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Ortofoto

Fuente: PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España (IGN).



Para la elaboración de esta tesis se han realizado tres muestreos durante un periodo de cuatro años, para ver como evolucionaban las propiedades edáficas y poder establecer una relación entre estas y los cambios ocurridos en su entorno. El primer muestro se realizó en Noviembre-Diciembre del 2002 coincidiendo con la realización del Mapa de Suelos de Guardamar del Segura (914) para el proyecto LUCDEME. Los siguientes muestreos (2004-2006) se realizaron en las mismas condiciones y, aproximadamente, en el mismo periodo estacional que en el 2002. A lo largo del periodo de muestreo, y dada la diversidad de cultivos predominantemente hortícolas de la zona, es previsible una evolución de la salinización de estos suelos, y en el caso de que no fuese así, se tendría la seguridad de que el muestreo es suficientemente representativo y fiable.

En la toma de muestra se consideró que cada punto era el centro de un cuadrado de 10 m de lado. A continuación se procedió a la extracción, mezcla y homogenización de unos 2 kg, aproximadamente, de muestras tanto de las cuatro esquinas, como del centro de dicho cuadrado. De esta manera se cubre una zona de 100 m² que nos permite hacer un análisis más fiable del lugar de muestreo.

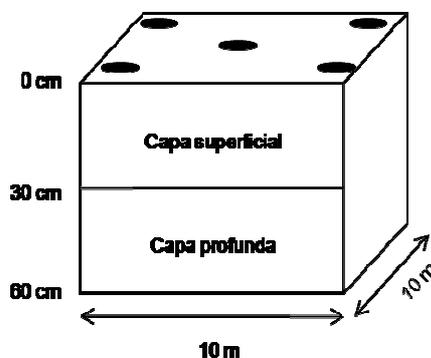


Fig.3.1. Toma de muestras compuesta en cada punto seleccionado.

Las muestras tomadas de 0-30 fueron numeradas con el subíndice 1 y las muestras recogidas en profundidad de 30-60 cm con el subíndice 2. Para la realización de las calicatas de los perfiles se contó con la ayuda de una pala excavadora.

En cada punto de muestreo se rellenó una ficha de campo (anexos) donde se describe cada una de las parcelas muestreadas: UTM, tipo de cultivos y vegetación, observaciones, impactos, etc, siguiendo las recomendaciones dadas por FAO (1974)



Foto 8. Pala excavadora realizando la calicata de un perfil

Durante estos cuatro años de muestreo se han recogido 156 muestras de capa arable a dos profundidades y 42 correspondientes a los perfiles. A la hora de comparar los resultados analíticos de los perfiles y los obtenidos para las de capa arable, se ha optado por realizar una ponderación en los horizontes A y C de los perfiles con su profundidad y obtener así dos valores analíticos, uno correspondiente a los primeros 30 cm y el otro a una profundidad de 30-60 cm aproximadamente.

3.2. Descripción macromorfología de los perfiles

La descripción macromorfológica se realizó en los perfiles de suelos siguiendo la Guía de descripción de perfiles de FAO (FAO, 1977).

Para cada perfil se da, en primer lugar, una serie de datos relativos a su situación, así como una información general sobre el lugar en que se encuentra el suelo y sobre el propio suelo, que comprende:

Localidad: Se da aquí el nombre del término municipal o el de éste y el de la pedanía o caserío al que pertenece el lugar donde se encuentra ubicado el suelo.

Situación: Indica la posición del lugar donde se ha tomado el perfil con respecto a una ciudad, carretera o elemento geográfico importante que sirva de referencia.

Coordenadas geográficas: Para facilitar en algunos casos la localización precisa del punto geográfico de la toma de muestras, se dan las coordenadas UTM.

Altitud: Viene dada en metros sobre el nivel medio del mar.

Pendiente: Se da el nombre de la clase correspondiente.

Posición fisiográfica: Se indica la naturaleza del paisaje.

Vegetación, cultivos o uso del suelo: Cuando se trata de suelos con vegetación natural, se da el nombre de, al menos, las plantas más comunes. En el caso de cultivos, se describe el tipo, variedad, riego, fertilización, producción y otros datos de los que se disponga.

Material original: Se describe brevemente la naturaleza del material litológico.

Condiciones de drenaje: Figura aquí la clase de drenaje natural del suelo.

Pedregosidad: Hace referencia al contenido relativo de piedras en la superficie del suelo, que en ocasiones puede constituir un inconveniente en las prácticas de cultivo.

Afloramientos rocosos: Da cuenta este apartado de la abundancia de afloramientos de rocas consolidadas que puedan limitar el uso de medios mecánicos en el laboreo.

Salinidad: Indica el grado en que el suelo se encuentra afectado por la presencia de sales solubles.

Erosión: En términos sencillos, se describe la clase, el tipo y el grado de erosión que se observa en la zona de toma de muestras.

Influencia humana: Cuando es reconocible, se indica el tipo de acción más destacable realizada por el hombre, que ha podido afectar a la génesis del suelo, su erosión o degradación.

Clasificación del suelo: Se da el nombre de la unidad taxonómica según el sistema "World Reference Base for Soil Resources 2014" (IUSS-WRB, 2014).

A continuación, figura la descripción macromorfológica propiamente dicha, en la que se da el símbolo asignado a cada uno de los horizontes del suelo, su profundidad y propiedades, y características macromorfológicamente reconocibles en una observación de campo.

Para la descripción macromorfológica de los horizontes se tomó en cuenta la consistencia (en mojado, seco, húmedo), textura, color, presencia de raíces, porosidad, presencia de manchas, estructura, así como el límite entre horizontes.

Los símbolos utilizados para representar cada horizonte son los del Sistema FAO (2006) y los colores vienen expresados según las claves MUNSELL (1954).



Foto 9. Determinación del color según las claves MUNSELL (1954)

3.3. Determinaciones analíticas

Antes de realizar las determinaciones analíticas las muestras recogidas se secaron al aire y posteriormente se tamizaron con un tamiz de 2 mm quedándonos con la tierra fina para la realización de las siguientes determinaciones:

Carbono orgánico

Se ha empleado el método de Anne (1945), modificado por Duchaufour (1970), basado en la oxidación con $K_2Cr_2O_7$ en medio sulfúrico y valoración del exceso de oxidante con solución de $(SO_4)_2Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ (Sal de Mörh) 0,2 N en presencia de NaF y con difenilamina como indicador. Su contenido viene dado en $g\ kg^{-1}$. La materia orgánica se calcula de forma indirecta a partir del contenido en carbono orgánico, ya que aproximadamente el 60 % de esta es carbono, por lo que puede obtenerse multiplicando el valor de carbono orgánico en $g\ kg^{-1}$ por 1,72.



Foto 10. Determinación analítica de la materia orgánica.

Nitrógeno total

Se ha empleado el método de Kjeldahl, tal como lo describe Duchaufour (1970), con alguna modificación que no afecta a la esencia del método, como la destilación en un equipo Büchi 316 recogiendo el amonio en solución saturada de ácido bórico y valorando posteriormente con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,02 N facturado con carbonato sódico en presencia de rojo de metilo-verde de bromocresol. Los resultados vienen expresados en gramos N por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

Carbonato cálcico equivalente o total

Se ha empleado el método volumétrico del calcímetro de Bernard, previamente calibrado con cantidades conocidas de CaCO_3 RA, y partiendo del peso adecuado de la tierra fina, según su contenido en carbonatos. Los resultados vienen expresados en gramos de CaCO_3 equivalente por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

Valores de pH

Se ha utilizado el método de Peech (1965), realizando la medida en una suspensión 1:1 de suelo en agua y en KCl 1M en un pHmetro Crison Basic 20.

Extracto de saturación y conductividad eléctrica

Se ha obtenido siguiendo el método descrito por Bower y Wilcox (1965) para preparar el extracto de saturación. Se añade agua miliQ a una muestra seca y tamizada a 2 mm, hasta que se consigue una pasta saturada, luego se filtra a vacío y se mide la conductividad eléctrica en el extracto de saturación por medio de un conductivímetro

Crison Micro CM2110 y sus resultados vienen expresados en deciSiemens por metro (dS m^{-1}) a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cuando los valores de CE son superiores a 2 dS m^{-1} se procede a la determinación de los diferentes iones del extracto.



Foto 11. Determinación analítica de la CE.

Cationes y aniones del extracto

Cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación es mayor de 2 dS m^{-1} , se determinan las concentraciones de cationes y aniones, que vienen expresadas en miliequivalentes por litro de extracto (meq l^{-1}). Entre los cationes se han determinado las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio, al objeto de poder calcular los valores de la razón de adsorción de sodio, RAS, y obtener información sobre la naturaleza de las sales solubles. Los aniones medidos en el extracto de saturación han sido cloruros, sulfatos y nitratos. Se han medido dichos aniones y cationes por cromatografía iónica, tras preparar la dilución correspondiente al rango de medida a excepción de los carbonatos y bicarbonatos que se han determinado por volumetría ácido-base.

Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó por gravimetría llevando un peso de muestra secada al aire a la estufa a 105°C hasta conseguir un peso constante (Gardner, 1965) en capsula tarada. Los resultados vienen expresados en tanto por ciento (%) y son utilizados para calcular el porcentaje de sales de una muestra.

Razón de adsorción de sodio

Es un dato importante en los suelos de las regiones secas, en los que es frecuente un cierto grado de salinidad, puesto que indica la tendencia del catión sodio a incorporarse al complejo de cambio, lo que supone un claro riesgo de alcalinización. Se calcula a partir de las concentraciones de sodio, calcio y magnesio en el extracto de saturación, expresadas en miliequivalentes por litro de extracto (meq l^{-1}), aplicando la fórmula:

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

Sales solubles.

El contenido en sales solubles, que viene expresado en tanto por ciento, se calcula a partir del valor de la conductividad eléctrica del extracto de saturación, cuando éste ha sido mayor de 2 dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, aplicando la fórmula (Bower y Wilcox, 1965):

$$\text{Sales (mgr l}^{-1}\text{)} = 640 \times \text{CE (dS m}^{-1}\text{)}$$

y teniendo en cuenta las cantidades de tierra fina y agua utilizadas en la obtención del extracto.

Yeso

Se ha empleado el método de Nelson (1982), basado en su extracción con agua y determinación turbidimétrica como BaSO_4 , para lo que se utilizó un espectrofotómetro Philips PU8625 UV/VIS. Los resultados se han expresado en gramos de yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

Retención de agua a 1/3 y a 15 atmósferas

Se utilizó el método de la membrana de Richards (1947) en la fracción tierra fina de muestras de suelos. Con la retención de agua a 1/3 atmósferas se mide la capacidad de campo del suelo (CC) y a 15 atmósferas el punto de marchitamiento (PM). La diferencia de los dos parámetros nos dará el agua útil que hay en ese suelo y que puede ser aprovechado por las plantas.



Fotos 12 y 13. Determinación de pFs.

Análisis granulométrico

Tras la adecuada dispersión de la tierra fina utilizando para ello la agitación con hexametáfosfato sódico al 5%, se han determinado combinando la extracción con la pipeta de Robinson para la arcilla y el limo y la tamización para la arena. Los resultados obtenidos vienen expresados en tanto por ciento y podemos distinguir entre arcilla ($\emptyset < 2 \mu\text{m}$), limo fino ($2-20 \mu\text{m}$), limo grueso ($20-50 \mu\text{m}$) y las fracciones de arena de $50-100$, $100-250$, $250-500$, $500-1000$ y $1000-2000 \mu\text{m}$. En aquellos horizontes del suelo y muestras de capa arable que no se dan los datos granulométricos es debido a que no han dispersado por tener, generalmente, un importante contenido en yeso.



Foto 14. Determinación de la granulometría

Sodio, potasio y magnesio asimilables

Se ha tomado como índice de asimilabilidad de estos cationes la cantidad extraída con solución 1N de acetato amónico (Pratt, 1965). La determinación de sodio y potasio se ha hecho por fotometría de llama y la de magnesio por absorción atómica. Los resultados obtenidos vienen expresados en gramos de Na, K y Mg por kg^{-1} de suelo y tienen interés por cuanto que vienen a indicar la fertilidad del suelo en potasio y magnesio y su toxicidad en cuanto a sodio se refiere.

Capacidad de cambio catiónico

Se ha empleado el método de Chapman (1965), basado en saturar el suelo con catión amonio y su valoración tras su desplazamiento y destilación en un equipo Büchi 316. Los resultados vienen expresados en centimoles de carga positiva por kilo de suelo ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$).



Foto 15. Determinación de la capacidad de cambio catiónico

Fósforo asimilable

Se ha empleado el método de Watanabe y Olsen (1965), basado en la extracción del fósforo con solución 0,5M de NaCO_3H (Olsen y Dean, 1965) y determinación fotocolorimétrica del azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962) en un espectrofotómetro Philips PU 8625 UV/VIS. Los resultados vienen dados en mg de P por kg de suelo.



Foto 16. Determinación del fósforo asimilable.

Metales asimilables extraídos con DTPA

Se ha seguido el método de Lindsay y Norvell (1969) que consiste en la extracción con solución 0,005M de DTPA, 0,01M de Ca Cl_2 y 0,1M de trietanolamina a pH de 7,3. Se ha medido por ICP-óptico. Los valores vienen expresados en mg de Fe, Cu, Mn y Zn por kg de suelo.

Difracción de rayos X: extracción y preparación de la fracción arcilla.

Previo a la extracción de la arcilla, se han realizado los siguientes pasos con el fin de eliminar todos los cementantes que puedan dificultar su buena dispersión.

a) Eliminación de carbonatos. Se toma una cantidad determinada de suelo y se pone en un medio 0.3 M de acético (Ostrom, 1961), teniendo especial cuidado en no sobrepasar esta concentración.

b) Una vez sin carbonatos, se destruye la materia orgánica oxidándola con H_2O_2 en caliente (Kunze, 1965).

c) Los óxidos de hierro se han eliminado con hidrosulfito sódico en un medio tamponado con citrato/bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960).

El residuo sólido (arcilla, arena y limo) se tamiza a 50 μm , se recoge en una probeta la fracción menor de 50 μm y se lava las veces necesarias hasta la total dispersión de la arcilla; el proceso termina con la extracción de esta fracción por varios sifonados de los 10 cm superiores tras reposo de 8 horas a 20 °C.

La arcilla extraída se ha saturado en magnesio y potasio (Jackson, 1958) y con ella se han preparado los correspondientes agregados orientados, los cuales han sido sometidos a una serie de tratamientos previos para conseguir la identificación precisa de los minerales de esta fracción. Entre estos tratamientos hay que destacar:

a) Solvatación con etilenglicol y glicerina (Bradley, 1945; Bridley, 1966). Se ha realizado siempre que aparece el pico a 1.4 nm en el diagrama de magnesio.

b) Tratamiento térmico (Whitting, 1965). Realizado cuando existe incertidumbre entre vermiculita, clorita y esmectitas.

c) Ataque ácido (Martin Vivaldi y Rodriguez Gallego, 1961). Teniendo en cuenta que la clorita se destruye en presencia de ácidos, este tratamiento nos permite saber si el pico a 0.7 nm pertenece al segundo orden de la clorita o al primero de la caolinita.

d) Prueba de Greene Kelly (1953) permite distinguir la montmorillonita de otros minerales esmectíticos.

Difracción de R.X.

Los diagramas de difracción de Rayos X se han obtenido con un equipo Philips PW1710 provisto de goniómetro vertical, panel electrónico de registro, monocromador de grafito y contador proporcional, operando bajo las siguientes condiciones de trabajo:

- Radiación: $K\alpha$ Cu
- Intensidad: 24 mA
- Voltaje: 40 kV
- Filtro: Ni
- Rendija de ventana: 1°
- Rendija de contador: 0.1°
- Velocidad de exploración: $1^\circ 2\Theta \text{ min}^{-1}$
- Velocidad del papel: 10 mm min^{-1}
- Sensibilidad: 5×10^3 , 2×10^3 , 1×10^4

Análisis semicuantitativo

La estimación semicuantitativa de los minerales que aparecen en la fracción arcilla ha sido muy complicada, sobre todo en aquellos casos en los que aparecen las tres especies cuyo espaciado basal está próximo a 1.4 nm. Se ha realizado a partir de la superficie de cada pico característico y de los poderes reflectantes dados por Martín Pozas (1968) y Martín Pozas *et al.* (1969) para cada mineral y que se resumen a continuación.

Tabla 3.2. Poder reflectante de la principal reflexión basal para cada filosilicato

Mineral	Reflexión (nm)	Poder reflectante
Illita	1.0	0.5
Caolinita	0.7	1
Montmorillonita	1.7	2
Clorita	1.4 (Tratamiento térmico)	2

Para la vermiculita se ha empleado el mismo poder reflectante que para la illita, ya que su estimación se hace por diferencia entre el pico de 1.0 nm del diagrama de calentamiento a 500 °C y el de 1.0 en el de arcilla saturada en Mg, que coincide, generalmente, con el hallado por diferencia entre los picos a 1.0 nm de los diagramas correspondientes a las muestras saturadas en K y Mg.

3.4. Análisis estadístico de los resultados y representación cartográfica

A los datos obtenidos de las determinaciones analíticas de las muestras tomadas se les ha aplicado una estadística descriptiva básica donde se ha determinado:

- Media aritmética
- Mediana
- Valor mínimo y valor máximo.
- Rango
- Desviación típica
- Varianza

Para la realización de este análisis estadístico se ha utilizado el programa estadístico SPSS[®] 19.0. Antes de realizar los test estadísticos oportunos se ha comprobado si las poblaciones seguían una distribución normal con el test de Shapiro-Wilkinson ($n < 50$), para utilizar test paramétricos o no paramétricos. Para comprobar la existencia de diferencias significativas en los parámetros salinos estudiados, tanto en el tiempo como en el espacio, se han utilizado test paramétricos como la T de Student y no paramétricos como el test de Wilcoxon y U Mann Whitney.

También se ha creído oportuno analizar las relaciones entre distintas variables, por lo que se han empleado técnicas de correlación (Coeficientes de Spearman y Pearson).

La cartografía se ha realizado utilizando el software QGIS 2.8 Wien. Las diferentes variables estudiadas se han interpolado utilizando IDW (interpolación por ponderación inversa de la distancia), un método no paramétrico que asume que cada punto tiene una influencia local que disminuye de forma no lineal con la distancia. El peso de cada punto es proporcional al inverso de la distancia elevado a un valor de potencia p , de modo que al aumentar la distancia, los pesos disminuyen rápidamente, dependiendo del valor de p . En este trabajo, se ha utilizado un valor de $p = 2$ (Mitas y Mitasova, 1999; DeMers, 2005). Para la obtención de la velocidad de salinización y alcalinización se ha utilizado el módulo de álgebra de mapas que incluye QGIS. Los mapas de intervalos se han obtenido con el complemento Slicer (versión 1.1.1).

**4. CARACTERIZACIÓN TIPOLOGICA,
ANALÍTICA Y MINERALÓGICA DE LOS
SUELOS**

4.1. Descripción macromorfológica, datos analíticos y mineralogía de arcillas en perfiles

4.1.1. Descripción macromorfológica de perfiles

La descripción macromorfológica de los suelos se ha realizado sobre calicatas abiertas al efecto y siguiendo la Guía de descripción de perfiles de FAO (FAO, 1977).

PERFIL I

Localidad: término municipal de Elche.

Situación: en el paraje Los Carrizales, a unos 4 km al noreste de Dolores.

Coordenadas U.T.M.: 30SXH996257.

Altitud: 3 m sobre nivel del mar.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: barbecho con diversas nitrófilas.

Material original: depósitos aluviales finos, posiblemente de origen lacustre.

Condiciones de drenaje: imperfectamente drenado.

Pedregosidad: sin piedras.

Afloramientos rocosos: no existen.

Salinidad: fuertemente afectado por sales.

Erosión: deposición hídrica ocasional.

Influencia humana: labores de cultivo y drenaje artificial.

Clasificación del suelo: *Solonchack Gléyico Sódico (Arcílico, Calcárico).*

DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. (cm)</u>	
Apz1	0-17	Pardo (10YR5/3) en húmedo y gris (10YR6/1) en seco. Textura

arcillo limosa y estructura poliédrica subangular fina y mediana, moderada, tendiendo a laminar en superficie. Muy adherente; plástico; friable y duro. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.

- Apz2** 17-28 Pardo grisáceo (10YR5/2) en húmedo y gris claro (10YR7/1) en seco. Textura arcillo limosa y estructura poliédrica subangular mediana y fina, débil. Muy adherente; plástico; friable y duro. Muchos poros muy finos y pocos medianos. Se observan escasas manchas pequeñas de color blanquecino de yeso, junto con otras medianas y grandes herrumbrosas localizadas en la base del horizonte. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
- Cgyz1** 28-46 Pardo oliva claro (2,5Y5/3) en húmedo y pardo grisáceo (2,5Y5/2) en seco. Arcillosa. Masivo. Adherente; plástico; friable y duro. Frecuentes manchas blanquecinas, pequeñas y medianas y muchas manchas herrumbrosas, medianas y grandes, todas ellas definidas y con límites netos. También se observan algunas manchas de color negro de 1-3 cm de tamaño y que adoptan forma laminar en algunas zonas del perfil. Frecuentes poros muy finos. Se observan algunos restos de origen biológico como caracolas, conchas, etc. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
- Cgyz2** 46-67 Pardo amarillento suave (2,5Y6/3) en húmedo y gris suave (2,5Y7/2) en seco. Textura arcillo limosa. Masivo. Adherente; plástico; friable y duro. Pocas manchas pequeñas y medianas de color blanquecino y pocas medianas y grandes herrumbrosas, definidas y netas. Muchos poros muy finos. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
- Cgyz3** +67 Pardo amarillento suave (2,5Y6/3) en húmedo y gris suave (2,5Y7/2) en seco. Textura arcillo limosa. Masivo. Adherente; plástico; friable y duro. Muchas manchas herrumbrosas, grandes, definidas y netas. Pocos poros muy finos. Fuertemente calcáreo.



Foto 17. Panorámica del Perfil I



Foto 18. Macromorfología del perfil I

PERFIL II

Localidad: término municipal de Rojasles.

Situación: en el margen izquierdo del río Segura, a unos 2 km al este-noreste de Rojasles.

Coordenadas U.T.M.: 30SYH014195.

Altitud: 12 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: barbecho junto a cultivo de hortalizas (alcachofas).

Material original: sedimentos aluviales.

Condiciones de drenaje: moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: sin piedras.

Afloramientos rocosos: no se observan.

Salinidad: ligeramente afectado por sales.

Erosión: deposición hídrica moderada.

Influencia humana: subsolado con vertedera hasta 50 cm. Riego a manta.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Sódico Calcárico* (Arico, Franco)

Observaciones: Los horizontes Ap1 y Ap2 contienen restos de plásticos utilizados en los cultivos.

DESCRIPCIÓN MACROMORFOLOGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. Cm</u>	
Ap1	0-28	Pardo (10YR5/3) en húmedo y gris claro (10YR7/2) en seco. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular mediana y gruesa, débil. Adherente; plástico; firme y duro. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.

Ap2	28-41	Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular mediana y fina débil. Adherente; plástico; firme y duro. Muchos poros muy finos y pocos finos. Límite neto, plano.
C1	41-70	Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arenosa. Sin estructura. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; friable y ligeramente duro. Muchos poros muy finos. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C2	70-90	Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arenosa. Sin estructura. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; muy friable y ligeramente duro. Muchos poros muy finos. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
Cg3	+90	Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en húmedo y gris claro (10YR7/2) en seco. Textura franco arenosa. Sin estructura. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; muy friable y ligeramente duro. Frecuentes manchas, medianas, definidas y difusas de aspecto herrumbroso. Muchos poros muy finos. Fuertemente calcáreo.



Foto 19. Panorámica del perfil II



Foto20. Macromorfología del perfil II

PERFIL III

Localidad: término municipal de Dolores.

Situación: a 1 km al noroeste de Formentera del Segura.

Coordenadas U.T.M.: 30SXH710187.

Altitud: 10 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: Erial.

Material original: sedimentos aluviales.

Condiciones de drenaje: bien drenado.

Pedregosidad: sin piedras o con muy pocas.

Afloramientos rocosos: ninguno.

Salinidad: libre de sales.

Erosión: Deposición hídrica fuerte.

Influencia humana: Abandono de los cultivos desde hace más de 5 años.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)*.

Observaciones: C2 puede corresponder a un horizonte A enterrado (Ab) procedente del fondo de la laguna. Abundantes hormigueros en Ap1 y Ap2. Conchas de caracoles hasta la base del C2.

DESCRIPCIÓN MACROMORFOLOGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ap1	0-20	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular mediana, moderada. Adherente; plástico; friable y muy duro. Muchos poros muy finos y finos, pocos medianos y gruesos. Fuertemente calcáreo. Presencia de hormigueros. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas.

Límite neto, plano.

- | | | |
|------------|--------|--|
| Ap2 | 20-40 | Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arcillosa. Estructura poliédrica, subangular mediana y gruesa, débil. Adherente; plástico; friable y duro. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos y gruesos. Fuertemente calcáreo. Presencia de hormigueros. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas y medianas. Límite neto, plano |
| 2C1 | 40-58 | Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arenosa. Sin estructura. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; muy friable y duro. Muchos poros muy finos y finos. Fuertemente calcáreo. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas y medianas. Límite neto, plano. |
| 3C2 | 58-100 | Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arcillo-limosa. La estructura rompe a poliédrica angular gruesa y muy gruesa fuerte, con tendencia a prismática, propia del material litológico (masivo). Adherente; plástico; firme y duro. Muchos poros muy finos, pocos finos y gruesos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces muy finas, finas y medianas. Presencia de abundantes conchas de caracoles. Límite neto, plano. |
| C3 | +100 | Pardo muy pálido (10YR8/2) en húmedo y pardo grisáceo (10YR5/2) en seco. Textura arcillo limosa. Masivo. Adherente; plástico; muy firme y muy duro. Pocas manchas blancas de yeso, pequeñas, destacadas, netas y blanquecinas y frecuentes manchas herrumbrosas, medianas, definidas y difusas. Frecuentes poros muy finos y pocos finos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces muy finas. |



Foto 21. Foto panorámica del perfil III



Foto 21. Macromorfología del perfil III

PERFIL IV

Localidad: término municipal de Almoradí.

Situación: en el margen derecho de la carretera Almoradí-Orihuela, a unos 2.5 km al suroeste de Almoradí.

Coordenadas U.T.M.: 30SXH917190.

Altitud: 10 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: limoneros.

Material original: sedimentos aluviales.

Condiciones de drenaje: moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: sin piedras o con pocas.

Afloramientos rocosos: ninguno.

Salinidad: ligeramente afectado.

Erosión: deposición hídrica.

Influencia humana: labores de cultivo.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Protovértico).*

Observaciones: En las inmediaciones del perfil se observan características vérticas, como son grietas entre uno y dos centímetros de ancho que profundizan hasta 10 o 15 cm y que no llegan a tener valor diagnóstico. Asimismo, se observan signos de hidromorfía a partir de un metro de profundidad.

DESCRIPCION MACROMORFOLOGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. Cm</u>	
Ap1	0-20	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arcillo-limosa y estructura poliédrica subangular mediana y gruesa moderada. Adherente; plástico; friable y duro.

		Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Fuertemente calcáreo. Abundantes raíces muy finas y muy pocas finas y medianas. Límite neto, plano.
Ap2	20-32	Pardo pálido (10YR6/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR8/2) en seco. Textura franco arcillo-limosa y estructura poliédrica subangular fina y media débil, con frecuentes manchas medianas, definidas y netas de color blanquecino, muy posiblemente de sales. Adherente; plástico; firme y duro. Muchos poros muy finos y pocos finos y medianos. Muy pocas raíces muy finas y pocas finas y medianas. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C1	32-62	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arcillo-limosa, masivo, con pocas manchas medianas, definidas y netas de color blanco. Adherente; plástico; firme y muy duro. Muchos poros muy finos y pocos finos y medianos. Pocas raíces. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C2	62-102	Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR6/4) en seco. Textura franco arcillo-limosa, masivo, con pocas manchas filiformes blanquecinas, posiblemente de yeso y algunas herrumbrosas poco definidas. Adherente; plástico; muy firme y muy duro. Muchos poros muy finos y pocos finos y medianos. Muy pocas raíces muy finas. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.
C3	+ 102	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR8/2) en seco. Textura franco arcillosa, masivo y presenta muchas manchas medianas y grandes, herrumbrosas y poco definidas. Adherente; plástico; muy firme y muy duro. Muchos poros muy finos y pocos finos y medianos. Fuertemente calcáreo.



Foto 23. Panorámica del perfil IV



Foto 24. Panorámica del perfil IV

PERFIL V

Localidad: término municipal de Almoradí.

Situación: próximo a la acequia del Mudamiento, a unos 2.5 km al noroeste de Almoradí.

Coordenadas U.T.M.: 30SXH919223.

Altitud: 9m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: barbecho junto a cultivo de brócoli.

Material original: sedimentos aluviales.

Condiciones de drenaje: moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: sin piedras.

Afloramientos rocosos: ninguna.

Salinidad: libre de sales.

Erosión: deposición hídrica.

Influencia humana: labores de cultivo.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Calcárico (Arcillico, Árico, Protovértico)*.

Observaciones: se observan características vérticas en forma de grietas de 1 a 2 cm de ancho que profundizan entre 10 y 15 cm, que no llegan a tener valor diagnóstico.

DESCRIPCION MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ap1	0-18	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura arcillo limosa y estructura poliédrica subangular media y gruesa moderada, laminar en superficie (1-1.5 cm), con frecuentes grietas de hasta 3 cm. Adherente; plástico; firme y duro. Se observan abundantes manchas puntiformes de color blanco en la lámina

superficial del suelo. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Fuertemente calcáreo. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite neto, plano.

Ap2 18-42 Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura arcillo limosa y estructura poliédrica subangular media débil. Adherente; plástico; firme y duro. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.

C1 42-86 Pardo grisáceo (10YR5/2) en húmedo y gris claro (10YR7/1) en seco. Textura arcillo limosa; masivo. Adherente; plástico; muy firme y duro. Muchos poros muy finos y pocos finos. Fuertemente calcáreo. Límite neto, plano.



Foto 25. Panorámica del perfil V



Foto 26. Macromorfología del perfil V

PERFIL VI

Localidad: término municipal de Elche (Alicante).

Situación: Laguna del Hondo, próximo a la Charca Norte.

Coordenadas UTM: 30SXH973292.

Altitud: 5 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: fondo de depresión endorreica.

Vegetación: *Sarcocornia fruticosa*, *Limonium cossonianum*, *Phragmites australis*.

Material original: sedimentos lacustres con interstratificaciones.

Condiciones de drenaje: imperfectamente drenado.

Pedregosidad: sin piedras.

Afloramientos rocosos: no se presentan.

Salinidad: fuertemente afectado por sales.

Erosión: deposición hídrica moderada.

Influencia humana: escasa, sólo pastoreo extensivo.

Clasificación del suelo: *Solonchak Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Franco, Gipsírico Hipersálico)*

DESCRIPCION MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ayz	0-7	Pardo pálido (10YR6/3) en húmedo y gris claro (10YR7/2) en seco. Textura franca, con estructura poliédrica subangular mediana con tendencia a masivo; presenta una estructura laminar en el centímetro superficial cubierta de frecuentes manchas, pequeñas, indistintas, netas de color blanco, posiblemente de sales. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; muy friable; ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces finas

		y muy finas. Límite neto, plano.
Cgyz1	7-26	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franca a franca limosa; masivo. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; friable; ligeramente duro. Muy calizo. Frecuentes manchas, pequeñas, indistintas y netas; en la base aparecen manchas herrumbrosas pardo rojizas en láminas horizontales paralelas a la superficie de estratificación, con una anchura de hasta 3-4 cm. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.
Cgyz2	26-34	Pardo pálido (10YR6/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arenosa; sin estructura (suelto). No adherente; no plástico; friable; blando. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos. Límite brusco, plano.
Cgyz3	34-39	Pardo pálido (10YR6/3) en húmedo y gris claro (10YR7/2) en seco. Textura franco limosa; masivo. Adherente; ligeramente plástico; friable; ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes poros muy finos. Muy pocas raíces muy finas. Límite brusco, plano.
Cgyz4	+39	Pardo pálido (10YR6/3) en húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Textura franco arenosa; sin estructura. No adherente; no plástico; friable; blando. Fuertemente calcáreo. Frecuentes poros muy finos y muy pocas raíces muy finas.



Foto 27. Panorámica del perfil VI



Foto 28. Panorámica del perfil VI

PERFIL VII

Localidad: término municipal de Elche (Alicante).

Situación: a 700 m al este del Km 7,1 de la carretera Elche-Guardamar del Segura.

Coordenadas UTM: 30SYH008299.

Altitud: 20 m.

Pendiente: Llano.

Posición fisiográfica: llanura.

Vegetación: barbecho de cereal y en las proximidades plantación de palmeras (*Phoenix dactilífera*) y *Atriplex glauca*.

Material original: sedimentos cuaternarios.

Condiciones de drenaje: bien drenado.

Pedregosidad: sin piedras.

Afloramientos rocosos: no existen.

Salinidad: ligeramente afectado por sales.

Erosión: hídrica laminar muy débil.

Influencia humana: labores de cultivo.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Sódico Gipsírico Calcárico* (Árico, Franco).

DESCRIPCION MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ap1	0-13	Pardo (10YR5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franca y estructura poliédrica subangular mediana y gruesa bien desarrollada. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; firme; ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos y finos y pocos medianos. Comunes raíces muy finas y muy pocas finas y medianas. Límite neto, plano.
Ap2	13-28	Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en

seco. Textura franca y estructura poliédrica subangular gruesa y muy gruesa moderada. Ligeramente adherente; plástico; firme; ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite neto, plano.

Cy1 28-50 Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo pálido (10YR6/3) en seco. Textura franco arenosa y estructura masiva. No adherente; no plástico; firme; ligeramente duro. Frecuentes manchas filamentosas pequeñas y medianas destacadas brucas y blancas. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite gradual, plano.

Cy2 +50 Pardo amarillento (10YR5/4) en húmedo y pardo amarillento claro (10YR6/4) en seco. Textura franco arenosa y estructura masiva. Ligeramente adherente; ligeramente plástico; firme; ligeramente duro. Frecuentes manchas filamentosas pequeñas y medianas definidas netas y blanquecinas. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos. Muy pocas raíces muy finas.



Foto 29. Panorámica del perfil VII



Foto 30. Panorámica del perfil VII

PERFIL VIII

Localidad: término municipal de Catral.

Situación: paraje de los Manueles, a unos 1.700 m al oeste de Dolores.

Coordenadas UTM: 30SXH937239.

Altitud: 20 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: rastrojos de trigo. Cultivo de alfalfa, limoneros, brócoli.

Material original: sedimentos aluviales finos.

Condiciones de drenaje: moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: no presenta.

Afloramientos rocosos: ninguno.

Salinidad: moderada.

Erosión: deposición hídrica muy ocasional.

Influencia humana: labores de cultivo.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Sódico Gipsírico Calcárico (Árico, Franco)*.

DESCRIPCION MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ap1	0-20	Pardo (10YR5/3) en estado húmedo y pardo pálido (10YR 6/4) en seco. Franco arcillo-limoso, con estructura poliédrica subangular media y gruesa, moderada. Adherente; plástico; firme; muy duro. Fuertemente calcáreo. Muchos poros finos, frecuentes muy finos y pocos medianos. Comunes raíces finas y pocas muy finas. Límite neto, plano.
Apy2	20-36	Pardo amarillento (10YR5/4) en estado húmedo y pardo muy pálido (10YR7/3) en seco. Franco arcillo-limoso, con estructura poliédrica

subangular de media a gruesa, moderada. Adherente; plástico; firme; muy duro. Muy calizo. Frecuentes manchas (4%), pequeñas y medianas, definidas y netas de color blanco yesosas. Fuertemente calcáreo. Muchos poros finos y muy finos, y pocos medianos y gruesos. Pocas raíces muy finas. Límite neto, ondulado.

- | | | |
|------------|-------|--|
| Cy1 | 36-78 | Pardo amarillento (10YR5/4) en estado húmedo y pardo muy pálido (10YR7/4) en seco. Franco arenoso, con estructura particular suelta. No adherente; no plástico; muy friable; ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Muchos poros muy finos. Límite neto, plano. |
| Cy2 | +78 | Pardo amarillento (10YR5/4) en estado húmedo y pardo muy pálido (10YR7/4) en seco. Franco limoso. Ligeramente adherente; plástico; friable; duro. Frecuentes manchas (7%) medianas definidas y netas de color amarillento anaranjado, herrumbrosas. Fuertemente calcáreo. Muchos poros finos y muy finos y pocos medianos y gruesos. |



Foto 31. Panorámica del perfil VIII

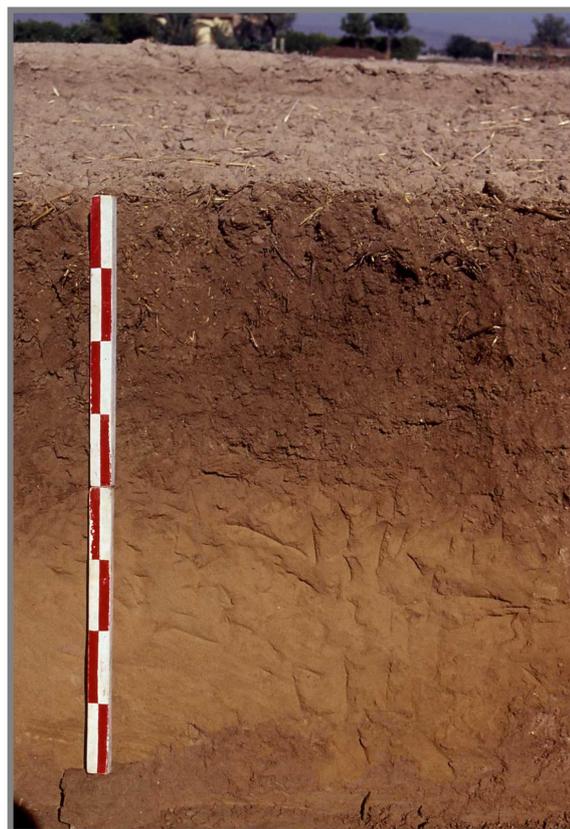


Foto 32. Macromorfología del perfil VIII

PERFIL IX

Localidad: término municipal de Dolores.

Situación: a 1,9 km, al noroeste de San Fulgencio.

Coordenadas UTM: 30SXH990213.

Altitud: 15 m.

Pendiente: llano.

Posición fisiográfica: llanura aluvial.

Vegetación: barbecho. Cultivo de brócoli.

Material original: depósitos aluviales sobre sedimentos lacustres.

Condiciones de drenaje: moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: no presenta.

Afloramientos rocosos: ninguno.

Salinidad: no se aprecia.

Erosión: deposición hídrica.

Influencia humana: labores de cultivo.

Clasificación del suelo: *Fluvisol Gléyico Sodico Gipsírico Calcárico (Árico, Franco)*.

DESCRIPCION MACROMORFOLÓGICA

<u>Hor.</u>	<u>Prof. cm</u>	
Ap1	0-18	Pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en estado húmedo y pardo (10YR5/3) en seco. Arcillo limoso, con estructura poliédrica subangular mediana, moderada. Muy adherente; muy plástico; firme y duro. Fuertemente calcáreo. Muchos poros finos y frecuentes medianos. Pocas raíces finas y muy finas. Límite neto, plano.
Ap2	18-39	Pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en estado húmedo y pardo claro (10YR6/2) en seco. Arcillo limoso, con estructura poliédrica

subangular mediana y gruesa bien desarrollada. Muy adherente; muy plástico; firme y muy duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes poros muy finos y pocos finos y medianos. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite gradual, plano.

- Cy1** 39-53 Pardo grisáceo (10YR5/2) en estado húmedo y pardo grisáceo claro (10YR6/2) en seco. Arcillo limoso, masivo. Muy adherente; muy plástico; firme y muy duro. Fuertemente calcáreo. Con pocas manchas medianas, indistintas y difusas, de color amarillento herrumbroso. Pocos poros muy finos. Muy pocas raíces muy finas. Límite brusco y plano.
- 2Cy2** 53-67 Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3.5/1) en estado húmedo y gris (10YR5/1) en seco. Arcillo limoso, masivo. Muy adherente; ligeramente plástico; firme y muy duro. Abundantes restos de conchas de gasterópodos lacustres. Fuertemente calcáreo y pocos poros muy finos. Límite neto, plano.
- Cgy3** +67 Gris oliva (5Y6/2) en estado húmedo y gris claro (5Y7/1) en seco. Arcillo limoso, masivo. Muy adherente; muy plástico; firme; muy duro. Frecuentes (15%) manchas medianas y grandes, netas, herrumbrosas. Fuertemente calcáreo y con pocos poros muy finos.



Foto 33. Panorámica del perfil IX.



Foto 34. Macromorfología del perfil IX

A la vista de las descripciones macromorfológicas y los datos de las Tablas 4.1 y 4.2, los suelos de la zona estudiada presentan una morfología muy sencilla, con un perfil de tipo Ap-C, A-Cz, Ap-Cgyz, donde es muy frecuente que el horizonte A esté más o menos fuertemente perturbado por la actividad agrícola a la que están sometidos estos suelos desde épocas ancestrales. Asimismo, es frecuente encontrar horizontes C afectados por acumulación de sales solubles que, en ocasiones, pueden ascender por capilaridad hasta el horizonte A superficial, acumulación de yeso y, en otros casos, la presencia de una capa freática próxima a la superficie que confiere características o rasgos de hidromorfía a algunos horizontes del suelo.

A medida que estos sedimentos maduran, como ocurre en zonas más alejadas del río, se pueden observar procesos de segregación o de alteración de constituyentes que dan lugar a suelos de tipo Ap-Ck-C ó Ap-Bw(Bwk)-C(Ck), en los que los horizontes pueden tener o no carácter diagnóstico, en función de la intensidad del proceso.

Excepto el perfil nº VI, todos los suelos tienen dos subhorizontes Ap, perturbados por las labores de cultivo y muy similares en casi todas sus características, salvo en su estructura más afectada en el Ap1 por las labores de cultivo. El subhorizonte Ap1 alcanza una profundidad media de unos 20 cm mientras que el Ap2 llega hasta los 40 o 45 cm. El perfil VI sólo presenta un horizonte Az donde no se evidencia ningún tipo de influencia antrópica destacable y donde sobresale la acumulación de sales solubles, sobre todo en los centímetros superficiales, a consecuencia de la traslocación ascendente de éstas por capilaridad.

Los horizontes C desarrollados bajo el Ap, forman varias capas más o menos diferentes en cuanto a sus características y propiedades habida cuenta de su origen fluvéntico, pudiendo representar en ocasiones una o varias discontinuidades litológicas, como es el caso de los perfiles III y IX. Como se ha indicado, estos horizontes o capas C pueden llegar a tener una textura muy distinta dentro del mismo perfil y no presentan una estructura de suelo, encontrándose o bien en forma masiva o bien como particular suelta.

La presencia en las inmediaciones de materiales litológicos ricos en sales solubles ha originado la aparición de horizontes con fuertes acumulaciones de éstas, como ha sido el caso de los perfiles I y VI, mientras que la salinización antrópica asociada al uso agrícola predominante de estos suelos está produciendo una salinización

más o menos acusada en el resto, que se observa en los valores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación.

Por último, desde el punto de vista macromofológico, cabe destacar que la mayoría de estos suelos son adherentes o muy adherentes y plásticos, como consecuencia de su alto porcentaje de arcilla y limo y tienen un color predominantemente pardo, más oscuro en estado húmedo que en seco. Su contenido en poros es variado, pero sobre todo predominan los de tamaño pequeño, están totalmente carbonatados y los límites entre horizontes son predominantemente netos y planos.

Tabla 4.1. Descripción macromorfológica (I)

Perfil	Color		Consistencia		Suelos
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	
Apz1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/1 (gris)	Friable	Duro	SOLONCHAK
Apz2	10YR 5/2 (pardo grisáceo)	10YR 7/1 (gris claro)	Friable	Duro	
Cgyz1	2,5Y 5/3 (pardo oliva claro)	2,5Y 5/2 (pardo grisáceo)	Friable	Duro	
Cgyz2	2,5Y 6/3 (pardo amarillento suave)	2,5Y 7/2 (gris suave)	Friable	Duro	
Cgyz3	2,5Y 6/3 (pardo amarillento suave)	2,5Y 7/2 (gris suave)	Friable	Duro	
Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 7/2 (gris claro)	Firme	Duro	FLUVISOL
Ap2	10YR 4/4 (pardo amarillento oscuro)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Duro	
C1	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Friable	Ligeramente duro	
C2	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Muy friable	Ligeramente duro	
Cg3	10YR 6/4 (pardo amarillento claro)	10YR 7/2 (gris claro)	Muy friable	Ligeramente duro	
Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Friable	Muy duro	FLUVISOL
Ap2	10YR 4/4 (pardo amarillento oscuro)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Friable	Duro	
2C1	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Muy friable	Duro	
3C2	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Duro	
C3	10YR 5/2 (pardo grisáceo)	10YR 8/2 (pardo muy pálido)	Muy firme	Muy duro	
Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Friable	Duro	FLUVISOL
Ap2	10YR 6/3 (pardo pálido)	10YR 8/2 (pardo muy pálido)	Firme	Duro	
C1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Firme	Muy duro	
C2	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 6/4 (pardo amarillento claro)	Muy firme	Muy duro	
C3	10YR 5/3 (pardo)	10YR 8/2 (pardo muy pálido)	Muy firme	Muy duro	

Tabla 4.1. Descripción macromorfológica (I)

Perfil	Color		Consistencia		Suelos	
	Color en Húmedo	Color en seco	Húmedo	Seco		
V	Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Duro	FLUVISOL
	Ap2	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Duro	
	C1	10YR 5/2 (pardo grisáceo)	10YR 7/1 (gris claro)	Muy firme	Duro	
	C2	10YR 5/2 (pardo grisáceo)	10YR 7/1 (gris claro)	Muy firme	Extremadamente duro	
VI	Ayz	10YR 6/3 (pardo pálido)	10YR 7/2 (gris claro)	Muy friable	Ligeramente duro	SOLONCHAK
	Cgyz1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Friable	Ligeramente duro	
	Cgyz2	10YR 6/3 (pardo pálido)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Friable	Blando	
	Cgyz3	10YR 6/3 (pardo pálido)	10YR 7/2 (gris claro)	Friable	Ligeramente duro	
	Cgyz4	10YR 6/3 (pardo pálido)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Friable	Blando	
VII	Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Ligeramente duro	FLUVISOL
	Ap2	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Ligeramente duro	
	Cy1	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 6/3 (pardo pálido)	Firme	Ligeramente duro	
	Cy2	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 6/4 (pardo amarillento claro)	Firme	Ligeramente duro	
VIII	Ap1	10YR 5/3 (pardo)	10YR 6/4 (pardo pálido)	Firme	Muy duro	FLUVISOL
	Ap2y	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/3 (pardo muy pálido)	Firme	Muy duro	
	Cy1	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/4 (pardo muy pálido)	Muy friable	Ligeramente duro	
	Cy2	10YR 5/4 (pardo amarillento)	10YR 7/4 (pardo muy pálido)	Friable	Duro	
IX	Ap1	10YR 4/2 (pardo grisáceo oscuro)	10YR 5/3 (pardo)	Firme	Duro	FLUVISOL
	Ap2	10YR 4/2 (pardo grisáceo oscuro)	10YR 6/2 (pardo claro)	Firme	Muy duro	
	Cy1	10YR 5/2 (pardo grisáceo)	10YR 6/2 (pardo claro)	Firme	Muy duro	
	2Cy2	10YR 3,5/1 (pardo grisáceo muy oscuro)	10YR 5/1 (gris)	Firme	Muy duro	
	Cgy3	5Y 6/2 (Gris oliva)	5Y 7/1 (gris claro)	Firme	Muy duro	

Tabla 4.2. Descripción macromorfológica (II)

	Adhesividad	Plasticidad	Estructura	Textura	Suelos	
I	Apz1	Muy adherente	Plástico	Poliédrica subangular fina y mediana, moderada	Arcillo-limosa	SOLONCHAK
	Apz2	Muy adherente	Plástico	Poliédrica subangular mediana y fina, débil	Arcillo-limosa	
	Cgyz1	Adherente	Plástico	Masiva	Arcillosa	
	Cgyz2	Adherente	Plástico	Masiva	Arcillo-limosa	
	Cgyz3	Adherente	Plástico	Masiva	Arcillo-limosa	
II	Ap1	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y gruesa, débil	Franco arcillosa	FLUVISOL
	Ap2	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y fina débil	Franco arcillosa	
	C1	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
	C2	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
	C3g	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
III	Ap1	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular mediana, moderada	Franco arcillosa	FLUVISOL
	Ap2	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular mediana y gruesa débil	Franco arcillosa	
	2C1	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
	3C2	Adherente	Plástico	Masivo	Franco arcillo-limosa	
	C3	Adherente	Plástico	Masivo	Arcillo-limosa	
IV	Ap1	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y gruesa moderada	Franco arcillo-limosa	FLUVISOL
	Ap2	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular fina y media débil	Franco arcillo-limosa	
	C1	Adherente	Plástico	Masivo	Franco arcillo-limosa	
	C2	Adherente	Plástico	Masivo	Franco arcillo-limosa	
	C3	Adherente	Plástico	Masivo	Arcillo limosa	

Tabla 4.2. Descripción macromorfológica (II)

		Plasticidad	Adhesividad	Estructura	Textura	Suelos
V	Ap1	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y gruesa moderada	Arcillo limosa	FLUVISOL
	Ap2	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media débil	Arcillo limosa	
	C1	Adherente	Plástico	Masiva	Arcillo limosa	
	C2	Adherente	Plástico	Masiva	Arcillo limosa	
VI	Ayz	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Poliédrica subangular media a masiva	Franca	SOLONCHAK
	C1gyz	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Masiva	Franca	
	C2gyz	No adherente	No plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
	C3gyz	Adherente	Ligeramente plástico	Masivo	Franco limosa	
	C4gyz	No adherente	No plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
VII	Ap1	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Poliédrica subangular media y gruesa, desarrollada	Franca	FLUVISOL
	Ap2	Ligeramente adherente	Plástico	Poliédrica subangular gruesa y muy gruesa, moderada	Franca	
	Cy1	No adherente	No plástico	Masiva	Franco arenosa	
	Cy2	Ligeramente adherente	Ligeramente plástico	Masiva	Franco arenosa	
VIII	Ap1	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y gruesa, moderada	Franco arcillo-limoso	FLUVISOL
	Ap2	Adherente	Plástico	Poliédrica subangular media y gruesa, moderada	Franco arcillo-limoso	
	Cy1	No adherente	No plástico	Sin estructura	Franco arenosa	
	Cy2	Ligeramente adherente	Plástico	Masiva	Franco limosa	
IX	Ap1	Muy adherente	Muy plástico	Poliédrica subangular mediana, moderada	Arcillo limosa	FLUVISOL
	Ap2	Muy adherente	Muy plástico	Poliédrica subangular mediana y gruesa, desarrollada	Arcillo limosa	
	Cy1	Muy adherente	Muy plástico	Masiva	Arcillo limosa	
	2Cy2	Muy adherente	Ligeramente plástico	Masiva	Arcillo limosa	
	Cgy3	Muy adherente	Muy plástico	Masiva	Arcillo limosa	

4.1.2. Características analíticas de los perfiles

En cuanto los datos analíticos (Tablas 4.3), nos encontramos predominantemente con suelos con un contenido en materia orgánica moderado, habida cuenta de su larga historia como suelos de huerta, donde la mineralización de este constituyente se contrarresta en parte con la incorporación de enmiendas orgánicas procedentes de las explotaciones ganaderas familiares y de autoconsumo asociadas a dichas huertas. En cuanto al contenido de carbono orgánico del horizonte superficial, se observa que los valores más bajos se encuentran en el perfil VI con $8,8 \text{ g kg}^{-1}$, mientras que los más altos se alcanzan en el perfil I y V con 27 y 26 g kg^{-1} , respectivamente. Asimismo, es de destacar que en la mayoría de los perfiles éste disminuye regularmente con la profundidad a excepción de los perfiles III y IX donde los horizontes C muestran valores más altos que en superficie, lo que es característico de las propiedades flúvicas.

La relación C/N es más baja de lo que cabría esperar del humus mull formado en la zona, a consecuencia de la mineralización acelerada de la materia orgánica así como del aporte de abonos minerales ricos en N. Son asimismo calizos, de reacción ligeramente básica en agua y presentan más o menos sales dependiendo del material litológico a partir del que se han formado, de la intensidad y tipo de agricultura a la que se dedican y del agua de riego utilizada. Salvo el perfil I y el VI, con valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación próximos a 20 dS m^{-1} en el primer caso y superiores a 40 en el segundo, el resto no tienen limitaciones graves para su dedicación agrícola aunque sería muy recomendable adoptar algún tipo de medida para evitar el incremento incontrolado de ésta.

Nos encontramos con suelos que tienen una dilatada tradición hortícola, por lo que a lo largo de los años se han ido incorporando al suelo restos de cultivos junto con estiércol y otras enmiendas orgánicas. Por tanto, estos restos vegetales y animales que llegan al suelo constituyen la fuente principal de la materia orgánica del mismo. Estos restos sufren una transformación, fundamentalmente de tipo biológico dando lugar al humus. En los suelos cultivados, como es el caso, predomina la mineralización de la materia orgánica sobre la humificación. En principio, es beneficioso para los cultivos, porque hay un aporte de elementos nutritivos, pero a la larga supone una pérdida progresiva de estos constituyentes y, por tanto, una merma de la fertilidad así como de una gran parte de las propiedades físicas y químicas asociadas a la materia orgánica.

Los niveles de N no están en concordancia con los de materia orgánica y son, por lo general, mayores de lo que podría esperarse, debido al aporte suplementario de fertilizantes nitrogenados para aumentar el rendimiento agrícola. Los suelos, por tanto, son ricos en N que, a veces, como consecuencia de la lixiviación de sus formas más solubles (NO_3^-) a horizontes más profundos, se observa un enriquecimiento en dicho constituyente en tales horizontes no acorde con los bajos niveles de materia orgánica existentes en ellos. Este fenómeno se ha observado en casi todos los perfiles estudiados y puede llegar a ser preocupante cuando los acuíferos subterráneos se encuentren próximos a la superficie, como es el caso que nos ocupa.

La relación C/N más alta es la del perfil VII con valores medios de 8.5 en los horizontes A, mientras que en el resto de perfiles se sitúa en torno a 5.5 y tiende a disminuir en profundidad. Este valor anormalmente alto con respecto a los otros perfiles, puede atribuirse al abandono de cultivo en que se encuentra desde hace bastantes años y, por tanto, a la ausencia de cualquier adición de fertilizantes al mismo y a la incorporación de la biomasa natural a base sobre todo de nitrófilas anuales. Asimismo, el descenso de la relación C/N en profundidad, debe estar relacionado con la lixiviación de N desde los horizontes superficiales hacia otros más profundos, aspecto preocupante, como ya se ha mencionado, ya que puede originar la contaminación de los acuíferos, sobre todo en áreas de especial relevancia.

A este respecto, en la Generalitat Valenciana se dispone de una normativa específica sobre contaminación del agua por nitratos procedentes de fuentes agrarias, Decreto 218/2009 (DOCV de 10 de diciembre 2009) basado en Directiva 91/676/CEE, de un Código de Buenas Prácticas Agrarias (Orden de 20 de marzo de 2000) y de un Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables, con el fin de evitar la contaminación de sus aguas. Según la Consejería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda dentro de la Demarcación del Segura (Vega Baja) tendríamos dos zonas vulnerables a la contaminación por nitratos: Orihuela y Crevillente, y como zonas sensibles a la contaminación encontraríamos el Hondo de Elche-Crevillente y las Lagunas de Torreveja y la Mata (resolución 25 de mayo de 1995). Por lo tanto, nos encontramos en las proximidades de zonas vulnerables y sensibles, por lo que los agricultores deberán de poner en práctica las recomendaciones establecidas en el

Código de Buenas Prácticas Agrarias para evitar la contaminación de sus acuíferos por nitratos y evitar que los niveles de estos compuestos sobrepasen los 50 mg/l.

Son suelos muy calizos en los que el contenido medio de carbonato cálcico es muy homogéneo en todos los perfiles muestreados, observándose un gradiente de carbonatos siempre positivo a medida que descendemos en el perfil, de tal manera que los horizontes A tienen los valores más bajos y los C los más altos, pero dicho gradiente no llega a tener valor diagnóstico.

El pH en agua es, por lo general, básico, con valores próximos a 8 o superiores en la mayor parte de los horizontes del suelo. Cuando la medida se hace en la suspensión de KCl 1N, el valor desciende entre 0.4 y 1.1 unidades con respecto al obtenido en la de agua, llegando este descenso, en los casos más favorables, a la neutralidad, lo que indica un alto grado de saturación en bases.

La capacidad de cambio del horizonte superficial, íntimamente relacionada con la materia orgánica y los coloides del suelo, tiene valores muy diferentes según el perfil y oscila entre niveles algo superiores a $22 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ en el perfil V y $2.5 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ en el perfil VI. En los horizontes de profundidad está comprendida entre esos valores y depende sobre todo del contenido en arcilla, ya que la materia orgánica en éstos es escasa.

Como ya se ha comentado, es muy frecuente encontrar en la mayoría de los perfiles rasgos edáficos relacionados con la segregación de yeso, dichos rasgos vienen a confirmarse en los resultados analíticos de una gran parte de los perfiles. En efecto, en los perfiles I, VI, VII, VIII y IX se han encontrado porcentajes de yeso que llegan al 10 % en el caso del Az del P VI, mientras que en el resto de horizontes oscilan entre el 1 y el 5 %. Asimismo hay que resaltar que no se evidencia ningún gradiente definido, de forma que en ocasiones aumenta con la profundidad, sobre todo en los horizontes más profundos, mientras que en otras no se aprecia tendencia clara.

El agua útil, calculada por diferencia entre los pFs a 1/3 y 15 atmósferas, alcanza valores comprendidos entre 10 y 12 y es muy homogénea en todos ellos como consecuencia de la gran semejanza existente en las clases texturales de todos los Fluvisoles. En cuanto a los Solonchack, el perfil I tiene valores muy semejante a los Fluvisoles, mientras que los horizontes superficiales del VI son muy superiores.

Por último, y como propiedad más importante, se trata de suelos con diferente grado de salinidad como corroboran los datos de la CE (Tablas 4.4), parámetro decisivo a la hora del uso y utilización agrícola de estos suelos, así como en la clasificación de los mismos. Puede decirse, por tanto, que la salinización es el proceso de edafogénesis más importante que ha tenido y tiene lugar en estos suelos.

Tabla 4.3. Analíticos generales

Perfil	MO	C	N	C/N	CO ₃ Ca	PH H2O	PH KCl	T	CE	Yeso	1/3 atm	15 atm	Agua útil	Suelo	
I	Apz1	27,0	15,7	3,0	5,2	390	7,8	7,5	20,7	25,30	2,8	25,7	13,8	11,9	SOLONCHACK
	Apz2	21,7	12,6	1,7	7,4	418	8,1	7,7	24,9	15,48	1,5	25,7	13,8	11,8	
	Cgyz1	14,4	8,4	1,4	6,1	364	8,2	7,7	20,7	15,70	1,6	22,5	11,5	12,9	
	Cgyz2	11,0	6,4	0,9	7,1	532	8,2	7,7	14,0	16,01	2,3	24,4	12,7	11,7	
	Cgyz3	6,0	3,2	0,7	4,6	426	8,2	7,6	19,7	11,8	2,1	27,8	16,0	11,9	
II	Ap1	19,0	11,4	1,9	6,1	421	7,9	7,5	16,1	6,79	-	25,1	13,5	11,7	FLUVISOL
	Ap2	12,2	7,1	1,1	6,3	460	8,1	7,6	16,1	5,03	-	24,8	16,4	8,4	
	C1	3,1	1,8	0,6	3,0	530	8,2	7,7	8,8	4,67	-	17,9	9,5	8,4	
	C2	2,4	1,4	1,3	1,0	511	8,3	7,9	5,2	7,10	-	12,6	4,9	7,6	
	C3g	0,7	0,4	0,3	1,5	520	8,3	7,9	3,6	4,50	-	11,6	4,5	7,1	
III	Ap1	23,2	13,5	2,2	6,3	457	8,2	7,5	17,0	1,06	-	26,8	13,5	13,3	FLUVISOL
	Ap2	13,4	7,8	1,6	4,8	466	8,2	7,6	17,6	3,28	-	24,3	11,3	13,0	
	2C1	8,0	5,0	0,6	8,4	548	8,3	7,6	7,3	2,93	-	15,9	4,0	11,9	
	3C2	11,0	6,4	1,0	6,1	520	8,3	7,4	17,6	2,07	-	28,3	17,6	10,6	
	C3	8,0	4,5	0,9	4,9	485	8,1	7,4	21,2	3,89	-	30,0	18,4	11,5	
IV	Ap1	23,9	13,9	2,1	6,6	467	8,4	7,6	13,0	1,33	-	26,1	14,0	12,1	FLUVISOL
	Ap2	10,1	5,9	1,1	5,4	493	8,0	7,5	12,4	4,72	-	26,9	15,1	11,8	
	C1	7,9	4,6	0,9	5,2	528	8,0	7,5	15,5	3,95	-	27,2	14,5	12,6	
	C2	7,7	4,5	0,8	5,4	535	8,0	7,5	12,4	4,20	-	27,5	14,7	12,8	
	C3	7,6	4,4	0,7	6,6	482	8,1	7,5	9,3	4,00	-	26,7	15,0	11,7	

CO, MO, N, CaCO₃ y Yeso en g kg⁻¹; T en cmol(+) kg⁻¹; pFs en %

Tabla 4.3. Analíticos generales

Perfil	MO	C	N	C/N	CO ₃ Ca	PH H2O	PH KCl	T	CE	Yeso	pF 1/3 atm	pF 15 atm	Agua útil	Suelo	
V	Ap1	26,0	15,1	2,7	5,5	437	8,2	7,5	22,3	2,16	-	30,4	19,5	10,9	FLUVISOL
	Ap2	20,6	12,0	1,8	6,6	433	8,2	7,5	23,8	2,63	-	33,5	22,0	11,5	
	C1	12,4	7,2	1,0	7,0	436	8,2	7,5	20,2	1,97	-	31,2	19,1	12,1	
	C2	7,2	4,2	0,8	5,3	451	8,3	7,3	17,6	2,08	-	30,3	20,3	10,0	
VI	Ayz	8,8	5,1	1,0	5,2	439	8,1	7,9	2,5	52,30	9,7	33,4	11,3	22,1	SOLONCHAKS
	Cgyz1	4,1	2,4	0,6	3,8	491	8,3	7,5	6,3	40,20	1,5	30,1	8,4	21,7	
	Cgyz2	3,6	2,7	0,4	7,5	489	8,3	7,6	3,8	40,10	1,3	14,6	3,6	11,0	
	Cgyz3	3,3	1,9	0,2	7,8	451	8,3	7,6	6,3	44,30	2,4	26,8	9,5	17,3	
	Cgyz4	1,8	1,1	0,2	6,7	393	8,4	7,6	3,4	31,80	3,6	10,0	4,2	5,8	
VII	Ap1	16,5	9,6	1,1	8,6	483	8,3	7,9	10,8	0,53	0,2	21,3	9,3	12,0	FLUVISOL
	Ap2	12,3	7,2	0,9	8,4	481	8,2	7,8	9,3	3,02	0,6	20,1	9,1	11,0	
	Cy1	7,3	4,2	0,5	7,9	493	7,9	7,5	10,4	4,91	1,5	13,9	5,6	8,3	
	Cy2	6,3	3,6	0,4	9,1	501	7,8	7,5	5,1	5,39	1,3	17,5	6,7	10,8	
VIII	Ap1	11,5	6,7	1,4	5,2	443	8,2	7,6	7,4	4,47	2,2	27,5	13,6	13,8	FLUVISOL
	Ap2	5,1	3,0	0,7	4,6	478	8,4	7,4	12,2	3,41	10	25,7	14,1	11,6	
	Cy1	1,7	1,0	0,2	4,3	451	8,5	7,8	7,0	4,41	1,2	7,5	3,1	4,4	
	Cy2	1,7	1,0	0,3	3,3	476	8,7	7,9	3,5	7,21	3,4	25,0	11,4	13,7	
IX	Ap1	12,4	7,2	2,0	3,6	431	8,2	7,4	20,3	2,21	1,6	31,5	25,0	6,4	FLUVISOL
	Ap2	8,4	4,9	1,7	3,9	465	8,3	7,5	20,5	2,14	2,6	31,8	20,5	11,2	
	Cy1	4,5	2,6	1,3	2,0	419	8,4	7,4	22,9	3,64	3,4	38,3	23,1	15,2	
	2Cy2	25,8	15,0	2,5	6,0	445	8,4	7,3	25,9	4,9	4,6	42,7	33,2	9,5	
	Cgy3	5,2	3,0	0,8	3,9	456	8,3	7,2	21,5	3,22	4,4	42,2	26,6	15,6	

CO, MO, N, CaCO₃ y Yeso en g kg⁻¹; T en cmol₍₊₎ kg⁻¹; pFs en %

La salinización es el proceso de enriquecimiento del suelo en sales más solubles que el yeso, por lo general cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio, que provoca, entre otros efectos, un incremento de la presión osmótica en la fase líquida del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación y uso del mismo. Es un proceso que tiene lugar principalmente en zonas semiáridas y áridas con mal drenaje (Porta, 2003).

El origen de las sales en estos suelos puede ser muy diverso, desde antrópico hasta litológico. Dentro de los factores naturales que pueden originar la salinización está el material original y la topografía, el clima y la presencia de una capa freática salobre. La zona de estudio formó parte del llamado *Senus illicitano*, que era un gran estuario donde desembocaban los ríos Segura y Vinalopó, y que después se convertiría en una zona pantanosa de aguas salinas, posible origen inicial de la salinidad. Hay que destacar que se trata de una área deprimida, lo que posibilita la llegada de sales disueltas en las aguas de escorrentía y de lavado lateral desde relieves circundantes. También en las proximidades existen varios saladares como los de Albatera y de San Felipe de Neri, de donde también podrían venir parte de esas sales (Ortiz y Caselles, 1982 y Alcaraz, et al., 1987).

La acumulación de sales en esta zona se ve favorecida por la topografía, al ocupar depresiones mal drenadas donde se acumulan las aguas de escorrentía superficial y profunda y donde su carácter a veces endorreico impide la evacuación hacia zonas más bajas.

El clima también es un factor muy a tener en cuenta en el proceso de salinización de esta comarca, debido a las escasas e irregulares precipitaciones. Como ya se ha comentado anteriormente en el apartado del clima, la precipitación media en esta zona es de 290 mm, mientras que la evapotranspiración potencial es de 905 mm, lo que origina un déficit hídrico del suelo a lo largo de la mayor parte del año y, por tanto, una acumulación de sales a lo largo del perfil.

En la zona estudiada, se observa a menudo la presencia de una capa freática que, en ocasiones, está a menos de 1 metro de profundidad. Cuando las aguas freáticas salinizadas se encuentran próximas a la superficie del suelo, éste puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar de sales procedentes de dicha capa y la acumulación en los horizontes más superficiales (Smedena, 1990). Según Mainanu (1964), son muchos los factores que afectan este ascenso capilar de las aguas freáticas cargadas de sales, que

pueden ir provocando la salinización del terreno, como la permeabilidad del suelo, las precipitaciones, el drenaje natural, etc.

Como factores antrópicos que favorecen la salinización de estos suelos, se encuentra fundamentalmente la mala calidad de las aguas de riego que se emplean en la zona y el uso abusivo de fertilizantes, plaguicidas y pesticidas.

Debido a las características climáticas de la zona, temperaturas elevadas, precipitaciones escasas y evaporación alta, es necesario el uso de aguas de riego para asegurar la pervivencia de los cultivos. En principio es un factor natural, pero pasa a ser antrópico ya que la calidad de las aguas de riego frecuentemente no es la adecuada y poseen un alto grado de salinidad, lo que provoca un aumento de la concentración de sales en el suelo, que es más grave si el agua de riego es escasa, como ocurre en la zona. Atendiendo a la calidad del agua pueden diferenciarse dos subzonas dentro del área de estudio: la más cercana al río, que posee aguas de una calidad aceptable, mientras que conforme nos alejamos hacia el norte y nos aproximamos a la Laguna del Hondo, la calidad del agua va empeorando. Martínez Sánchez (2006), en el estudio “Calidad del agua de riego en la zona norte de la Vega Baja del Segura” pone de manifiesto los elevados valores de conductividad eléctrica (CE media: $5,70 \text{ dS m}^{-1}$) y el pH básico de las aguas con las que se riegan estos suelos y concluye que el agua de riego utilizada es de mala calidad debido a la salinidad, llegando a ser excesivamente mala en algunas zonas por el exceso de sodio y cloruros.

El desarrollo de una agricultura intensiva en la zona ha provocado que se empleen gran cantidad de fertilizantes en los cultivos. La aplicación de estos productos puede traer muchas implicaciones ambientales que no sólo van a afectar al medio edáfico, sino que pueden ser vectores de contaminación de otros ecosistemas terrestres y acuáticos. Generalmente los fertilizantes son muy solubles y así, por escorrentía o lixiviación, pueden llegar a producir la eutrofización de las aguas tanto superficiales como subterráneas, disminuyendo su calidad y, por tanto, provocando la contaminación de las mismas. Asimismo, su naturaleza química, a base de sales inorgánicas con elevada solubilidad, agudiza aún más los problemas de salinización de los suelos.

En cuanto a los valores de la salinidad y de los parámetros relacionados con la misma, se ha encontrado que los perfiles I y VI tienen los valores de CE más elevados, llegando a más de 50 dS m^{-1} en superficie. Se ha observado que la CE va disminuyendo

ligeramente con la profundidad pero manteniéndose en niveles semejantes. Sin embargo, en los restantes perfiles la salinidad es muy inferior en todos los horizontes y, por lo general, aumenta con la profundidad, alcanzando niveles relativamente elevados, entre 2 y 6 dS m⁻¹, lo que es debido al lavado de sales desde los horizontes más superficiales.

Los aniones mayoritarios en el extracto de saturación, como era de esperar en esta zona, son los cloruros y sulfatos mientras que los bicarbonatos aparecen en concentraciones muy inferiores. En cuanto a los cationes, sodio, calcio y magnesio son los más abundantes y el potasio está escasamente presente. En los rangos de calibración utilizados no se han encontrado otros iones.

Tabla 4.4. Parámetros relacionados con la salinidad

Perfil	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ H ⁻	Aniones	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cationes	RAS	PSS	PSC	Suelo	
I	Apz1	253,9	106,1	6,1	366,1	156,2	2,5	43,1	79,3	281,1	20,0	55,6	22,0	SOLONCHAK
	Apz2	82,9	74,8	2,4	160,1	87,0	1,6	27,5	35,1	151,2	15,6	57,5	17,8	
	Cgyz1	131,5	117,5	1,7	250,8	129,2	2,1	33,1	49,9	214,3	20,0	60,3	22,1	
	Cgyz2	116,7	104,5	1,4	222,6	105,7	1,8	30,8	38,4	176,8	18,0	59,8	20,1	
	Cgyz3	73,3	89,3	1,9	164,5	92,2	1,5	30,7	32,0	156,5	16,5	58,9	18,7	
II	Ap1	37,3	36,0	1,9	75,1	30,7	1,6	27,9	24,2	84,4	6,0	36,3	7,1	FLUVISOL
	Ap2	22,0	39,1	1,9	63,0	14,4	0,7	17,8	10,2	43,1	3,8	33,3	4,2	
	C1	17,6	47,8	1,5	66,8	22,5	0,4	25,8	18,0	66,7	4,8	33,8	5,5	
	C2	16,0	27,1	2,3	45,5	16,6	0,3	15,3	11,5	43,7	4,5	38,1	5,2	
	C3g	22,0	34,3	1,8	58,0	30,9	0,5	17,8	18,1	67,3	7,3	45,9	8,7	
III	Ap1	1,5	4,0	4,8	10,2	4,0	0,4	4,1	1,9	10,3	2,3	38,7	2,1	FLUVISOL
	Ap2	16,2	22,7	2,4	41,3	23,4	0,4	21,6	16,7	62,1	5,3	37,7	6,2	
	2C1	35,3	37,9	1,9	75,1	13,5	0,2	9,9	7,0	30,6	4,7	44,2	5,3	
	3C2	9,5	15,8	2,7	28,0	14,1	0,2	8,4	9,1	31,8	4,8	44,4	5,5	
	C3	13,5	40,3	2,1	55,9	21,7	0,4	21,1	15,8	59,1	5,1	36,8	5,8	
IV	Ap1	3,0	7,1	4,9	15,1	6,8	0,4	3,6	3,0	13,8	3,8	49,6	4,1	FLUVISOL
	Ap2	16,4	60,5	2,6	79,5	15,9	0,6	29,7	12,9	59,1	3,4	26,9	3,7	
	C1	14,2	46,0	2,1	62,4	11,1	0,6	22,6	9,4	43,6	2,8	25,4	2,8	
	C2	12,1	53,0	2,2	67,3	13,0	0,5	23,1	13,1	49,7	3,1	26,2	3,2	
	C3	14,2	43,8	1,9	59,9	24,1	0,1	21,7	17,8	63,8	5,4	37,8	6,3	

Cationes, aniones y RAS en meq l⁻¹; PSC y PSS en %

Tabla 4.4. Parámetros relacionados con la salinidad

Perfiles	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ H ⁻	Aniones	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cationes	RAS	PSS	PSC	Suelo	
V	Ap1	8,0	4,6	0,8	13,4	8,5	0,8	6,7	4,3	20,3	3,6	42,1	4,0	FLUVISOL
	Ap2	12,7	6,5	1,0	20,2	12,4	0,4	8,4	6,1	27,3	4,6	45,4	5,2	
	C1	8,0	17,9	1,4	27,2	8,9	0,3	5,6	3,8	18,7	4,1	47,6	4,6	
	C2	9,4	21,4	2,0	32,8	8,6	0,7	6,9	4,9	21,1	3,5	40,7	3,8	
VI	Ayz	1884,4	333,7	4,1	2222,2	1654,3	19,1	275,1	54,7	2003,2	128,8	82,6	65,4	SOLONCHAK
	Cgyz1	853,0	185,6	3,8	1042,4	798,4	11,7	79,2	5,2	894,5	123,0	89,3	64,3	
	Cgyz2	895,8	191,9	3,8	1091,5	830,3	11,5	84,6	135,4	1061,8	79,2	78,2	53,6	
	Cgyz3	892,9	159,3	3,4	1055,6	819,2	10,3	57,0	58,4	944,9	107,9	86,7	61,2	
	Cgyz4	654,9	131,7	3,1	789,7	602,3	9,7	24,8	57,4	694,2	94,1	86,8	57,9	
VII	Ap1	CE menor de 2 dS m ⁻¹												
	Ap2	37,7	19,0	2,8	59,5	37,8	0,7	4,3	12,2	55,0	13,2	68,7	15,4	FLUVISOL
	Cy1	59,9	53,8	3,0	116,7	54,4	0,6	22,0	35,3	112,3	5,7	48,4	6,7	
	Cy2	65,9	52,6	3,1	121,6	59,6	0,7	31,3	30,0	121,6	10,8	49,0	12,8	
Ap1	23,3	27,0	1,9	52,2	24,9	0,5	25,1	16,1	66,6	5,5	37,4	6,4	FLUVISOL	
Ap2	9,7	33,9	1,1	44,7	17,4	0,3	21,4	14,4	53,4	4,1	32,6	4,6		
Cy1	22,4	31,6	1,0	55,0	27,7	0,3	21,7	15,2	64,8	6,4	42,7	7,6		
Cy2	45,0	49,9	2,2	97,1	64,1	0,9	30,9	34,3	130,1	11,2	49,3	13,3		
IX	Ap1	6,4	9,4	0,6	16,4	9,5	0,8	13,3	6,1	29,6	3,1	32,1	3,1	FLUVISOL
	Ap2	8,0	21,0	0,8	29,8	9,3	0,9	10,7	6,1	27,1	3,2	34,4	3,3	
	Cy1	15,6	27,4	0,7	43,6	18,9	0,2	15,7	10,7	45,4	5,2	41,6	6,0	
	2Cy2	18,8	31,6	0,8	51,2	23,3	0,3	16,8	11,3	51,6	6,2	45,1	7,3	
	Cgy3	10,5	22,4	0,8	33,7	15,6	0,2	10,4	13,9	40,1	4,5	39,0	5,1	

Cationes, aniones y RAS en meq l⁻¹; PSC y PSS en %

Los valores del RAS (Razón de Adsorción de Sodio) son relativamente bajos en Fluvisoles y se incrementan considerablemente en los Solonchack, alcanzando un valor de 128.8 en el horizonte Az del perfil VI. En base a ello, es de esperar que el proceso de alcalinización alcance valores significativos en estos últimos suelos, mientras que en Fluvisoles debe ser menos importante. En consonancia con el RAS, el PSC (Porcentaje de Sodio de Cambio) toma valores equivalentes y evoluciona en el mismo sentido que el primero. Por último, el PSS es muy alto en los perfiles I y VI, con valores próximos a 60 en el primero y superiores a 80 en el segundo, mientras que en los Fluvisoles se sitúa en torno a 50.

La gipsificación es un proceso que suele darse también en los suelos estudiados. En ellos, el ión sulfato es abundante debido a que en las proximidades, como anteriormente se ha comentado, hay varios relieves triásicos que suelen tener estratificaciones de yeso que favorecen dicho proceso. Da lugar a la formación de horizontes y propiedades relacionadas con la traslocación y precipitación de yeso que dependiendo de su intensidad pueden llegar a tener valor diagnóstico, bien para formar horizontes o simplemente manchas y/o deposiciones de menor importancia. Este proceso afecta especialmente a los perfiles I, VI, VII, VIII y IX.

La existencia en la zona de una capa freática cercana a la superficie, en ocasiones a menos de 1 m, promueve la existencia de procesos redox en estos suelos (gleyzación). Por tanto, en ocasiones, es posible poner de manifiesto la existencia de propiedades gléyicas, ya que estos suelos se encuentran saturados en agua al menos un período de tiempo suficiente para que se den condiciones reductoras. Como consecuencia de estos procesos, en los suelos aparecen moteados de colores rojizos o anaranjados (Fe^{+3}), debido a la oxidación de este catión, y de colores verdosos o grisáceos (Fe^{+2}), debido a la reducción del mismo. En el perfil I se han descrito estas propiedades gléyicas en los horizontes C, al aparecer manchas pardo rojizas, mientras que en los perfiles II, VI y IX aparecen manchas herrumbrosas en los horizontes C2 y C3 dentro de una matriz verde-grisácea atribuida al Fe^{+2} .

En cuanto a la textura (Tablas 4.5), la arcilla y el limo son las fracciones granulométricas predominantes en los perfiles I, IV, V y IX, mientras que en el resto de perfiles las texturas son más equilibradas y la fracción arena presenta un mayor porcentaje en la textura que en los perfiles anteriores.

El análisis de los datos obtenidos en el análisis granulométrico indica que las diferencias granulométricas existentes a lo largo de los horizontes de un mismo perfil tienen relación con el origen fluvéntico de los suelos y, por lo tanto, los procesos asociados dicho origen son los que gobiernan la edafogénesis de los mismos. La meteorización del material litológico, bien en su posición original antes de ser erosionado y transportado, o bien en la actual, es el proceso de partida para la formación y evolución del un suelo. Ésta tendría lugar inicialmente en los relieves de la cuenca hidrográfica del Segura que es de donde proceden los materiales que han formado estos suelos y posteriormente habrá continuado en el lugar donde se han depositado, aunque en menor escala, habida cuenta del escaso tiempo que permanecen los aluviones expuestos a los agentes meteorológicos, como consecuencia del continuo rejuvenecimiento del suelo a causa de los aportes más o menos periódicos de sedimentos.

Los suelos de esta zona se han originado a partir de los materiales aportados por los ríos Segura y Vinalopó, pero también a partir de materiales coluviales procedentes de los relieves circundantes más próximos. Este carácter fluvéntico hace que se presenten estratificaciones y/o discontinuidades litológicas como aparecen en el perfil III, donde pueden observarse diferencias significativas en las clases texturales de los distintos horizontes que sólo pueden ser explicadas por estos episodios de deposición, irregulares a lo largo del tiempo, que dan lugar a dichas discontinuidades litológicas (Gráfico 4.1).

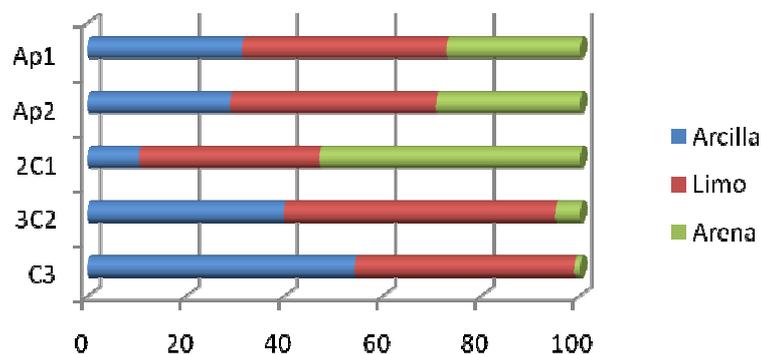


Gráfico 4.1. Granulometría perfil III

Tabla 4.5. Granulometría

Perfil	<2	20-2	20-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Suelos	
I	Apz1	45,9	37,9	11,8	0,8	1,2	1,7	0,6	45,9	49,7	4,4	Arcillo-limosa	SOLONCHAK	
	Apz2	50,4	39,8	7,2	0,6	0,9	0,7	0,4	50,4	47	2,7	Arcillo-limosa		
	Cgyz1	56,9	38,7	2,8	0,7	0,5	0,2	0,2	56,9	41,5	1,7	Arcillosa		
	Cgyz2	49,9	35,7	5,2	4,8	2,4	1,5	0,4	49,9	40,9	9,2	Arcillo-limosa		
	Cgyz3	52,2	41,2	3,0	1,3	1,4	0,8	0,1	52,2	44,2	3,6	Arcillo-limosa		
II	Ap1	32,7	33,1	13,4	0,1	0,5	1,3	8,2	10,7	32,7	46,5	20,8	Franco arcillosa	FLUVISOLES
	Ap2	31,4	16,4	27,0	11,7	11,7	1,4	0,3	31,4	43,4	25,3	Franco arcillosa		
	C1	15,9	15,5	15,2	16,8	30,9	5,4	0,1	0,2	15,9	30,7	53,4	Franco arenosa	
	C2	7,0	7,6	20,6	27,6	35,3	1,8	0,0	0,1	7,0	28,2	64,8	Franco arenosa	
	C3g	7,7	7,6	20,7	33,9	28,9	0,6	0,2	0,3	7,7	28,3	63,9	Franco arenosa	
III	Ap1	31,4	28,3	13,2	14,3	10,1	1,8	0,5	0,4	31,4	41,5	27,1	Franco arcillosa	FLUVISOL
	Ap2	29,0	26,5	15,3	16,3	11,4	1,1	0,3	0,1	29,0	41,8	29,2	Franco arcillosa	
	2C1	10,4	10,2	26,4	35,5	16,9	0,3	0,1	0,1	10,4	36,6	52,9	Franco arenosa	
	3C2	39,9	43,1	12,1	3,4	1,4	0,1	0,1	0,0	39,9	55,2	5,0	Franco arcillo-limosa	
	C3	54,2	41,7	3,0	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	54,2	44,7	1,1	Arcillo-limosa	
IV	Ap1	28,9	30,6	22,1	10,1	5,2	1,3	0,5	0,3	28,9	52,7	17,39	Franco arcillo-limosa	FLUVISOL
	Ap2	30,0	36,2	19,5	9,7	3,7	0,5	0,2	0,1	30,0	55,7	14,2	Franco arcillo-limosa	
	C1	29,5	38,4	16,7	8,1	6,5	0,4	0,2	0,0	29,5	55,1	15,2	Franco arcillo-limosa	
	C2	31,0	43,3	16,9	5,5	3,0	0,2	0,0	0,0	31,0	60,2	8,7	Franco arcillo-limosa	
	C3	28,5	29,9	17,8	16,7	6,6	0,3	0,1	0,1	28,5	47,7	23,8	Franco arcillosa	

Fraciones arena, limo y arcilla en %

Tabla 4.5. Granulometría

	Perfil	<2	20-2	20-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Suelo
V	Ap1	49,5	37,9	11,8	1,3	0,8	0,5	0,2	0,1	49,5	47,6	2,9	Arcillo-limosa	FLUVISOL
	Ap2	53,9	39,8	7,2	0,8	0,3	0,3	0,1	0,1	53,9	44,6	1,6	Arcillo-limosa	
	C1	57,8	38,7	2,8	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	57,8	41,3	0,8	Arcillo-limosa	
	C2	54,8	35,7	5,2	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0	54,8	44,2	1,0	Arcillo-limosa	
VI	Ayz	14,0	33,1	13,4	14,6	15,9	7,4	2,8	1,2	14,0	44,0	41,9	Franca	SOLONCHAK
	Cgyz1	16,6	16,4	27,0	20,9	8,5	2,1	0,8	0,4	16,6	50,7	32,7	Franca	
	Cgyz2z	5,0	15,5	15,2	43,4	27,5	1,6	0,5	0,2	5,0	21,8	73,2	Franco-arenosa	
	Cgyz3	6,2	7,6	20,6	11,9	13,6	6,9	2,0	0,6	6,2	58,8	35,0	Franco-limosa	
	Cgyz4	9,9	7,6	20,7	8,0	36,4	27,4	9,1	1,5	9,9	7,7	82,4	Franco-arenosa	
VII	Ap1	19,6	28,3	13,2	13,8	20,6	5,9	1,2	0,7	19,6	38,2	63,4	Franca	FLUVISOL
	Ap2	18,7	26,5	15,3	14,3	23,3	6,4	1,0	0,6	18,7	35,7	45,6	Franca	
	C1	12,6	10,2	26,4	16,2	36,7	9,7	0,8	0,6	12,6	23,4	64,0	Franco-arenosa	
	C2	15,7	43,1	12,1	13,6	24,0	12,5	2,3	0,7	15,7	31,2	53,1	Franco-arenosa	
VIII	Ap1	30,7	30,6	22,1	8,3	6,1	0,5	0,5	0,3	30,7	53,6	15,7	Franco arcillo limosa	FLUVISOL
	Ap2	31,4	36,2	19,5	8,8	4,8	0,2	0,2	0,1	31,4	54,4	14,1	Franco arcillo limosa	
	Cy1	8,2	38,4	16,7	19,9	51,6	1,9	0,2	0,1	8,2	18,1	73,7	Franco arenoso	
	Cy2	15,2	43,3	16,9	15,8	3,6	0,1	0,1	0,0	15,2	65,4	19,6	Franco limoso	
IX	Ap1	41,1	32,7	11,8	5,4	1,6	0,5	0,4	0,3	41,1	50,7	8,2	Arcillo-limosa	FLUVISOL
	Ap2	44,9	33,2	7,2	4,4	1,3	0,4	0,4	0,1	44,9	48,4	6,6	Arcillo-limosa	
	Cy1	52,5	40,4	2,8	0,8	0,4	0,1	1,8	0,1	52,5	44,8	3,2	Arcillo-limosa	
	2Cy2	52,0	43,3	5,2	3,2	1,9	0,4	2,2	0,0	52,0	40,5	7,7	Arcillo-limosa	
	Cgy3	50,3	43,5	3,2	0,7	0,5	0,1	1,9	0,0	50,3	46,5	3,2	Arcillo-limosa	

Por último, y con respecto al contenido en macro y micronutrientes (Tabla 4.6), la interpretación que puede hacerse de estos datos es muy relativa si no se tiene en cuenta el uso concreto que se va hacer del suelo, es decir, la concentración de un elemento en un suelo puede ser alta o baja según el tipo de cultivo a que se dedique y del sistema de explotación del mismo (secano o regadío, cultivos más o menos intensivos e incluso invernaderos).

El K, elemento fundamental junto al fósforo y nitrógeno en la dosis de abonado y en la formulación a emplear, se encuentra en cantidades moderadas o altas en los suelos estudiados. Se observa, que los valores más elevados de K se dan en los perfiles I, II, V y IX, bien por estar puntualmente de barbecho y, muy posiblemente, recién abonados de fondo para iniciar la plantación de nuevos cultivos de hortalizas, o bien, como es el caso del perfil II, por llevar varios años sin ser dedicado a ningún tipo de cultivo y, por tanto, sin sufrir extracciones por parte de los mismos. La concentración de este elemento en los horizontes C está por debajo de los niveles existentes en los horizontes A y Ap, que son, en definitiva, los determinantes en el desarrollo de los cultivos y de la mayor parte de la vegetación natural. Estas altas concentraciones pueden tener su origen en que el K procede de la alteración de componentes tales como micas e illitas, predominantes como se verá en el apartado correspondiente en la fracción arcilla. Asimismo, la dedicación de estos suelos a hortalizas, algunas de las cuales muy ávidas en este macronutriente (apio, brócoli, patatas, alcachofa, etc.), obliga a los agricultores a emplear grandes cantidades de fertilizantes potásicos (300-750 u.f de K ha⁻¹, Fuentes, 1999), como el cloruro potásico, sulfato potásico, nitrato potásico, que contribuye al mantenimiento de estos elevados altos niveles. Generalmente estos fertilizantes se utilizan mucho en estos cultivos, ya que las deficiencias en potasio causan un retraso en el crecimiento de la planta y un descenso en la calidad y cantidad de la cosechas, siendo las partes más afectadas aquellas que acumulan sustancias de reserva como es el caso de frutos, semillas, tubérculos

Al igual que el K, el P está en niveles altos en los horizontes Ap debido al empleo de grandes cantidades de fertilizantes fosforados que son utilizados para determinados cultivos en régimen de regadío. En estos horizontes se superan los 10 mg kg⁻¹ de P, valor considerado por algunos autores (Fuentes, 1999; Cobertera, 1993; Domínguez, 1989)

como elevado. Sin embargo cabe destacar el perfil II donde estos valores de P no se llegan a alcanzar ni en superficie, ya que se trata de un suelo no cultivado desde hace años y, por tanto, el P se ha inmovilizado como Ca_3PO_4 .

La naturaleza calizo-dolomítica del sustrato geológico del entorno así como de la mayor parte de los de la Cuenca del Segura justifica los altos niveles de Mg presentes en el suelo, aunque a pesar de ello, el antagonismo de este elemento con otros cationes, y sobre todo con el Ca, puede originar un bloqueo más o menos intenso en su asimilación por los cultivos que, a veces, cuando se dedican a forrajes provocan deficiencias nutricionales en los animales que los consumen (tetania). Asimismo, la dinámica de este macronutriente, al igual que el resto, también se ve fuertemente afectada por los aportes antrópicos en forma de fertilizantes.

Con respecto al Na, hay que indicar que los valores obtenidos a partir de la extracción con acetato amónico 1N a $\text{pH}=7$, que son los que nos ocupa, pueden considerarse como índice de toxicidad en el suelo. En este sentido, y al hilo de lo que ya se ha comentado al hablar del proceso de salinización, los niveles de Na pueden considerarse muy altos en los perfiles I y sobre todo en el VI, mientras que en el resto, aún sin ser tan altos como en éstos, alcanzan valores que deben ser considerados en el manejo de dichos suelos para evitar futuros y previsibles problemas de alcalinización.

El Fe es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre tras el oxígeno, silicio y aluminio, pero el contenido en el suelo es muy variable. Los hematites (Fe_2O_3) son los principales minerales portadores de hierro, aunque como tal no es disponible para las plantas. La fracción de Fe asimilable está en función de la reacción del suelo; en los nuestros, la integran iones Fe^{3+} y Fe^{2+} y algunos complejos formados con la materia orgánica, esta fracción presenta valores moderados ($1\text{-}5 \text{ mg kg}^{-1}$) en la mayoría de suelos estudiados y se mantiene muy estable en profundidad.

Muy relacionado con el hierro está el Mn, que se encuentra como mineral en rocas ferromagnesianas y formando parte de óxidos de hierro y manganeso. Su solubilidad está fuertemente influenciada por el pH, de tal manera que en el intervalo entre 9 y 4 por cada unidad que se desciende aumenta la solubilidad por un factor de 100 (Domínguez Vivancos, 1989). Se puede decir que la cantidad de manganeso en esos suelos es deficiente, ya que la mayoría de las clasificaciones establecen el límite mínimo de Mn entorno a los 20-25 ppm y en este caso los valores de Mn son bastante inferiores.

Tabla 4.6. Elementos asimilables

Perfiles	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P	
I	Apz1	3,80	0,71	2,40	14,8	8,5	9,8	7,3	60,5
	Apz2	2,90	0,67	1,86	10,3	10,0	2,5	4,2	9,0
	Cgyz1	3,34	0,57	1,79	3,8	3,4	1,1	0,8	3,4
	Cgyz2	2,71	0,38	1,34	2,2	4,1	1,2	0,3	2,5
	Cgyz3	2,85	0,42	1,40	2,6	4,0	1,7	3,6	2,8
II	Ap1	0,28	0,54	1,03	3,9	9,9	1,3	2,0	35,8
	Ap2	0,13	0,26	0,91	2,7	4,5	1,2	0,7	6,2
	C1	0,29	0,06	0,50	2,0	5,4	0,6	4,1	3,7
	C2	0,20	0,04	0,36	3,3	3,8	0,6	0,5	3,3
	C3g	0,00	0,03	0,35	2,2	2,0	0,5	0,4	3,8
III	Ap1	0,27	0,33	0,78	1,5	4,8	1,1	1,4	8,8
	Ap2	0,56	0,14	0,84	2,4	6,6	0,9	0,9	0,8
	2C1	0,26	0,05	0,36	2,9	3,4	0,7	0,3	4,0
	3C2	0,45	0,15	1,00	5,1	5,0	1,9	0,4	4,2
	C3	0,63	0,19	1,15	1,5	4,2	2,2	0,4	3,0
IV	Ap1	0,39	0,31	0,79	3,1	8,0	1,2	2,0	13,5
	Ap2	0,41	0,21	0,59	3,6	5,9	1,3	1,0	2,6
	C1	0,36	0,23	0,63	2,4	4,6	1,2	0,7	3,5
	C2	0,41	0,13	0,78	1,6	3,9	1,1	3,0	3,5
	C3	0,45	0,12	0,79	4,4	5,1	1,4	0,5	3,0
V	Ap1	0,43	0,54	1,06	4,0	8,6	1,7	3,1	19,1
	Ap2	0,48	0,44	1,18	4,7	11,0	1,6	1,1	9,0
	C1	0,48	0,23	1,10	2,7	4,9	1,3	0,7	3,9
	C2	0,48	0,23	1,05	2,3	3,7	2,5	0,5	3,2
VI	Ayz	16,91	0,36	2,93	2,9	2,2	1,2	2,1	19,6
	Cgyz1	10,24	0,39	1,78	2,7	1,7	1,4	3,1	8,1
	Cgyz2	7,89	0,59	1,41	3,5	1,8	1,3	2,3	2,2
	Cgyz3	9,95	0,35	1,64	2,8	2,4	1,2	0,8	1,7
	Cgyz4	5,27	0,18	1,01	2,6	3,8	0,5	0,5	4,2
VII	Ap1	0,48	0,37	0,53	1,2	12,3	1,1	1,2	19,3
	Ap2	1,15	0,25	0,59	1,2	15,7	1,0	3,9	4,5
	Cy1	1,11	0,10	0,49	1,3	13,5	0,8	1,6	0,6
	Cy2	1,15	0,09	0,66	1,2	4,2	0,9	1,0	1,1
VIII	Ap1	1,25	0,15	0,95	1,7	5,8	1,0	1,0	16,6
	Ap2	0,75	0,09	1,20	1,2	2,0	0,4	0,8	8,4
	Cy1	1,25	0,08	1,05	3,2	2,6	0,4	0,5	10,9
	Cy2	1,01	0,03	0,60	2,6	1,7	1,0	0,5	7,6
IX	Ap1	1,76	0,40	1,13	1,8	6,2	1,4	1,5	23,3
	Ap2	0,76	0,23	1,10	1,9	7,5	1,3	4,0	12,9
	Cy1	0,95	0,16	1,35	2,1	4,7	1,6	1,1	7,2
	2Cy2	1,24	0,16	1,68	2,5	2,3	1,8	1,9	8,7
	Cgy3	1,06	0,19	1,36	2,7	3,6	2,2	1,8	12,9

Na, K, Mg en g kg⁻¹; Fe, Mn, Cu, Zn, P en mg kg⁻¹

Los valores de Cu por debajo de 0,5 mg kg⁻¹ pueden provocar deficiencias importantes en los cultivos y a partir de 2 mg kg⁻¹ pueden existir problemas de fitotoxicidad. En la gran mayoría de los suelos estudiados los niveles de Cu se sitúan entre

1 y 2 mg kg⁻¹, por lo que puede considerarse que la concentración de este micronutriente es la adecuada para el desarrollo de los cultivos. Caso excepcional es el encontrado en los horizontes A del perfil I, donde se alcanzan valores próximos a 10 y que pueden considerarse tóxicos para la mayoría de los cultivos. El origen del mismo, puede estar en el empleo reciente de purines de cerdo, técnica esta muy empleada en la zona y, que como es ampliamente conocido, puede entrañar riesgos cuando dichos purines no son de la calidad adecuada.

Finalmente, el Zn, altamente insoluble a pH básicos, se encuentra en concentración suficiente para cubrir las necesidades nutritivas de las plantas, ya que los valores que se alcanzan en estos suelos superan los 0,3 mg kg⁻¹ establecidos en las diferentes clasificaciones consultadas, por lo cual, podemos deducir que no hay problemas de deficiencias en Zn. En los horizontes A del perfil I ocurre algo parecido a lo comentado para el Cu, cuya explicación debe ser atribuida a la misma causa.

4.1.3. Mineralogía de arcillas.

Los minerales de la arcilla soportan en los suelos un ciclo de formación, persistencia y degradación que forma parte del ciclo sedimentario denominado "ciclo exógeno" de la materia (Besoain, 1985), el cual transcurre en la superficie del terreno y está condicionado, principalmente, a la acción de los agentes atmosféricos y a las condiciones edafológicas del lugar. En este sentido, la gran mayoría de autores consideran la arcilla como un constituyente del suelo que, en unos casos, es heredado del material original sin sufrir grandes cambios, mientras que en otros, por el contrario, se ve afectado por transformaciones importantes e incluso puede llegar a neoformarse a partir de sus constituyentes esenciales, reconociendo así los tres tipos de arcilogénesis (herencia, transformación y neoformación) considerados por Millot (1964).

En las condiciones edafoclimáticas del área de estudio, los procesos de alteración química transcurren lentamente y con escasa intensidad, de ahí que la herencia sea el proceso fundamental de arcilogénesis. A pesar de ello, en este trabajo, al igual que en otros realizados por otros autores en zonas semejantes (Alías et al., 1977; Alías y Hernández, 1982; Marín, 1992; Alías y Sánchez, 1994), se demuestra que el proceso de transformación puede alcanzar una relativa importancia.

En los suelos estudiados, la fracción arcilla muestra una mineralogía muy sencilla a base sobre todo de illita y en menor proporción caolinita, pudiendo observarse en algunos casos bandas de reflexión muy débiles a espaciados de 1,4 nm, que pueden atribuirse a minerales 2:1 del tipo de las esmectitas o cloritas o a interestratificados entre la Illita y éstos. A continuación se recogen los difractogramas de agregado orientado (A.O.) más representativos de los suelos estudiados, donde se han realizado los tratamientos oportunos con el fin de identificar los minerales presentes en la fracción arcilla de los mismos.

4.1.3.1. Fluvisoles

La composición cuantitativa y cualitativa de la fracción arcilla de estos suelos está condicionada por la naturaleza de los sedimentos de que proceden, ya que en los lugares donde son depositados sufren cambios muy leves, motivados por su continuo rejuvenecimiento.

El perfil III tiene una fracción silicatada en la que la illita, mineral dominante, y la caolinita y cuarzo, escasamente representados, son heredados del material original. También aparece una pequeña proporción de minerales cuya banda de reflexión 001 del agregado orientado de arcilla saturada en Mg (A.O-Mg) está en las proximidades de 1.4 nm, difícil de asignar a ninguna especie mineralógica, debido a su escasa presencia, pero que podría atribuirse a esmectitas y/o clorita después de la solvatación del agregado orientado en etilenglicol (A.O- E.G.) y del tratamiento térmico (A.O- 500 C).

El estudio pormenorizado de los diferentes horizontes del perfil III (Fig. 4.1, 4.2 y 4.3) no muestra diferencias importantes ni desde el punto de vista cuantitativo ni cualitativo en la mineralogía de arcillas, de manera que en todos ellos aparece la reflexión a 1,0 nm, atribuible a la illita, junto con la de la caolinita a 0,7 nm, junto con la banda de reflexión poco intensa a 1,4 nm.

Como diferencia más significativa entre los distintos horizontes, sólo es de destacar la que afecta a la forma del pico de la illita del difractograma A.O-Mg, más abierto hacia espaciados altos en el horizonte Ap1 (Fig. 4.1), mientras que en el resto es mucho más simétrico y definido (Fig. 4.2 y 4.3). Dicha forma puede estar relacionada con la alteración de este mineral a esmectitas y/o cloritas pasando por interestratificados entre la illita y las

otras especies. Dicha transformación parece que tenga lugar en mayor intensidad en los horizontes superficiales del suelo, mientras que los más profundos se ven menos afectados

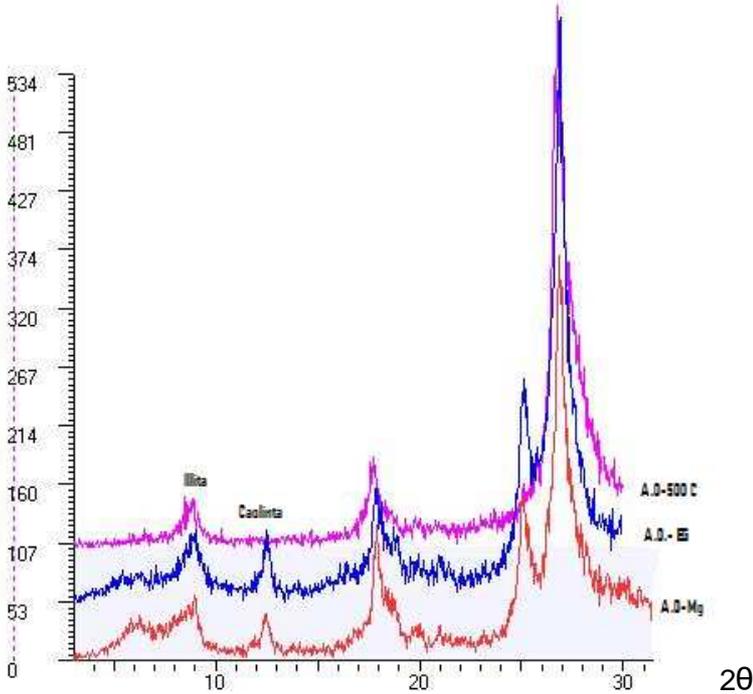


Fig. 4.1. Difractograma A.O. III-Ap1

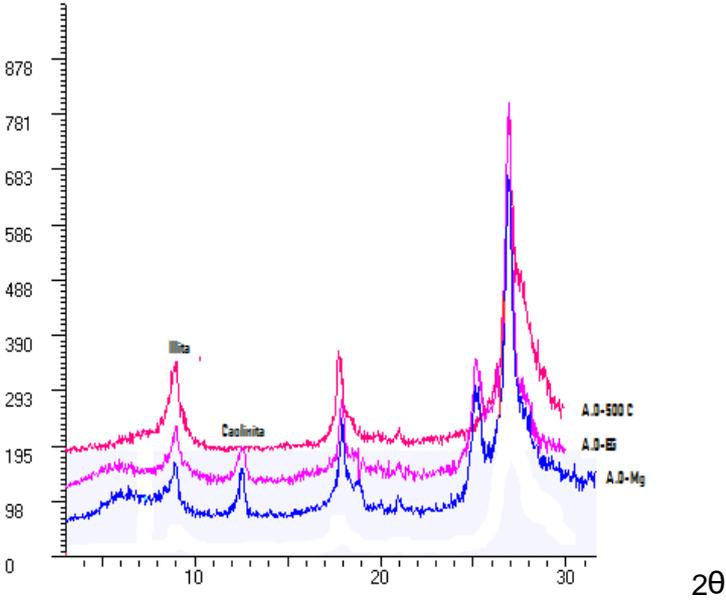


Fig. 4.2. Difractograma A.O. III-3C2

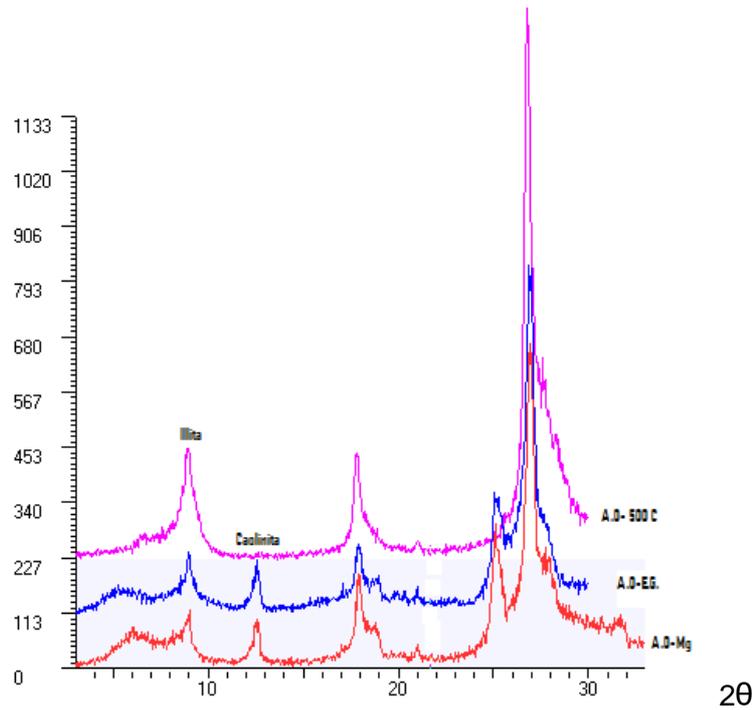


Fig. 4.3. Difractograma A.O. III-C3

El perfil IX, cuyo difractograma de A.O del horizonte Ap1 se recoge en las Figura 4.4, tiene una mineralogía muy semejante al anterior, pero con la salvedad de que en este caso el pico de la illita del difractograma de A.O-Mg no está tan abierto como en el perfil III.

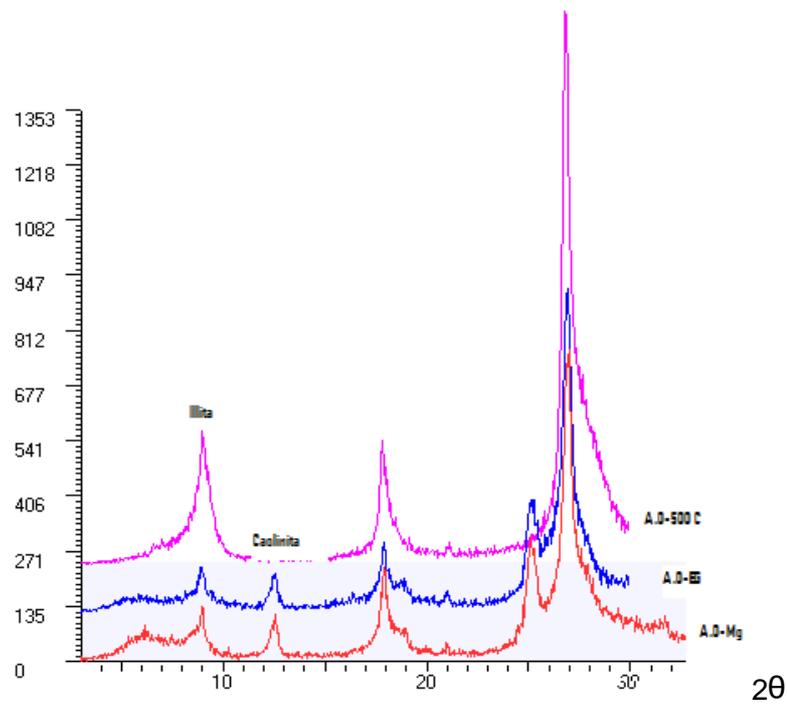


Fig. 4.4. Difractograma A.O. IX-Ap1

En base a todo ello puede afirmarse que la mineralogía de la fracción arcilla de los Fluvisoles estudiados se compone de illita, como mineral predominante, y caolinita en menor proporción. Junto a ellas aparece una banda de reflexión poco intensa a 1,4 nm que tiende a disminuir cuando descendemos en el perfil, así como una reflexión de la illita muy abierta hacia espaciados mayores que se hace más simétrica en los horizontes de profundidad; cuando se solvata el agregado en etilenglicol, disminuye la intensidad de la banda situada a 1,4 nm y se estiliza el pico de la illita (Fig. 4.1), atribuible a esmectitas y/o interestratificados del tipo I-(10-14M). Finalmente, en los difractogramas de agregado orientado sometidos a temperaturas de 500°C durante cinco horas, puede observarse la desaparición de la banda a 1.4 nm, así como la estilización y fuerte incremento de intensidad del pico de la illita. Todo ello hace pensar que junto a la illita y caolinita, en los Fluvisoles se encuentran presentes en pequeñas cantidades otros minerales de la arcilla como pueden ser esmectitas y/o cloritas, así como especies intermedias originadas en la transformación de la illita, junto con cuarzo.

La arcilogénesis es un proceso poco claro en estos suelos, en los que parte de su edafogénesis ha transcurrido en lugares diferentes a los que se encuentran en la actualidad, de tal forma que cuando el suelo, tras ser erosionado, cambia notablemente de condiciones edáficas, los procesos que conducen a la formación y evolución de la arcilla también se modifican. Por todo ello, es difícil establecer la arcilogénesis de estos minerales si tenemos en cuenta el origen de los suelos a partir de sedimentos aluviales afectados por procesos de arrastre y, por tanto, la posibilidad que existan etapas edáficas diferentes. La caolinita y el cuarzo proceden de suelos erosionados de otras zonas y no sufren cambios significativos, debido a su gran estabilidad química y a las condiciones edafoclimáticas poco propicias para la alteración (clima templado, saturación total en bases de cambio, falta de coincidencia de las estaciones húmeda y cálida, etc); puede decirse, por tanto, que son minerales heredados. La illita es también un mineral heredado del material original, pero a diferencia de los dos primeros puede sufrir una transformación a esmectitas y/o cloritas pasando por interestratificados entre la illita y estas especies, lo cual supone una transformación como la descrita por Ismail (1970).

4.1.3.2. Solonchacks

Los dos perfiles seleccionados (I y VI) tienen una mineralogía de arcillas muy semejante entre sí y a su vez también muy semejante a la de los Fluvisoles descritos en el apartado anterior.

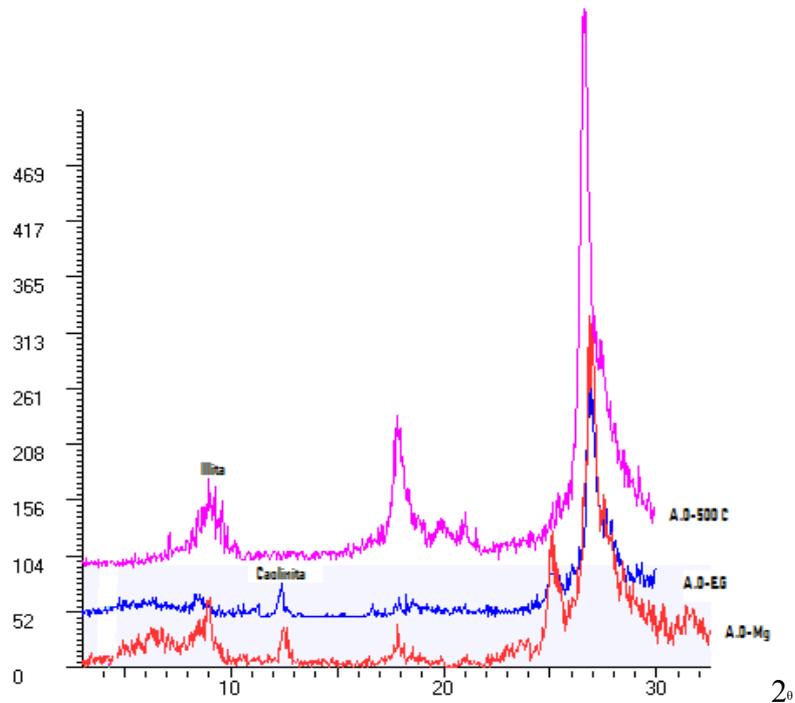


Fig. 4.5. Diffractograma A.O. VI-Ayz

Del análisis semicuantitativo de los difractogramas de A.O. arcilla-Mg de los horizontes superficiales de los perfiles VI y I (Fig. 4.5 y 4.8), se deduce un predominio de illita o illita-esmectitas, responsable esta última del comportamiento del agregado orientado al solvatarlo en etilenglicol. Como puede observar en dichas Figuras, al solvatar el A.O. en etilenglicol, desaparece la banda de reflexión situada entre 1.2 y 1.4 nm, correspondiente a la reflexión 002 del interestratificado I-(10-14M)-14M. Finalmente, el difractograma de A.O-500 C muestra un colapso total de toda la banda situada a espaciados superiores a 1,0 nm y un incremento muy notablemente del pico a 1.0 nm, que confirman la existencia de estos minerales interestratificados a base de illita y esmectitas y que son los responsables del gran incremento del pico de la illita en el A.O-500 C como consecuencia del colapso del espaciado reticular de las fracciones esmectíticas de los mismos.

La caolinita y el cuarzo, identificados por las reflexiones a 0,7 y 0,33 nm forman parte también de la fracción arcilla de estos horizontes.

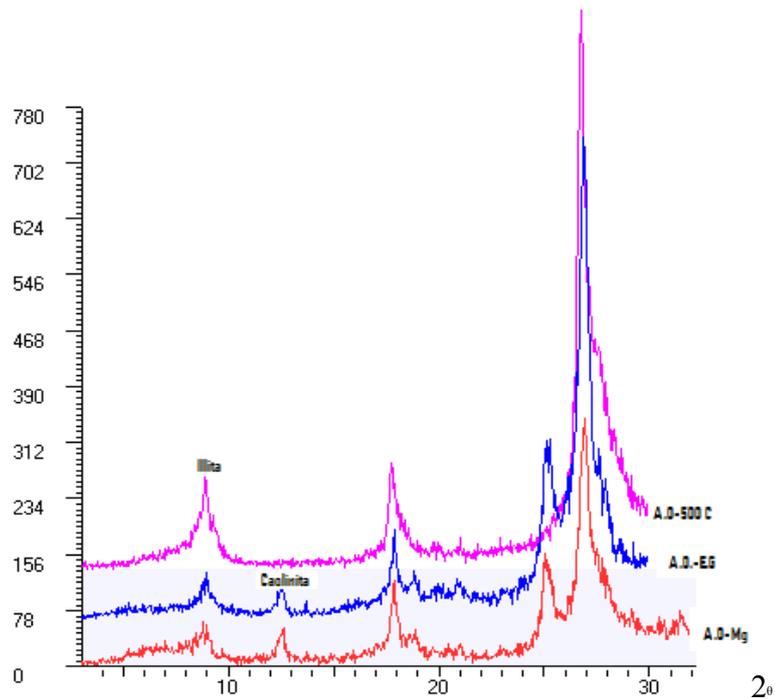


Fig. 4.6. Diffractograma A.O. VI-Cgyz1

Al igual que pasaba con los Fluvisoles, el resto de horizontes muestran las mismas reflexiones predominantes, es decir, la 1,0 de la illita y la 0,7 de la caolinita, pero a diferencia del Az superficial, la reflexión a 1,0 nm del A.O-Mg es más simétrica y la banda de reflexión en el entorno de 1,4 nm es más débil. Todo ello hace pensar que el proceso de arcilogénesis predominante consiste en una herencia de minerales del propio material, aunque existe una transformación de illita a montmorillonita, pasando por el interstratificado I-(10-14M)-14M, sobre todo en los horizontes A superficiales.

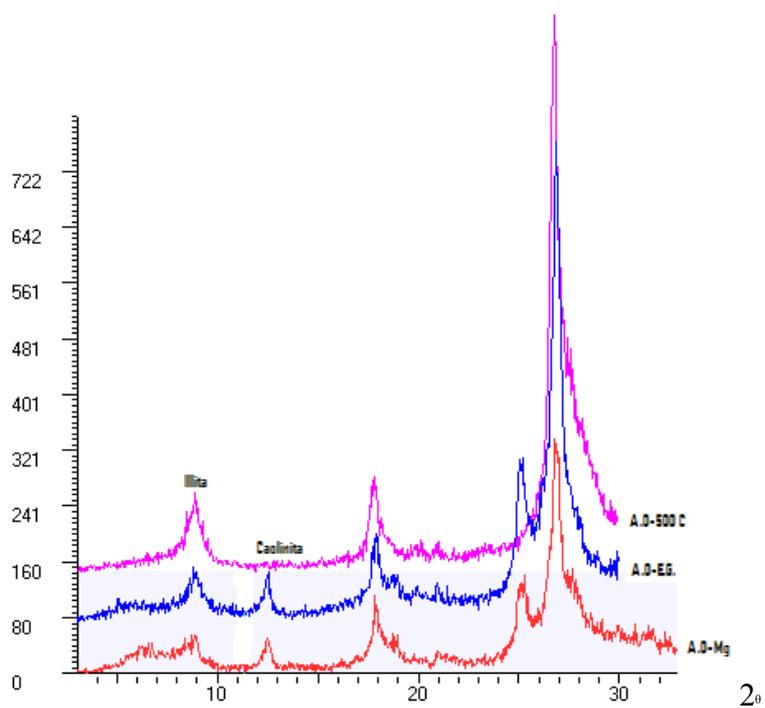


Fig. 4.7. Difractograma A.O. VI-Cgyz4

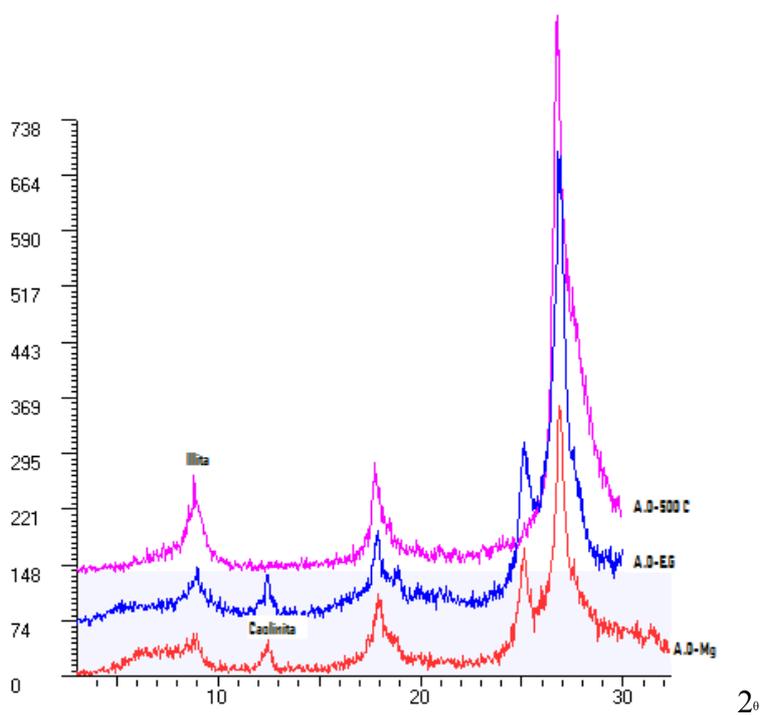


Fig. 4.8. Difractograma A.O. I-Ap1

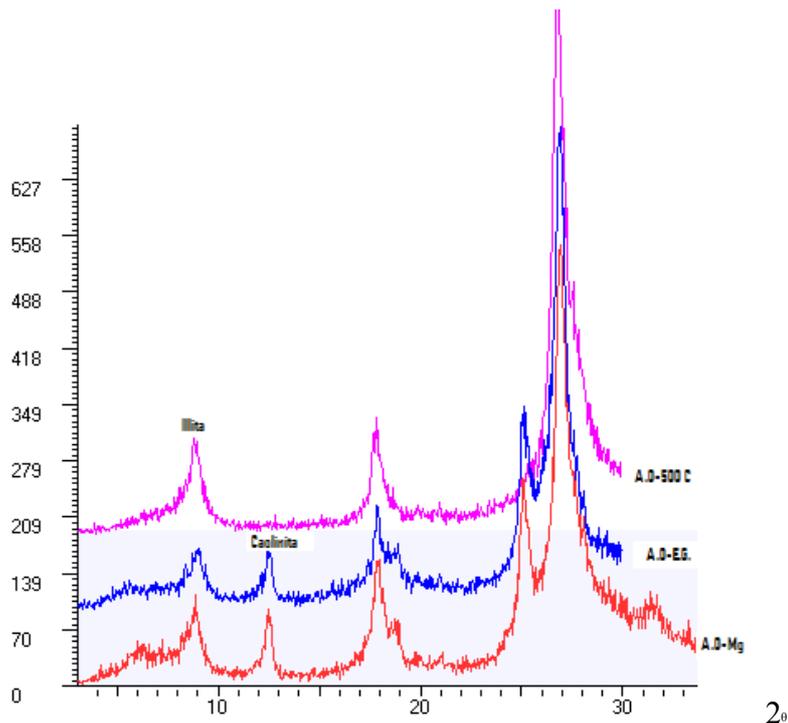


Fig. 4.9. Difractograma A.O. I-Cgyz3

4.1.4. Clasificación

En este apartado se clasifican los perfiles cuya morfología y datos analíticos acabamos de describir. El sistema empleado es el de IUSS-WRB (2014), sistema de muy general aceptación y en el que se hace uso de los horizontes, propiedades y materiales diagnósticos para la clasificación del suelo.

En cuanto a los horizontes, en superficie no se ha descrito ninguno con valor diagnóstico. A nivel subsuperficial tampoco se han observado horizontes con valor diagnóstico, salvo en los perfiles I y VI, donde se cumplen las condiciones del horizonte sálico, ya que su CE es superior a 15 dSm^{-1} . Asimismo, son suelos que predominantemente contienen material flúvico dentro de los 25 cm de la superficie del suelo y continua hasta una profundidad de 50 cm o más.

En base a lo anterior, los suelos que encontramos en la zona estudiada son Fluvisoles y Solonchaks. Son suelos aluviales y coluviales recientes, en los que periódicamente se producen aportes de nuevos materiales, suelos permanentemente rejuvenecidos y sin desarrollo de horizontes edáficos evolucionados, típicos de fondos de valle o de llanuras aluviales. Sus características son muy variables debido a las

diferentes tipologías de sedimentos y al proceso de transporte. Suelen ser utilizados como suelos de cultivo en regadío.

Los Solonchaks (IUSS-WRB 2014), son definidos como suelos que tienen un horizonte sálico que comienza dentro de los 50 cm de la superficie del suelo y no tienen horizonte tíónico en los 50 cm de la superficie del suelo. Los perfiles I y VI cumplen con estos requisitos, mientras que el resto de perfiles se clasifican como Fluvisoles.

Los Solonchacks son Gléyicos, ya que se observan manchas pardo-rojizas y herrumbrosas que demuestran la existencia de condiciones reductoras en el primer metro de profundidad. Además son sódicos, al tener más de un 15 % de Na más Mg de cambio y más de un 6% de Na de cambio, y calcáricos (tienen más de un 2 % de CaCO_3 equivalente). El perfil I es además arcílico, mientras que el perfil VI, tiene materiales flúvicos, es franco, gipsílico e hipersálico.

En cuanto los Fluvisoles, son todos calcáricos y áricos (están cultivados) y, salvo el perfil V, son francos; cuatro de ellos sódicos (II, VII, VIII y IX), tres gipsíricos (VII, VIII y IX), conteniendo más de un 5 % en volumen de yeso primario. Finalmente, los perfiles IV y V presentan grietas en la superficie del suelo, que les confieren el carácter protovértico.

En base a todo ello, los suelos estudiados se han clasificado como:

Perfil I: Solonchack Gléyico Sódico (Arcílico, Calcárico).

Perfil II: Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Perfil III: Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Perfil IV: Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Protovértico).

Perfil V: Fluvisol Calcárico (Arcílico, Árico, Protovértico).

Perfil VI: Solonchak Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Franco, Gipsílico, Hipersálico).

Perfil VII: Fluvisol Sódico Gipsílico Calcárico (Árico, Franco).

Perfil VIII: Fluvisol Sódico Gipsílico Calcárico (Árico, Franco).

Perfil IX: Fluvisol Gléyico Sódico Gipsílico Calcárico (Árico, Franco).

4.2. Muestras de capa arable

4.2.1. Situación y descripción de los lugares de muestreo

La descripción macromorfológica de las muestras de capa arable está recogida en las fichas de campo que aparecen en el capítulo de anexos. Para realizar la descripción macromorfológica se ha tenido en cuenta: situación de las muestras en coordenadas UTM, el término municipal al que pertenecen, el uso del suelo que tienen en el momento de la toma de la muestra, así como la clasificación del suelo según IUSS-WRB (2014).

La zona, como ya se ha comentado anteriormente en el apartado de relieve es una depresión aluvial prácticamente llana, por lo que la pendiente en todos los puntos de muestreo va de 0 al 2%. Son suelos muy profundos, con más de 120 cm de espesor, debido a la naturaleza fluvéntica y a la dilatada historia de las avenidas que los caracteriza. Actualmente la cuenca del Segura es la más regulada de toda la Península Ibérica, debido a su gran irregularidad interanual en precipitaciones, lo que ha dado lugar a la construcción de gran número embalses para obtener un mejor aprovechamiento de los propios recursos hídricos y de los que le vienen de cuencas foráneas. Todo esto determina la existencia de una amplia red de canalizaciones y la disminución de grandes avenidas, que dejaban una gran carga de sedimentos, enriqueciendo a los suelos de nutrientes.

La mayoría de los suelos están moderadamente bien drenados, aunque aparecen también casos en los que el drenaje es imperfecto como es el caso de algunas de las muestras recogidas en las proximidades de la laguna del Hondo. En estos suelos imperfectamente drenados el agua es eliminada con lentitud suficiente para mantenerlos mojados durante ciertos periodos de tiempo y generalmente, la capa freática puede llegar hasta la superficie. También aparecen suelos bien drenados donde el agua es eliminada del suelo con facilidad, reteniendo óptimas cantidades de humedad para el crecimiento de las plantas después de las lluvias y el riego. Por lo que puede decirse que son suelos moderadamente bien drenados, donde el agua se elimina del suelo con cierta lentitud, permaneciendo mojados durante ciertos periodos cortos al año. Estos suelos están influidos claramente por una capa freática, que, a veces, está a menos de 1 metro y que puede dar lugar a fenómenos de óxido-reducción como queda patente en algunas muestras de capa arable, donde pueden observarse manchas de colores verde oliva.

En cuanto al tipo de suelo, como ya se ha comentado, la mayoría son Fluvisoles Calcáricos, pero también se han descrito Solonchaks Gléyico Flúvicos (20%), por lo que es de destacar su carácter aluvial en todos ellos.

La clasificación de las muestras de capa arable (IUSS-WRB 2014) es:

Muestra G-1. Solonchack Gléyico Flúvico (Arcíllico, Calcárico, Gipsírico).

Muestra G-2. Solonchack Gléyico Flúvico (Calcárico, Gipsírico).

Muestra G-3. Solonchack Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico, Hipersálico, Limoso).

Muestra G-4. Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-5. Solonchack Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico).

Muestra G-6. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-7. Solonchack Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico, Hipersálico).

Muestra G-8. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-9. Fluvisol Calcárico (Arcíllico, Árico).

Muestra G-10. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-11. Fluvisol Gipsírico Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-12. Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-13. Fluvisol Gipsírico Calcárico (Arcíllico, Árico, Ócrico).

Muestra G-14. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-15. Fluvisol Calcárico (Arcíllico, Árico).

Muestra G-16. Fluvisol Calcárico (Arcíllico, Árico).

Muestra G-17. Fluvisol Calcárico (Arcíllico, Árico).

Muestra G-18. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco).

Muestra G-19. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-20. Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcíllico, Árico, Ócrico).

Muestra G-21. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-22. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-23. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-24. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-25. Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Muestra G-26. Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico).

Los Fluvisoles son Calcáricos, en todos los casos se encuentran cultivados (Áricos) y su textura es franca o arcillosa, por lo que llevan el calificador de Franco o Arcílico, respectivamente, que se relaciona con su distancia al río Segura, estando las texturas pesadas más próximas a éste. Algunos Fluvisoles presentan problemas de drenaje y se encuentran encharcados durante alguna época del año (Gléyicos). Las muestras situadas al sur de la zona de estudio, desde G-19 a G-26, son Ócricas ya que tienen escasa materia orgánica y color claro. Finalmente las muestras G-11 y G-13 contienen yeso primario en un porcentaje superior al 5 % en volumen, por lo que tienen carácter Gipsírico.

En cuanto a los usos del suelo, el 58 % de las muestras se encuentran en barbecho y dentro de los suelos cultivados, los cítricos son los cultivos más abundantes seguidos de los cultivos hortícolas. Los naranjos y limoneros son los cítricos principales en la zona y entre los cultivos hortícolas destaca el brócoli y alcachofas, principalmente. Se trata de pequeñas parcelas de cultivo que dan lugar a las tradicionales huertas familiares, donde hay un gran mosaico de cultivos según la época del año. Entre éstos destacan las alcachofas, brócoli, pimientos, tomates, berenjenas, habas, etc, que bien sirven para el consumo familiar o para el abastecimiento de pequeños comercios locales.

Las explotaciones de cítricos son de mayor tamaño ya que forman parte de estructuras empresariales más complejas y su producción se dedica a la exportación o a la industria del zumo concentrado, etc. También se pueden encontrar plantaciones de palmeras y granados, que son cultivos adaptados a cierta salinidad.

En cuanto a los Solonchaks, todos ellos son Gléyicos, Flúvicos, Calcáricos y Gipsíricos, mientras que el calificador Sódico sólo lo presentan el 50 % y el Hipersálico las muestras G-3 y G-6. Son suelos salinos que predominantemente conservan su vegetación natural, dando lugar a humedales que en algunos casos tienen figuras ambientales de protección. Están situados al norte de la zona de estudio.

4.2.2 Determinaciones analíticas generales

En la siguiente tabla (Tabla 4.7) se muestran los resultados del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos con las determinaciones analíticas llevadas a cabo y en la Tabla 4.8 los valores de todas las determinaciones realizadas.

Tabla 4.7. Estadísticos descriptivos de la capa arable

	MO	C	CaCO ₃	pH H ₂ O	pH CIK	N	C/N	T	pF 1/3 atm	pF 15 atm	Agua útil
Min	1,7	1,0	247,1	7,9	7,4	0,5	0,7	9,3	9,6	17,5	7,3
Max	34,1	19,8	549,3	8,7	8,0	2,6	32,4	28,5	16,9	30,1	16,8
\bar{X}	16,5	9,6	420,1	8,3	7,7	1,6	7,0	17,6	14,0	23,7	9,6
DT	9,8	5,7	73,3	0,2	0,2	0,5	3,9	4,1	2,3	2,7	2,6

MO, CO, CaCO₃ y N en g kg⁻¹; T en cmol(+)kg⁻¹, pFs y agua útil en %

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) de los suelos influye en sus propiedades físicas (retención de agua, estructura, aireación del suelo) y químicas (capacidad de cambio catiónica y fertilidad). Su determinación es importante para poder evaluar la fertilidad del suelo. El contenido de materia orgánica de un suelo depende fundamentalmente de la cubierta vegetal y condiciones climáticas, y en menor medida de la textura del suelo y del pH. El carbono orgánico que forma parte de la materia orgánica constituye el 52-53% de ésta, así multiplicando por 1,72 el contenido de carbono orgánico se obtiene el de materia orgánica (Andrades, 1996).

El valor medio de materia orgánica de los suelos motivo de estudio es de 16,5 g kg⁻¹ y su desviación típica es de 9,8. La muestra nº 21 es la de menor contenido con 1,7 g kg⁻¹ estando dedicada al cultivo de hortícolas (brócoli y alcachofas), mientras que el máximo contenido en materia orgánica es de 34,1 g kg⁻¹ en la muestra nº 1 que se encontraba en barbecho.

Cobertera (1993) hace una valoración de la calidad de los suelos agrícolas en función del contenido en materia orgánica del horizonte superficial en aquellas zonas

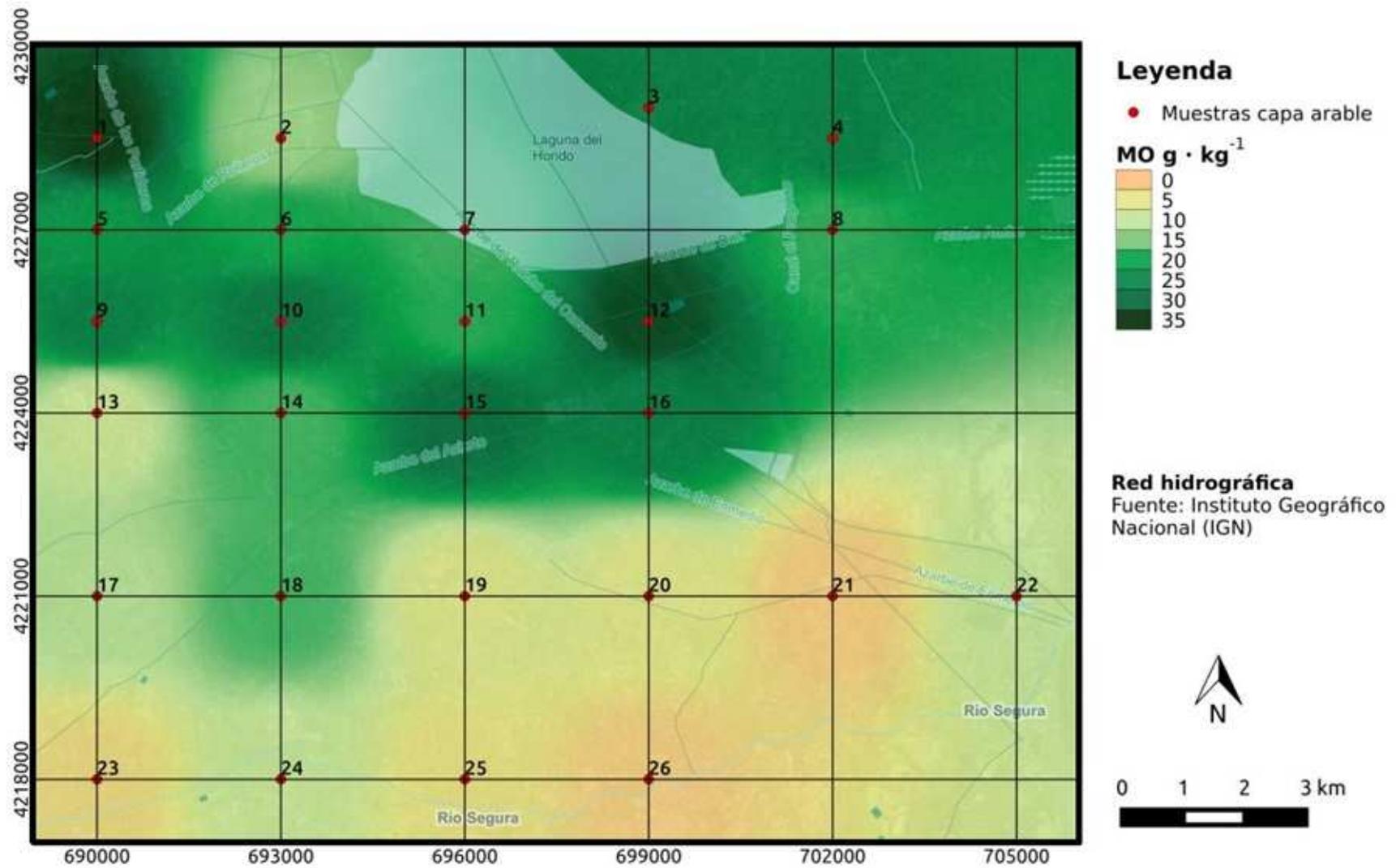
donde la temperatura media es de 15°C y la precipitación media es de 500 mm/año. Así, los suelos con % de materia orgánica menor de 1 son de mala calidad agrícola, entre un 1% y 1,5% de muy mala calidad para el regadío y media baja para el secano, de un 1,5% a un 2% de buena calidad en secano y calidad media para regadío, mientras que para contenidos mayores del 2% ya son suelos de muy buena calidad para el secano y buena para el regadío. En esta zona la precipitación media ronda la 300 mm/año pero hay que tener en cuenta que la mayoría de estos suelos están en regadío, con lo que el aporte de agua al suelo es mayor y puede llegar a los 500 mm/año. Siguiendo esta clasificación propuesta por Cobertera vemos que los suelos situados más al norte o extremo septentrional, con vegetación natural o barbecho, son los que tienen mayor contenido en materia orgánica, más de un 1,5 % en general, por lo que pueden ser clasificados como buenos tanto para el secano como para regadío. Mientras, los suelos situados más al sur son los que menores contenidos en materia orgánica poseen, generalmente la mayoría se dedican a cítricos.

Con estos datos se ha realizado un análisis geoestadístico y se ha obtenido la distribución espacial que se recoge en el Mapa 3 Como puede observarse los contenidos de materia orgánica más altos están en las proximidades de la Laguna del Hondo, coincidiendo con los humedales que conservan su vegetación natural.

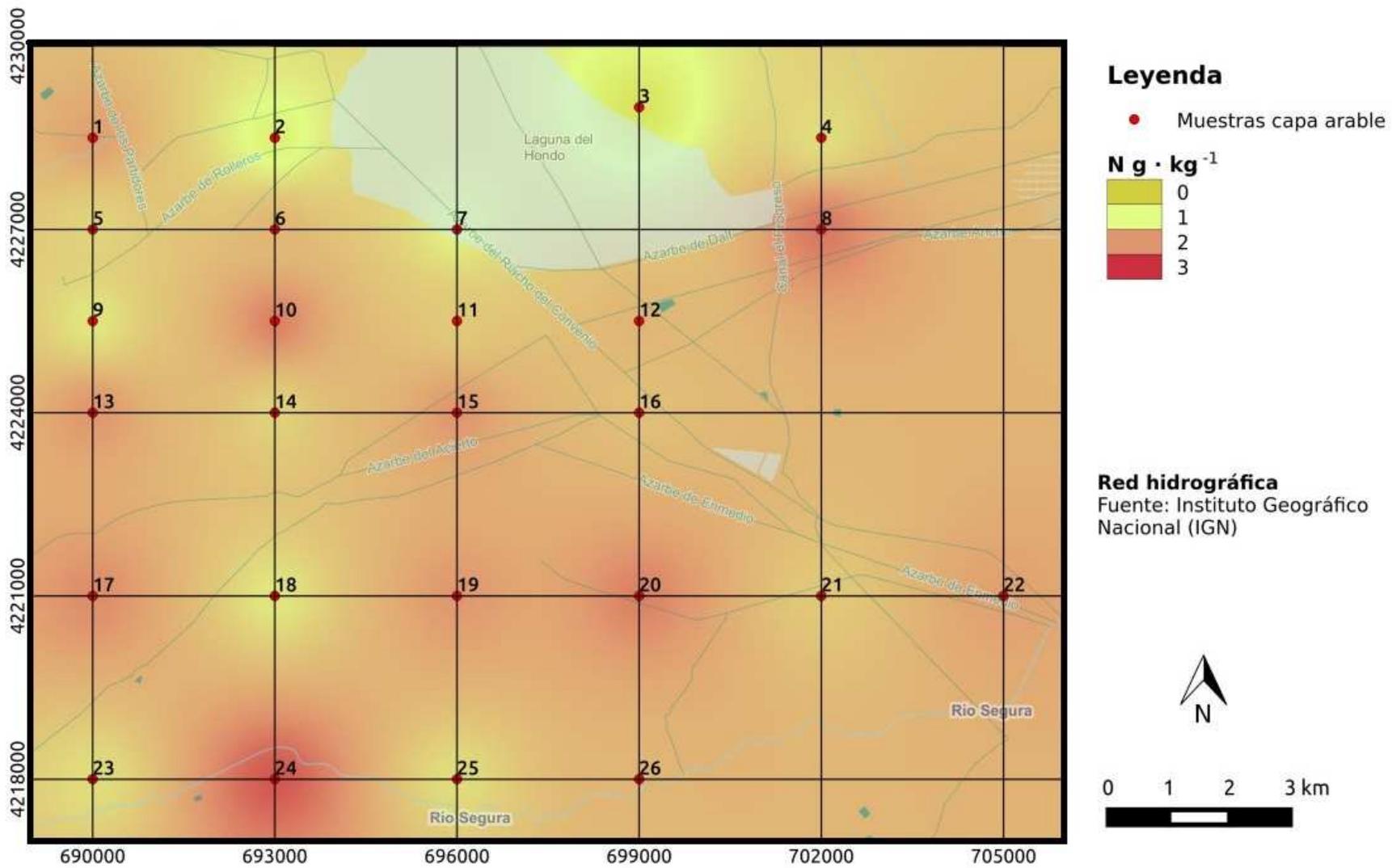
Nitrógeno total

La valoración del contenido en nitrógeno de un suelo es fundamental para conocer la fertilidad de ese suelo, ya que es uno de los macronutriente esenciales para las plantas. En condiciones naturales, la relación C/N es característica para cada edafoclima y su valor sirve para valorar las características biológicas de los suelos.

El contenido medio en nitrógeno de estos suelos es de 1,6 g kg⁻¹ y la desviación típica es de 0,5. El valor más elevado de nitrógeno es de 2,6 g kg⁻¹ y aparece en la muestra nº 24, donde se cultiva una plantación de cítricos, mientras que el valor mínimo es de 0,5 g kg⁻¹ y aparece en la muestra nº 3, que presenta vegetación natural. En general, el contenido en nitrógeno es más alto que el cabría esperar de la relación C/N de un humus mull calizo, típico en estas zonas, y puede deberse a la aplicación de abonado nitrogenado a los cultivos.



Mapa 3. Materia orgánica



Mapa 4. Nitrógeno

CaCO₃ equivalente.

El contenido en carbonatos es una determinación que puede complementarse con el pH para estimar el grado de saturación en bases del complejo de cambio. Los suelos con elevado contenido en carbonato y pH básico tendrán el complejo de cambio saturado en bases. En los suelos con elevado contenido en carbonatos puede que existan problemas para la absorción de nutrientes (hierro, fósforo) por las plantas y, por tanto, pueden llegar a aparecer deficiencias nutricionales en los cultivos no adaptados. El CaCO₃ actúa como agente cementante y estabiliza la estructura del suelo floculando los coloides del humus y arcilla.

El contenido medio de carbonato cálcico equivalente en estos suelos es de 420 g kg⁻¹ siendo la desviación típica de 73,3. El valor mínimo de carbonato cálcico es de 247 g kg⁻¹ en la muestra nº 15 que se encuentra junto a la zona urbana de Dolores, mientras que el valor máximo es de 549 g kg⁻¹ y aparece en la muestra nº 9, en el extremo septentrional de la zona de estudio, que está en barbecho.

En general, los valores más elevados de carbonato cálcico aparecen en la mitad oriental de la zona estudiada como se observa en el Mapa 5, mientras que los valores mínimos se observan en las proximidades de la Laguna del Hondo y de Dolores.

En general, el contenido en carbonato cálcico equivalente es elevado, en concordancia con el predominio de materiales calizos en la zona estudiada. Presentan un exceso de calcio y como ya hemos comentado anteriormente puede haber antagonismos con la absorción de otros nutrientes.

pH

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno y es una medida de la acidez-basicidad del suelo que nos permite una primera aproximación al conocimiento del grado de saturación en bases del complejo de cambio. Este parámetro ejerce una gran influencia en la asimilación de elementos nutritivos, ya que facilita o dificulta su disolución y a veces crea antagonismos iónicos.

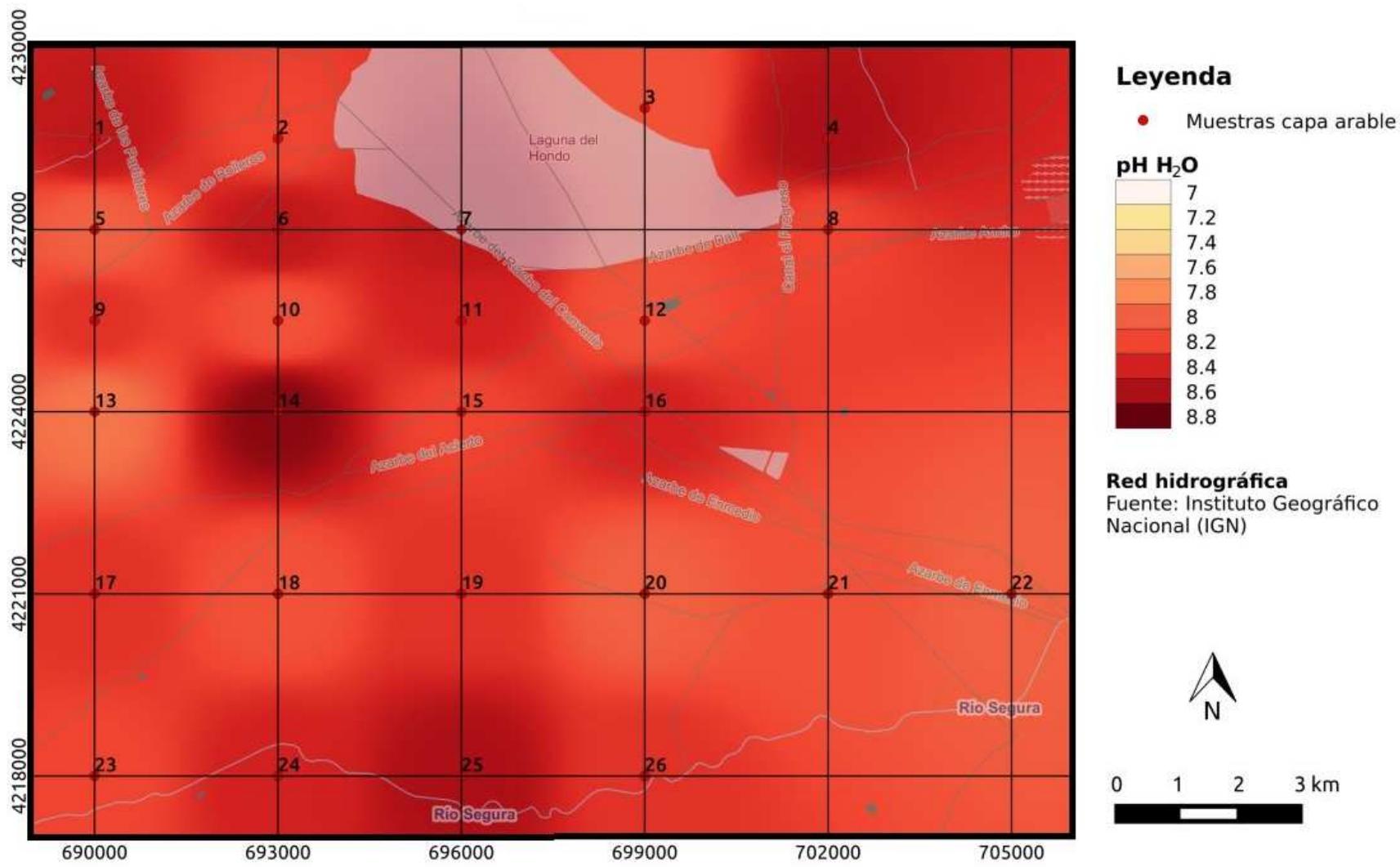
Como técnica preliminar se presenta el pH en agua ya que su valor se utiliza como criterio para decidir la necesidad de otros análisis. Sin embargo, hay otros valores de pH del suelo cuya determinación puede ser igualmente interesante, así el pH en

cloruro potásico que al compararlo con el pH en agua, da una indicación del grado de saturación del complejo de cambio.

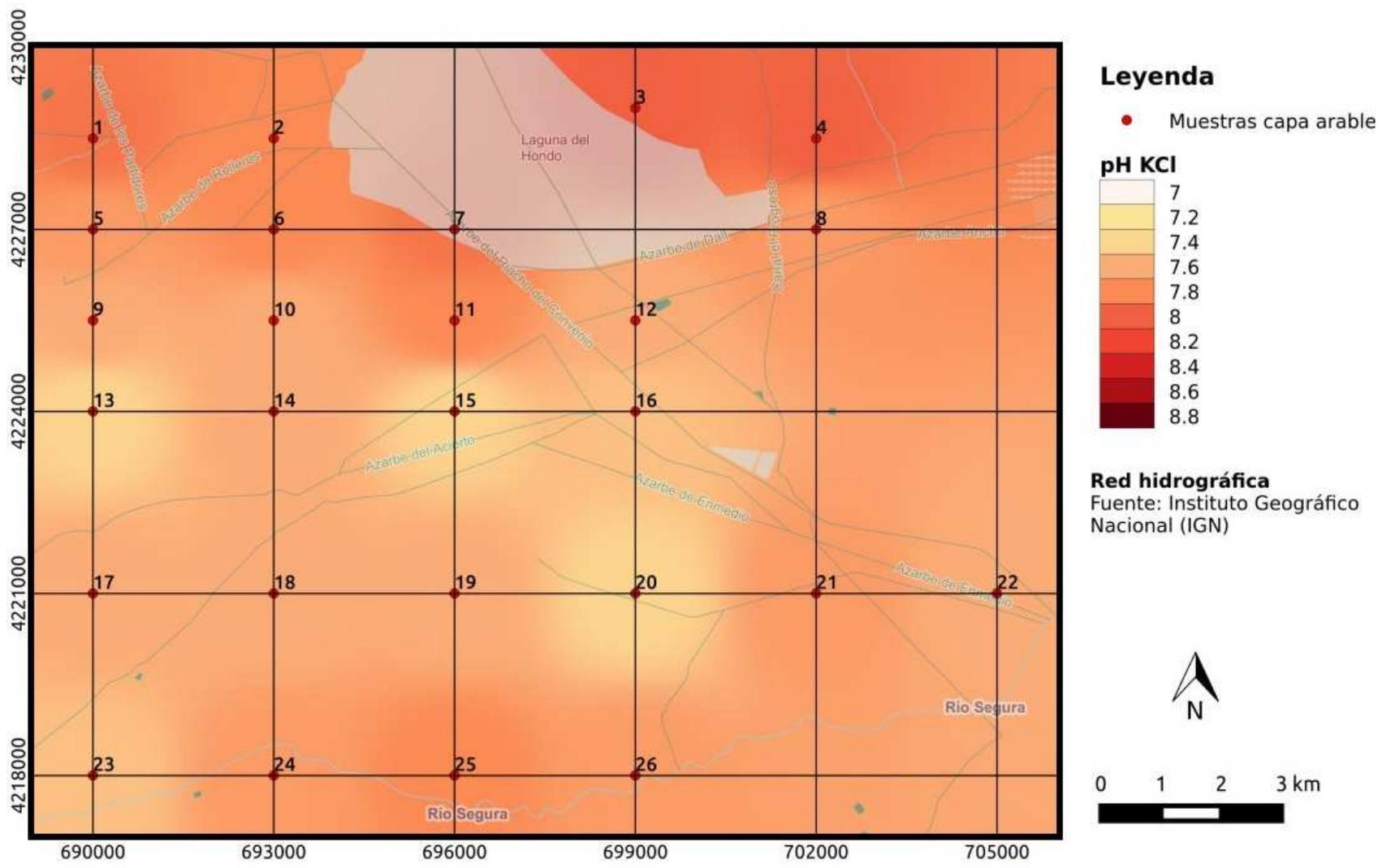
Según Cobertera (1993), los suelos que tienen pHs comprendidos entre 7,6-8,5 y la diferencia entre el pH en agua y en KCl es mayor de 0,4 se encuentran saturados en bases, son pobres en fósforo y hierro asimilable. Cuando el pH es mayor de 8,5 y los valores de pH en agua y KCl son muy similares se trata de suelos salino-alcálinos y pueden existir problemas de salinidad-alcálinidad, mientras que si el pH supera valores de 8,8 hay cierto riesgo de destrucción de la estructura del suelo, dando lugar a suelos alcálinos.

Los pHs de los suelos estudiados son todos básicos y están en el rango entre 7,9 a 8,7 en agua y 7,4 a 8,0 en KCl. El pH medio en agua es de 8,3 y de 7,7 en KCl, por tanto, la diferencia de ellos es mayor de 0,4 unidades, por lo que están saturados en bases. Las muestras nº 4, 14 y 25 superan el valor de 8,5 de pH en agua, lo que puede indicar una etapa incipiente de alcalinización de estos suelos.

No hay una zonificación clara cuando se representa el pH en agua (Mapa 6), pero sí en el pH en KCl (Mapa 7). Los valores más elevados de pH en KCl aparecen en las proximidades de la Laguna del Hondo, mientras que los más bajos se sitúan en el ángulo suroeste.



Mapa 6. pH H₂O



Mapa 7. pH KCl

Tabla 4.8. Resultados de las determinaciones analíticas de capa arable

Muestra	M0	C	CaCO ₃	pH H ₂ O	pH CIK	N	C/N	T	pF 1/3 atm	pF 15 atm	Agua útil
G-1	34,1	19,8	404,0	8,5	7,9	1,9	10,4	20,7	30,1	14,1	16,0
G-2	12,4	7,2	409,0	8,2	7,8	0,8	8,7	18,5	27,0	14,6	12,4
G-3	25,5	14,8	304,0	8,1	8,0	0,5	32,4	9,3	23,0	10,4	12,6
G-4	25,1	14,6	444,0	8,6	8,0	1,3	11,3	14,7	25,9	14,1	11,8
G-5	21,5	12,5	453,0	8,0	7,7	1,4	8,9	24,5	26,1	14,2	11,8
G-6	19,6	11,4	351,0	8,5	7,8	1,7	6,7	16,4	28,1	11,3	16,8
G-7	17,7	10,3	295,0	8,5	7,9	1,1	9,0	15,8	22,9	9,9	13,1
G-8	18,4	10,7	518,0	8,2	7,7	2,3	4,6	28,5	22,5	14,8	7,8
G-9	25,5	14,8	549,3	8,3	7,6	1,2	12,3	19,6	22,9	14,7	8,2
G-10	27,8	16,1	478,8	8,1	7,6	2,2	7,3	17,2	24,3	16,3	8,1
G-11	18,8	10,9	434,5	8,4	7,8	1,5	7,3	17,4	24,1	15,4	8,7
G-12	32,7	19,0	433,9	8,1	7,6	1,7	11,2	21,0	24,8	16,9	7,9
G-13	8,4	4,9	415,7	7,9	7,4	2,0	2,4	19,9	24,3	16,4	7,9
G-14	17,4	10,1	352,0	8,7	7,6	1,4	7,2	17,0	23,9	14,9	9,0
G-15	29,2	17,0	247,1	8,2	7,4	2,0	8,5	20,6	22,7	14,3	8,5
G-16	25,8	15,0	297,3	8,4	7,5	1,6	9,4	21,6	21,3	13,7	7,6
G-17	10,8	6,3	437,0	8,3	7,6	2,1	3,0	18,2	19,1	10,5	8,6
G-18	17,5	10,2	444,2	8,1	7,6	1,2	8,5	15,8	24,2	16,2	8,0
G-19	6,1	3,6	443,3	8,3	7,6	2,0	1,8	18,6	24,8	16,0	8,8
G-20	5,8	3,4	488,1	8,0	7,4	2,2	1,56	19,8	17,5	9,6	7,9
G-21	1,7	1,0	501,8	8,1	7,7	1,5	0,7	13,7	24,9	16,9	8,0
G-22	9,4	5,5	428,7	8,0	7,6	1,9	2,9	17,8	24,8	16,5	8,3
G-23	3,4	2,0	467,4	8,2	7,5	1,3	1,5	13,7	20,8	12,0	8,8
G-24	9,2	5,4	417,8	8,4	7,7	2,6	2,1	13,7	23,2	15,5	7,7
G-25	4,3	2,5	428,0	8,6	7,8	1,3	1,8	11,7	21,6	14,3	7,3
G-26	2,0	1,4	478,6	8,3	7,7	1,7	0,8	11,7	20,3	11,7	8,6

Capacidad de cambio catiónico

La capacidad de cambio catiónico (T) es la cantidad máxima de cationes que un suelo puede adsorber. Ésta va a variar teniendo en cuenta el contenido y tipo de arcillas así como del contenido en materia orgánica. Este parámetro determina la fertilidad potencial del suelo porque los cationes adsorbidos son cambiables con los de la solución del suelo y, por tanto, puede considerarse como la reserva natural de nutrientes del suelo.

Los suelos cultivados fértiles de países templados presentan en su horizonte Ap valores que pueden oscilar entre 10 y 20 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$, según su textura y contenido en materia orgánica. Valores inferiores indican, en cualquier horizonte, poca capacidad de adsorción y, en consecuencia, excesiva facilidad para el lavado de cationes. Por el contrario las T superiores a 25 ejercen, en general, un exceso de adsorción que se traduce en el bloqueo de los cationes y, por lo tanto, una deficiencia en la función nutritiva del suelo (Cobertera, 1993).

En los suelos estudiados T es media, únicamente hay un valor por debajo de 10 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ que aparece en la muestra nº 3, que puede atribuirse al contenido relativamente bajo en materia orgánica y en arcilla. En general, el valor medio de este parámetro es de 17,6 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ lo que nos indica que son suelos bastante fértiles. Sin embargo, hay varias muestras (nº 5, 8, 12,) que sobrepasan los 25 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ propuestos por Cobertera como límite máximo para que un suelo no tenga problemas relacionados con el bloqueo de algunos elementos nutritivos al adsorberse al complejo de cambio.

pF

Con este parámetro se pretende evaluar la cantidad de agua que un suelo puede retener para ser utilizada por las plantas. Los pFs medidos a 1/3 de atmósfera representa la capacidad de campo, que viene a ser la cantidad de agua retenida que hay en un suelo después de saturarse y haber perdido el agua gravitacional y es la capacidad de retención “in situ”. El agua del suelo puede ser absorbida por las plantas o perderse por evaporación o lixiviación, hasta que la fuerza de retención a la matriz del suelo supera un valor, conocido como punto de marchitamiento permanente (pF 15 atmósfera), a partir del cual las plantas son incapaces de absorberla. La diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente se conoce como agua útil, que es la que hay en el suelo disponible para la plantas. Los pFs están muy relacionados con la textura, de manera que en los suelos

arcillosos el agua está más fuertemente retenida y se llega antes al punto de marchitez, mientras que en las texturas ligeras el agua dreña libremente y es retenida con dificultad.

El valor medio de los pFs medidos a 1/3 de atmósfera es de 14.0 y 23.7 a 15 atmósferas. Los datos son bastante homogéneos como demuestra la desviación típica, ya que no hay mucha diferencia en cuanto a las fracciones granulométricas predominantes.

Textura

La granulometría expresa las proporciones relativas de las diferentes partículas minerales inferiores a 2 mm, agrupadas por clases de tamaños, en fracciones granulométricas, tras la destrucción de los agregados (Porta *et al.*, 2003). A partir de ésta podemos inferir varias propiedades que van a poseer los suelos. Nos da una idea de la permeabilidad, aireación y otras propiedades físicas y químicas del suelo, así como de su grado de evolución y pone de manifiesto la existencia de posibles discontinuidades litológicas.

En la Tabla 4.9 se recoge el análisis granulométrico y la clase textural de las muestras mientras que en la Tabla 4.10 está la estadística descriptiva de los datos y nos sirve para hacer la caracterización granulométrica de estos suelos.

Tabla 4.10. Estadística descriptiva del análisis granulométrico

Fracción (%)	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Arcilla	16,2	47,8	32,5	10,4
Limo fino	5,4	38,5	22,7	9,5
Limo grueso	9,7	43,2	29,8	9,8
Arena 1	0,2	14,8	6,5	5,3
Arena 2	0,3	20,8	5,2	5,8
Arena 3	0,2	4,3	1,2	1,0
Arena 4	0,3	6,2	0,9	1,3
Arena 5	0,1	8,4	1,2	2,1

Arena 1 (50-100 μ), Arena 2 (100-250 μ), Arena 3 (250-500 μ), Arena 4 (500-1000 μ), Arena 5 (1000-2000 μ), en %.

Tabla 4.9. Análisis granulométrico y clase textural

Muestra	Arcilla	Limo fino	Limo grueso	Arena 1	Arena 2	Arena 3	Arena 4	Arena 5	Clase textural
G-1	32,3	31,4	27,3	5,4	1,6	0,8	0,7	0,5	F-A-L
G-2					No dispersa				
G-3					No dispersa				
G-4	33,9	28,0	14,7	7,5	9,7	4,3	1,4	0,5	F-A
G-5					No dispersa				
G-6	27,7	30,0	25,2	11,8	3,5	0,7	0,6	0,5	F-A-L
G-7					No dispersa				
Gr-8	46,7	38,5	12,2	0,9	0,8	0,4	0,3	0,2	A-L
Gr-9	42,4	32,7	17,6	0,3	0,4	0,7	2,1	3,9	A-L
Gr-10	29,6	25,0	29,3	0,4	0,6	0,7	6,2	8,4	F-A-L
Gr-11	33,0	26,7	32,3	0,2	0,4	0,5	1,6	5,4	F-A-L
Gr-12	35,1	33,7	27,9	0,4	0,3	0,2	0,7	1,6	F-A-L
Gr-13	41,3	12,4	39,7	3,2	2,1	0,6	0,4	0,4	A-L
Gr-14	34,0	26,2	29,2	7,2	2,3	0,5	0,4	0,2	F-A-L
Gr-15	47,8	25,5	22,7	1,9	1,2	0,3	0,3	0,3	A-L
Gr-16	46,4	36,5	9,7	3,9	2,1	0,7	0,4	0,3	A-L
Gr-17	41,8	7,5	41,3	5,2	2,8	0,7	0,5	0,3	A-L
Gr-18	24,4	5,4	38,1	13,2	14,6	2,8	0,9	0,7	F
Gr-19	38,7	7,6	41,4	6,6	3,7	0,9	0,7	0,5	F-A-L
Gr-20	44,0	17,1	31,6	3,8	1,6	0,7	0,4	0,8	A-L
Gr-21	17,2	21,7	35,4	14,8	8,8	1,3	0,5	0,2	F-L
Gr-22	27,4	20,7	38,8	3,2	7,0	2,0	0,5	0,3	F-L
Gr-23	16,2	19,8	43,2	13,6	5,4	1,2	0,3	0,2	F-L
Gr-24	18,7	20,3	37,8	13,2	8,1	1,2	0,5	0,3	F-L
Gr-25	18,8	10,8	34,8	12,8	20,8	1,7	0,3	0,1	F
Gr-26	18,0	21,7	24,7	14,3	17,3	3,4	0,4	0,2	F

Arena 1 (50-100 μ), Arena 2 (100-250 μ), Arena 3 (250-500 μ), Arena 4 (500-1000 μ), Arena 5 (1000-2000 μ), en %.

Clase textural: A-L: Arcillo limosa; F-A: Franco arcillosa; F-A-L: Franco arcillo-limosa; F: Franca; F-L: Franco limos

La arcilla y el limo grueso son las dos fracciones predominantes, como ponen de manifiesto los datos obtenidos en el análisis granulométrico de los suelos.

El contenido medio de arcilla es de 32,5 % y la desviación típica es del 10,4. El valor mínimo (16,2) aparece en la muestra nº 17 donde la fracción limo es la mayoritaria con un 63 %. El valor máximo es de 47,8 % y corresponde a la muestra nº 15, donde hay también un 48,2% de limo, por lo tanto, se trata de una clase textural arcillo limosa.

El contenido medio en limo grueso es de 29,8 y la desviación típica es de 9,8. El valor mínimo encontrado es de 9,7, en la muestra nº 16 que tiene un alto contenido en arcilla (46,4 %) y el máximo es de 43,2 %, en la muestra nº 23.

El valor medio de limo fino es de 22,7 % y su desviación típica es de 9,5. El mínimo es de 5,4 %, mientras que el máximo es del 38,5 %. La muestra nº 12 es la que menos contenido en limo fino tiene aunque tiene una textura compensada, ya que posee un 24,4 % de arcilla, 43,5 % de limo y un 32,2 % de arena, mientras que la muestra nº 8 es la de mayor contenido en limo fino.

La fracción arena se ha subdividido en 5 subfracciones, atendiendo al tamaño de grano. La arena de las clases 1 y 2 es la que predomina en estos suelos, mientras que las otras clases son poco significativas. La arena 2 (100-250 μ) representa un contenido medio en el suelo de 5,2 %, con un máximo de 20,8, en la muestra nº 25, próxima al río Segura. Este hecho parece repetirse en todas las muestras más cercanas al río, ya que tienen mayores contenidos en arena que las más alejadas del cauce. Todo esto puede ser debido a que las arenas tienen un tamaño de partícula mayor que el limo y las arcillas y por eso sedimentan antes cuando se producen las avenidas, quedando más cerca del lecho. En el siguiente gráfico (Gráfico 4.2) se representa la distribución de las distintas fracciones granulométricas analizadas. En los mapas 8, 9 y 10 de los anexos aparece la distribución de la arcilla, limo y arena en la zona de estudio.

Las clases texturales son predominantemente limosas, por lo que los suelos presentan un drenaje limitado, mala aireación, baja porosidad y reserva hídrica en zonas secas y susceptibilidad de hidromorfía en zonas húmedas (Cobertera, 1993). Sin embargo, los mejores suelos desde el punto de vista agronómico son los que tienen textura franca, ya que favorece todos los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el suelo y permite el aumento de las concentraciones estables de los iones nutritivos, de agua y aire, favoreciendo el desarrollo de la vegetación. Los suelos con texturas arcillosas se

caracterizan por una elevada capacidad de intercambio catiónico y, en general, tienen deficientes propiedades físicas.

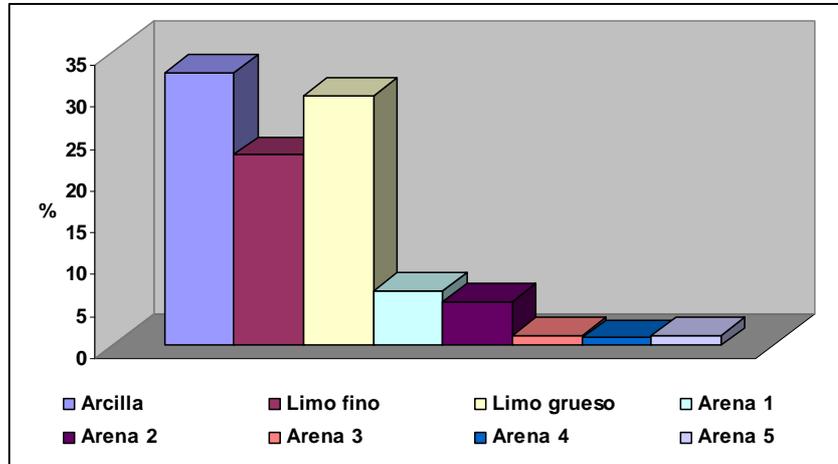
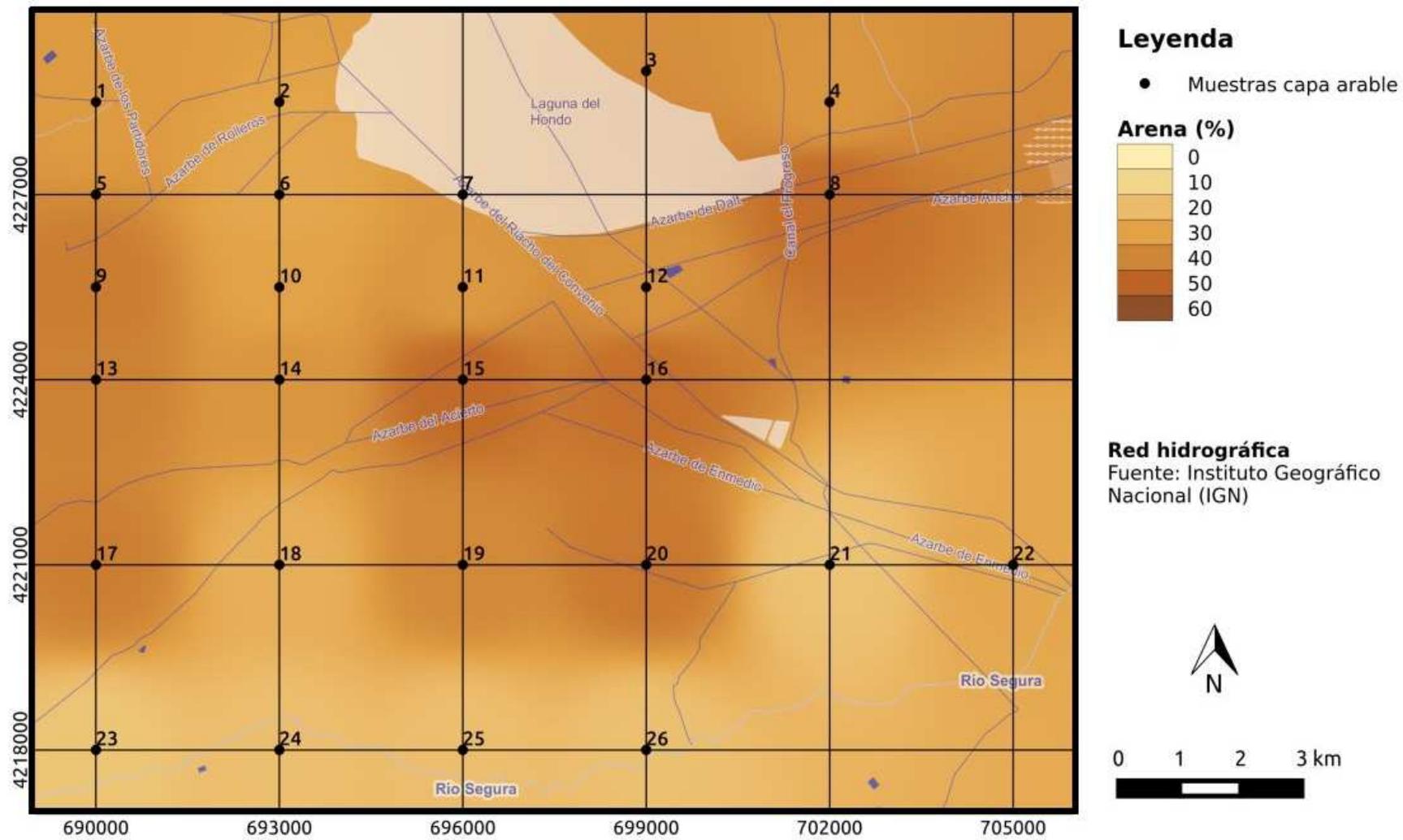
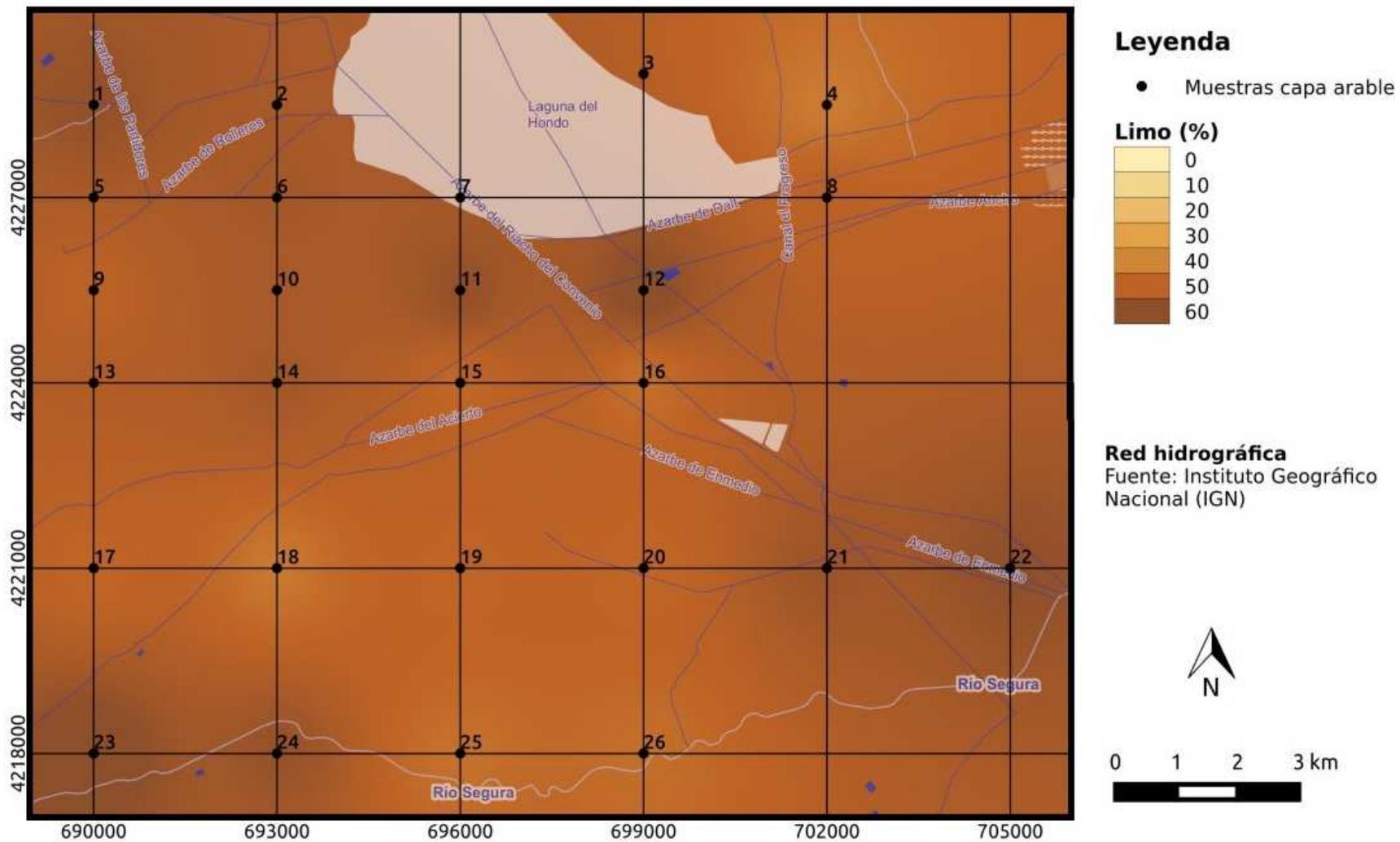


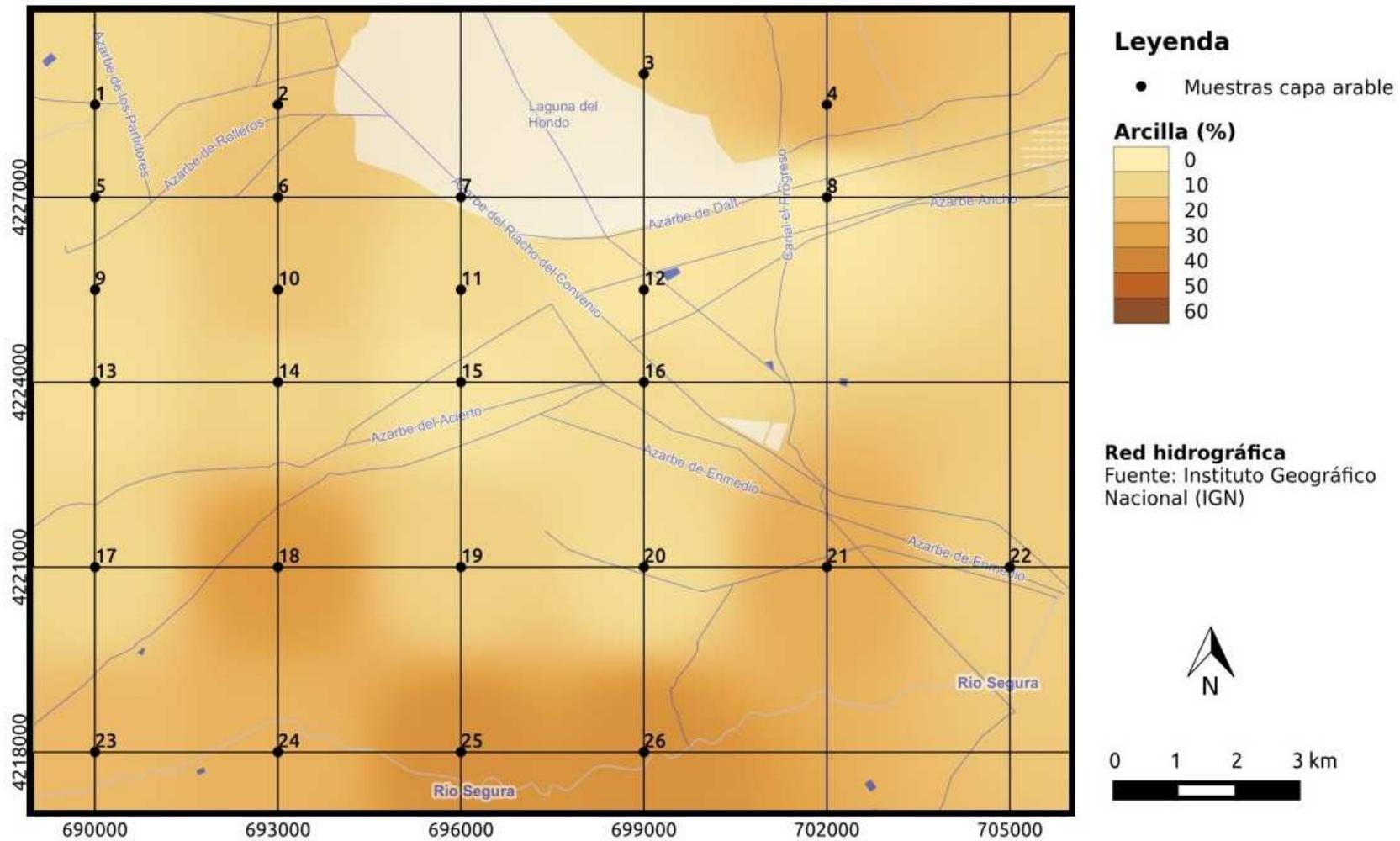
Gráfico 4.2. Distribución de las distintas fracciones granulométrica



Mapa 8. Arena



Mapa 9. Limo



Mapa 10. Arcilla

5. DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE SALES.

La salinización de los suelos es tal vez uno de los problemas más preocupantes para la agricultura. Según FAO/UNESCO, el área total de suelos con sales se estima en 397 millones de ha y la de suelos sódicos en 434 millones de ha, incluyendo zonas agrícolas y no agrícolas. Se calcula que sobre los actuales 230 millones de ha de áreas irrigadas, 45 millones están afectadas por salinidad (19,5%). De los casi 1.500 millones ha con agricultura de secano, 32 millones están afectadas en diferente grado por exceso de sales (2,1%). El exceso de sales se estima que afecta de 1 a 3 millones de hectáreas en la Unión Europea y países candidatos, principalmente en la zona mediterránea y es una de las causas principales de desertificación. En España el 3% de los 3,5 millones de ha de zonas irrigadas está severamente afectado, lo que reduce su potencial agrícola, con otro 15 % bajo riesgo (Álvarez, 2010).

Los suelos salinos, según Grande Covian (1956), son aquellos suelos formados en clima árido o semiárido, de mal drenaje natural y que han recibido o están recibiendo, tanto en las soluciones del suelo como en el complejo adsorbente, un exceso de sales que impiden o dificultan el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Para la FAO (1988), los suelos salinos están caracterizados por una acumulación de sales más solubles que el yeso, tan elevada que interfiere en el correcto crecimiento de las plantas no especializadas.

Las sales del suelo son la base de la fertilidad del mismo, ya que actúan como nutrientes, pero cuando la concentración de éstas supera un cierto umbral comienzan a parecer en el suelo serios problemas que no sólo afectan al propio suelo sino también a la vegetación existente en él.

La formación y la evolución de estos suelos va a depender de la naturaleza y concentración de las sales, y tendrán consecuencias en las propiedades físicas del suelo (Richards, 1974; Shainberg, 1975), en su toxicidad y en el posible desequilibrio nutricional que se pueda producir en las plantas que se instalan en este tipo de suelos (Pizarro, 1985; Porta *et al.*, 2003).

A su vez, es fundamental conocer la composición salina de cada una de las muestras, ya que a la hora de hablar de salinización no sólo es importante conocer la concentración de sales sino también su tipología, por el distinto efecto sobre las propiedades físicas del suelo, la toxicidad y el desequilibrio de nutrientes que pueden provocar para las plantas (Grattan y Grieve, 1992; Porta *et al.*, 2003).

5.1. Efecto de la salinidad sobre el suelo y las plantas

La acumulación de sales en el suelo afecta principalmente a la estructura de éste, que puede degradarse si hay elevadas concentraciones de sodio en el complejo de cambio. Esto puede estar influido, entre otros factores, por el uso de aguas de riego salinas y por el empleo de fertilizantes que son un aporte de sales para el suelo

Elevados contenidos de Na^+ en la solución del suelo provoca su adsorción en el complejo de cambio y, por tanto, una sustitución de otros cationes como el Ca^{+2} y Mg^{+2} . Esto da lugar a un aumento del espesor de la doble capa difusa, efectos de repulsión entre los coloides, dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Por tanto, hay una pérdida de estructura en el suelo como consecuencia de la destrucción de los agregados estructurales, de la pérdida de la materia orgánica y de las propiedades que ésta puede aportar al suelo, entre ellas de fertilidad. Además de una disminución de la permeabilidad, encharcamiento, falta de aireación y dificultad de enraizamiento de las plantas.



Foto 35. Acumulación de sales en el suelo

También en suelos con abundante Na^+ suele haber problemas de alcalinidad, que pueden afectar a múltiples reacciones que ocurren en el suelo, así como a la movilización de los elementos nutritivos de éste.

Las plantas que se desarrollan sobre suelos salinos van a tener muchos problemas para poder sobrevivir en esos ecosistemas tan peculiares. Los efectos de la salinidad sobre las plantas van a ser principalmente de dos tipos: osmótico y toxicidad.

El efecto osmótico se debe fundamentalmente al aumento del potencial osmótico que se produce como consecuencia del incremento de la concentración de sales, lo que provoca que la planta tenga más dificultades para poder absorber el agua, ya que aunque exista agua en el suelo está en forma no disponible para las plantas. Esto es lo que se conoce como estrés hídrico.

Algunos iones absorbidos en excesiva cantidad por las plantas producen efectos tóxicos, aún cuando la concentración de esos iones en el suelo sea inferior a la necesaria para causar perjuicios por el efecto osmótico. Los iones absorbidos son transportados a las hojas, acumulándose en las zonas de transpiración más intensa, por lo general en los bordes y en las puntas de las hojas (Fuentes, 1999). Los iones que más frecuentemente causan problemas de toxicidad son el boro, cloro y sodio. Los síntomas de toxicidad por estos elementos se manifiestan en un principio como quemaduras en las hojas y posteriormente con una disminución del crecimiento y desarrollo.

En plantas no halófitas la presencia de sales en el suelo provoca una sintomatología relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento (Porta *et al.*, 2003):

- Un retardo en la nascencia, que con salinidades elevadas puede no tener lugar.
- Una menor área foliar y talla de la planta: el crecimiento es más lento y no llega a ser completo.
- Menor producción de materia seca.
- Quemaduras en los bordes de las hojas: necrosis.
- Hojas de un color verde más oscuro que en plantas normales. En algunas gramíneas y en crucíferas puede aparecer una capa engrosada de cera superficial que puede dar una impronta verde-grisácea (Bresler, 1981).
- Disminución de los rendimientos de los cultivos.
- Muerte de la planta antes de completar su desarrollo, si las condiciones son extremas.

Con este capítulo lo que pretendemos es analizar la evolución temporal y espacial, que ha experimentado la CE, iones del extracto de saturación y RAS a lo largo de los años de estudio (2002-2006). Para ello, de cada una de las muestras se ha obtenido el extracto de pasta saturada donde hemos medido la CE, cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) y aniones (Cl^- , SO_4^{-2} y NO_3^-), y calculado el RAS, PSC y PSS, así como su grado salino. Para ello, se ha tenido en cuenta las categorías establecidas por el laboratorio de Salinidad de EEUU (Chhabra, 1996), que establece 5 categorías en función de la CE del extracto de saturación (Tabla.5.1)

Tabla.5.1. Grado salino del suelo en función de la CE

Clase	Categoría	CE
1	No salino	0-2 dS m ⁻¹
2	Ligeramente salino	2-4 dS m ⁻¹
3	Salinos	4-8 dS m ⁻¹
4	Fuertemente salino	8-16 dS m ⁻¹
5	Extremadamente salino	+ 16 dS m ⁻¹

5.2. Conductividad eléctrica de capa arable

Una forma simple y suficiente a muchos efectos es expresar la salinidad de una solución por medio de su conductividad eléctrica. Una solución conduce la electricidad tanto mejor cuanto mayor sea su concentración de sales. Esta propiedad se aprovecha para medir la salinidad en términos de conductividad eléctrica, pero al depender de la temperatura se estandariza a 25° C (Andrades, 1996). La preparación del extracto de saturación permite integrar el efecto de la textura, ya que está relacionada con la cantidad de agua añadida para preparar la pasta saturada, con lo que se reproducen mejor las condiciones de salinidad del suelo en el campo (Porta *et al.*, 2014).

En la Tabla 5.2. se muestran los valores de conductividad eléctrica obtenidos a partir del extracto de saturación a 25° C en los años 2002, 2004 y 2006, y a las dos profundidades muestreadas.

Con los datos obtenidos a lo largo de los tres muestreos se ha realizado un tratamiento estadístico con SPSS 19, para poder analizar si había diferencias significativas espaciales y temporales a lo largo del periodo de estudio. Las variaciones espaciales se han estudiado a partir de las muestras de capa arable obtenidas a dos profundidades, mientras que para el estudio de los cambios temporales se ha seleccionado el valor más elevado, indistintamente se trate de la muestra de superficie o de profundidad en cada punto.

La salinidad edáfica es variable en el espacio y en el tiempo, especialmente en las zonas de regadío, donde la dinámica depende fundamentalmente del manejo del agua y del suelo (calidad del agua de riego, dosis y tipo de riego, condiciones de drenaje, laboreo y prácticas de cultivo, etc.). No obstante, factores climáticos como la evapotranspiración, cantidad y distribución de la precipitación, y especialmente la ocurrencia ocasional de lluvias torrenciales e inundaciones afecta también de forma significativa la distribución espacial y temporal de la salinidad (Amezqueta, 2005).

En la Tabla 5.3 aparecen los estadísticos principales analizados en cada uno de los muestreos, que nos han servido para tomar la decisión de hacer un tratamiento estadístico de las muestras en función del tipo de suelo: Fluvisoles y Solonchaks.

Tabla 5.3. Estadísticos descriptivos de la conductividad eléctrica

	2002	2004	2006
N	26	26	26
Rango	50,47	56,23	54,82
Mínimo	2,11	1,67	2,18
Máximo	52,58	57,90	57,00
Media	8,98	9,29	10,03
Mediana	4,73	5,19	4,50
Desv. Típica	12,41	12,55	14,43
Varianza	154,02	157,47	208,45

Como se desprende de la tabla anterior, la CE media aumenta aparentemente durante el periodo de estudio, aunque la desviación típica, rango y varianza nos muestran que existe una dispersión muy importante en los datos de este parámetro, lo que nos induce a pensar que el conjunto de nuestros datos no sigue una distribución normal.

Al realizar el test de Shapiro-Wilk para comprobar si los datos siguen una distribución normal vemos que ninguno de los tres muestreos sigue este tipo de distribución ya que $P < 0,05$.

Tras analizar los diagramas de cajas obtenidos (Fig. 5.1) observamos que los valores de CE de las muestras 7,3,2, aparecen como discordantes en todos los muestreos y la muestra 5 en el 2002. Precisamente estas muestras corresponden a los suelos catalogados como Solonchaks, que son los que mayores valores de CE presentan.

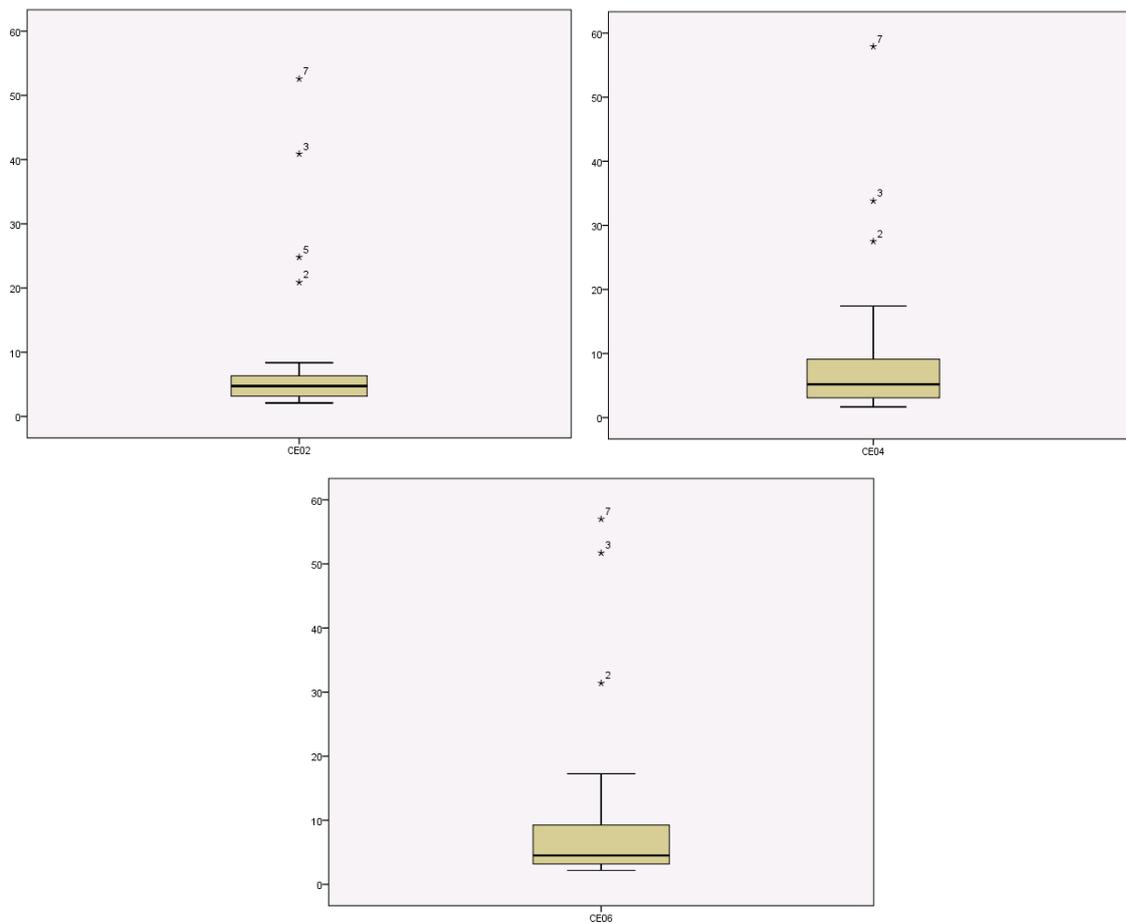


Figura 5.1. Diagramas de cajas CE 2002, 2004 y 2006

Tabla 5.3. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹) 2002, 2004 y 2006

Muestra	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
G-1	4,52	5,23	2,40	6,12	9,34	9,66
G-2	13,45	20,90	9,70	27,5	28,90	31,4
G-3	31,20	40,89	33,80	31,10	29,20	51,70
G-4	3,25	4,10	0,60	5,78	6,23	4,14
G-5	24,80	12,49	17,40	11,33	15,41	17,26
G-6	2,50	5,10	1,30	9,15	2,04	4,35
G-7	42,34	52,58	11,50	57,9	39,02	57,00
G-8	6,34	3,79	3,65	7,96	4,90	3,10
G-9	2,48	1,44	2,55	3,24	1,95	2,18
G-10	2,96	3,35	5,08	3,05	9,25	5,36
G-11	4,55	3,59	1,50	7,00	2,70	4,75
G-12	3,03	6,49	5,63	9,23	12,16	9,25
G-13	2,95	8,37	3,77	3,84	1,82	4,75
G-14	1,90	2,77	5,55	2,22	2,95	3,18
G-15	4,61	3,62	2,32	3,77	2,82	2,90
G-16	4,86	1,24	1,03	2,61	4,13	2,82
G-17	5,13	2,55	1,86	2,00	2,53	2,32
G-18	4,56	5,90	1,98	1,48	2,35	4,66
G-19	3,39	3,18	3,20	3,48	2,49	4,70
G-20	2,29	2,20	5,31	3,21	2,90	2,31
G-21	2,71	2,86	4,36	3,54	3,97	3,85
G-22	5,32	3,14	9,10	4,46	3,30	2,95
G-23	3,30	1,32	2,11	2,75	1,86	2,69
G-24	2,68	2,12	1,67	1,22	3,95	4,29
G-25	2,20	3,16	2,86	3,08	2,38	2,58
G-26	2,11	1,05	1,62	1,99	2,28	3,49

Tras analizar los resultados se decide hacer una estadística separando los dos tipos de suelos estudiados, Fluvisoles y Solonchaks, ya que van a representar a poblaciones más homogéneas y sus datos se ajustan a una distribución normal, lo que nos va a permitir aplicar el test de la T de Student, sin asumir homogeneidad en las varianzas, para comprobar que, atendiendo a la CE, existen diferencias significativas entre los dos grupos (P=0,040).

5.2.1. Conductividad eléctrica 2002.

Al analizar los resultados obtenidos (Tabla 5.4), se observa que todas las muestras sobrepasan el valor crítico de 2 dS m^{-1} . La CE media en los Solonchaks es de $28,88 \text{ dS m}^{-1}$ y en los Fluvisoles de $4,24 \text{ dS m}^{-1}$

Tabla 5.4. Estadísticos descriptivos de la CE 2002

	Sin diferenciar tipo de suelo	Solonchaks	Fluvisoles
N	26	5	21
Rango	50,47	47,35	6,26
Mínimo	2,11	5,23	2,11
Máximo	52,58	52,58	8,37
Media	8,98	28,88	4,24
Mediana	4,73	24,80	4,10
Desv. Típica	12,41	18,34	1,64
Varianza	154,02	336,39	2,70

Como podemos observar los datos de CE en Solonchaks presentan un rango de CE bastante alto, debido a que la CE va desde $5,23 \text{ dS m}^{-1}$ hasta $52,58 \text{ dS m}^{-1}$. Por ello, los datos de desviación típica y varianza que aparecen también son elevados. Es de esperar que en los siguientes muestreos también lo sean porque dentro de este grupo de suelos se encuentran aquellos que poseen conductividades eléctricas mayores de 15 dS m^{-1} . Las muestras nº1 posee una CE de $5,23 \text{ dS m}^{-1}$ y se ha incluido dentro del grupo de

los Solonchaks ya que cumple con una de las condiciones: $CE > 15$ o $CE \geq 8$ y $pH > 8,5$ y el producto del espesor en cm por la CE en $dS\ m^{-1}$ debe ser mayor o igual a 450.

En los Fluvisoles la CE media es de $4,24\ dS\ m^{-1}$ y la mediana $4,10$, lo que demuestra que los datos son bastante homogéneos, como podemos apreciar en la desviación típica y varianza. Aunque en el diagrama de cajas (Fig. 5.2) no aparecen valores discordantes si hay que destacar que el valor máximo de CE se da en la muestra nº 13 ($8,37\ dS\ m^{-1}$) y el menor en la nº 26 con $2,11\ dS\ m^{-1}$. Las muestras que presentan los valores de CE más bajos son las nº 20, 9, 24 y 14.

No existen valores discordantes en las poblaciones de Solonchaks y Fluvisoles (Fig. 5.2) y siguen una distribución normal ya que $P > 0,05$.

Los valores máximos de salinidad se observan en el extremo septentrional de la zona seleccionada, próximos a la Laguna del Hondo y San Felipe de Neri, como era de esperar por ser áreas halomorfás. Mientras los mínimos se observan en el extremo meridional de la zona estudiada como muestra el mapa de CE 2002.

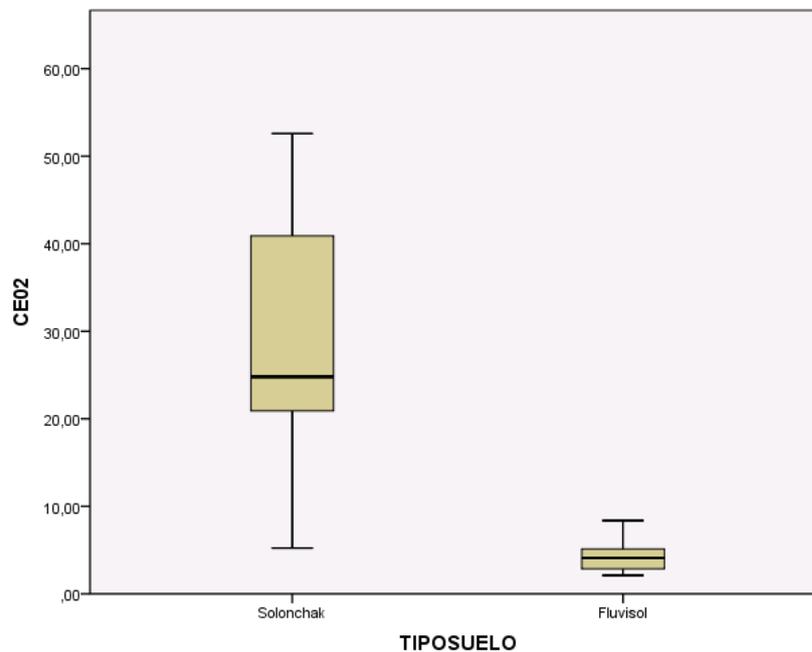


Fig. 5.2. Diagrama de cajas CE 2002 Solonchaks y Fluvisoles

Atendiendo a la CE, los suelos predominantes son salinos (50%) seguidos por los ligeramente salinos (31%), extremadamente salinos (15%) y fuertemente salinos (4%), según se puede apreciar en el siguiente gráfico.

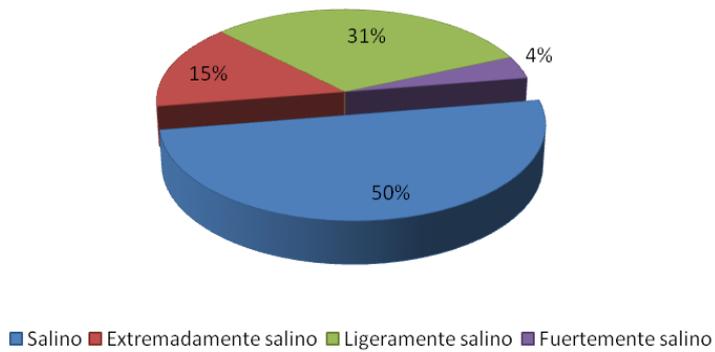
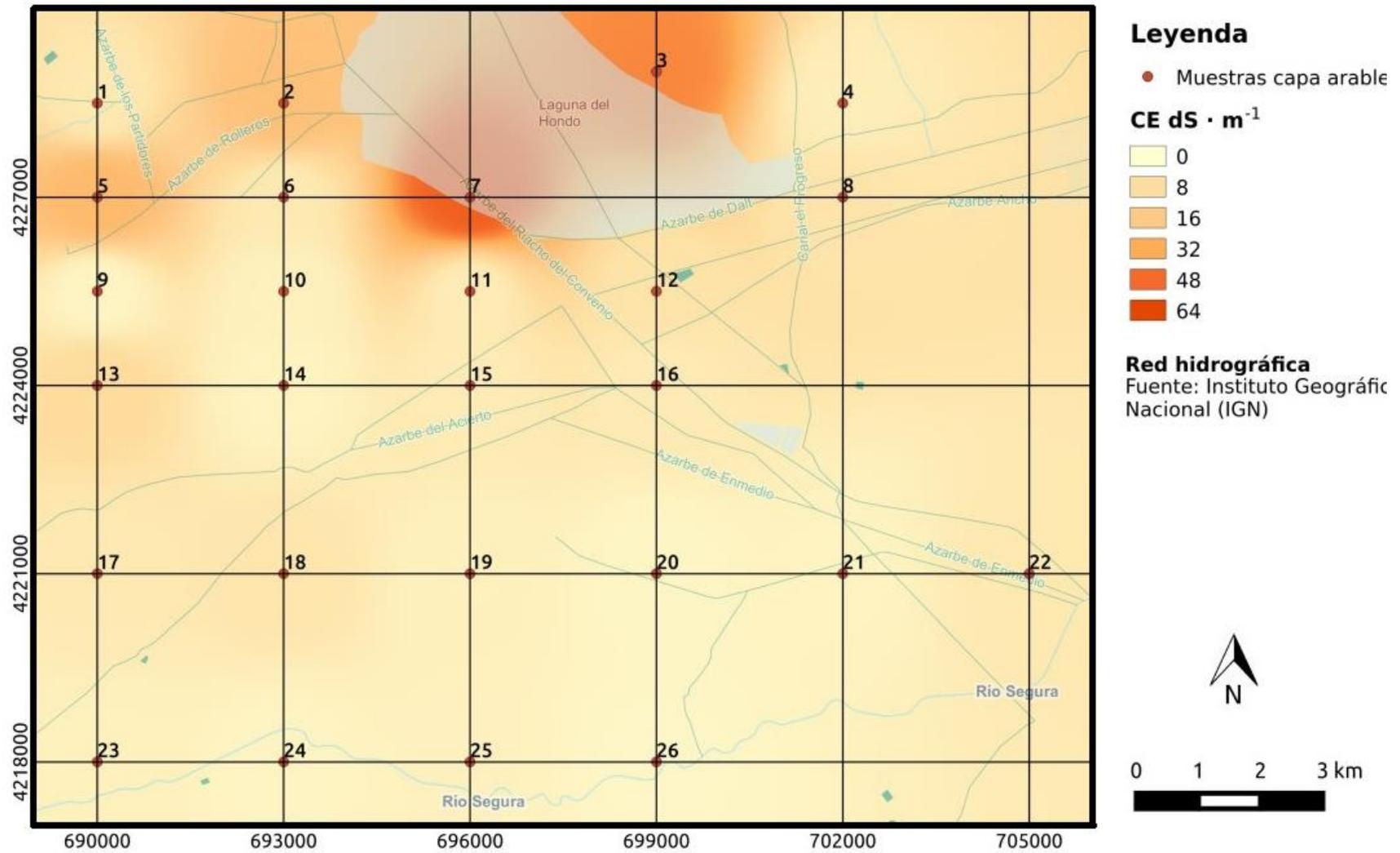


Gráfico 5.1. Grado salino 2002



Mapa 11. Conductividad capa arable 2002

5.2.2. Conductividad eléctrica 2004

La CE media en los Fluvisoles es de 4,71 dS m⁻¹, siendo el valor mínimo encontrado de 1,67 dS m⁻¹ (muestra n° 24) y el valor máximo de 9,23 dS m⁻¹ (muestra n° 12). Las muestras que poseen menor CE son n° 24, 18, 26 y 17, y hay que destacar que en este muestreo hay un aumento en el número de muestras que presentan valores de CE menores de 2 dS m⁻¹. Esto provoca que los datos tengan una mayor variabilidad con respecto al muestreo del 2002, como podemos deducir en la varianza y desviación típica. Como se observa en el Mapa 12 las muestras próximas a la zona delimitada como salina han sufrido un ligero incremento de la CE.

Los Solonchaks tienen una CE media de 28,54 dS m⁻¹, siendo 57,90 dS m⁻¹ el valor más alto de CE que encontramos en la muestra n° 7 y 6,12 dS m⁻¹ la CE más baja que encontramos en la muestra n° 1, por lo que la varianza y desviación típica son elevadas.

Tabla 5.5. Estadísticos descriptivos de la CE 2004

	Sin diferenciar tipo de suelo	Solonchaks	Fluvisoles
N	26	5	21
Rango	56,23	51,78	7,56
Mínimo	1,67	6,12	1,67
Máximo	57,90	57,90	9,23
Media	9,29	28,54	4,71
Mediana	5,19	27,50	3,84
Desv. Típica	12,55	19,48	2,50
Varianza	157,47	379,38	6,27

Como se observa en la figura 5.3 no existen valores discordantes en los Solonchaks, mientras que en Fluvisoles la muestra n° 12 aparece como discordante, ya que posee la CE más elevada de todos los Fluvisoles, aún así las dos poblaciones siguen una distribución normal ya que $P > 0,05$ (Fig. 5.3).

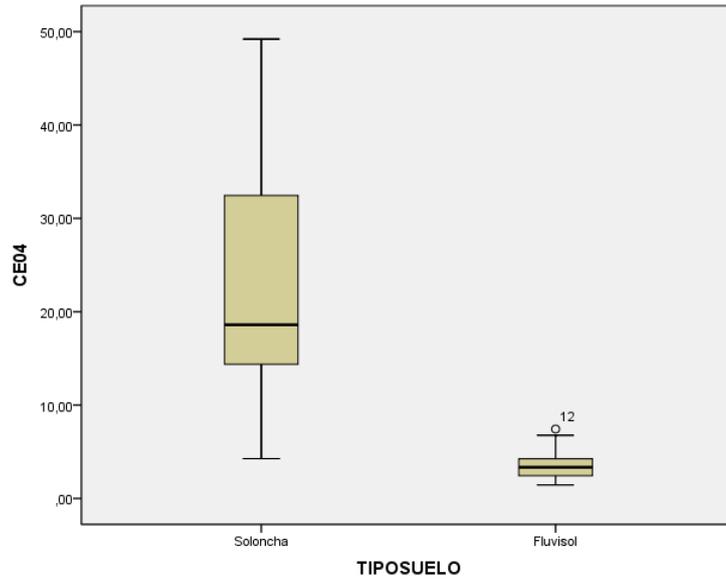


Figura. 5.3. Diagrama de cajas CE 2004

Si hacemos una clasificación de los suelos en función de la CE, vemos que los ligeramente salinos (39%) y salinos (27%) son los predominantes frente a los denominados extremadamente y fuertemente salinos (15%) y no salinos (4%).

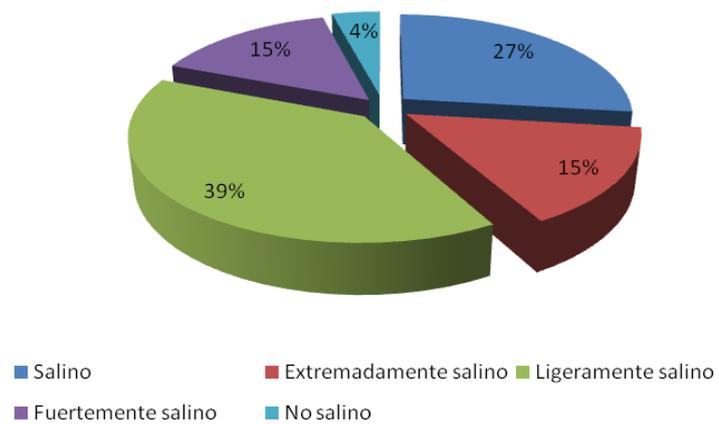
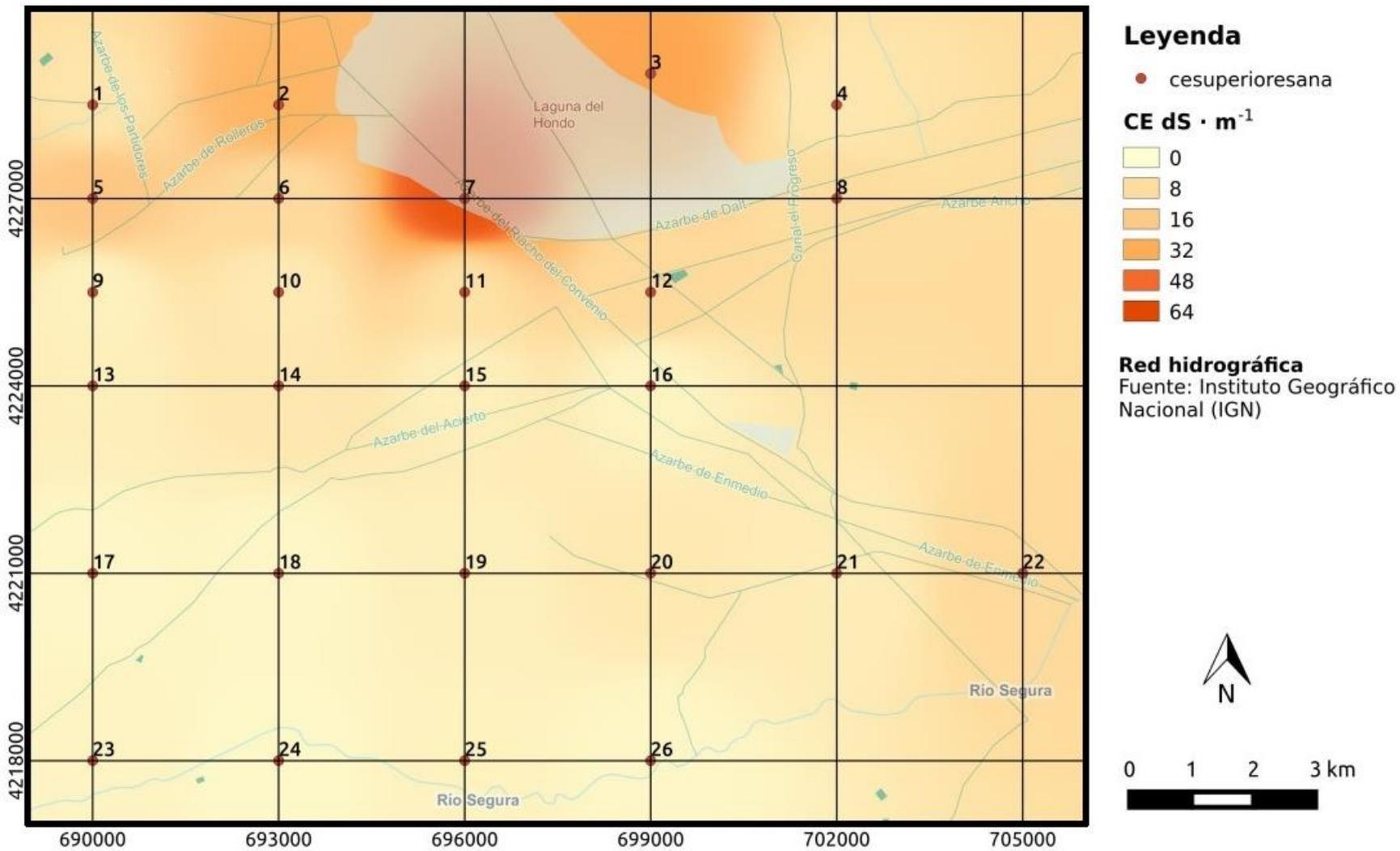


Gráfico 5.2. Grado salino 2004



Mapa 12. Conductividad capa arable 2004

5.2.3. Conductividad eléctrica 2006

En el muestreo realizado en 2006, los Solonchaks evidencian un aumento de la CE media con respecto a los muestreos anteriores al pasar de valores de CE media de 28 dS m⁻¹ a 33,40 dS m⁻¹. El valor máximo de CE sigue estando en la muestra n° 7 (57,00 dS m⁻¹), situada junto a la Laguna del Hondo y el valor mínimo es de 9,66, que encontramos en la muestra n°1.

Tabla 5.6. Estadísticos descriptivos de la CE 2006

	Sin diferenciar tipo de suelo	Solonchaks	Fluvisoles
N	26	5	21
Rango	44,82	47,34	9,98
Mínimo	2,18	9,66	2,18
Máximo	57,00	57,00	12,16
Media	10,03	33,40	4,47
Mediana	4,50	31,40	4,13
Desv. Típica	14,43	20,74	2,35
Varianza	208,45	429,98	5,53

En Fluvisoles, la CE media del 2006 (4,47 dS m⁻¹) presenta un valor intermedio entre los valores obtenidos en años anteriores, 4,24 dS m⁻¹ en 2002 y 4,71 dS m⁻¹ en 2004. El valor máximo que encontramos es de 12,16 dS m⁻¹ y el mínimo de 2,18 dS m⁻¹. Los valores de CE más bajos aparecen en las muestras n° 9, 17, 23 y 20, y como muestras discordantes por su elevada CE (Fig. 5.4) tenemos la 12 y 10, con 12,16 dS m⁻¹ y 9,25 dS m⁻¹, respectivamente. Analizando los datos de CE de años anteriores se observa un incremento en la CE de estos dos puntos de muestreo, sobre todo en la muestra n° 10 que pasa de tener una CE de 3,35 dS m⁻¹ en 2002 a 9,25 dS m⁻¹ en 2006.

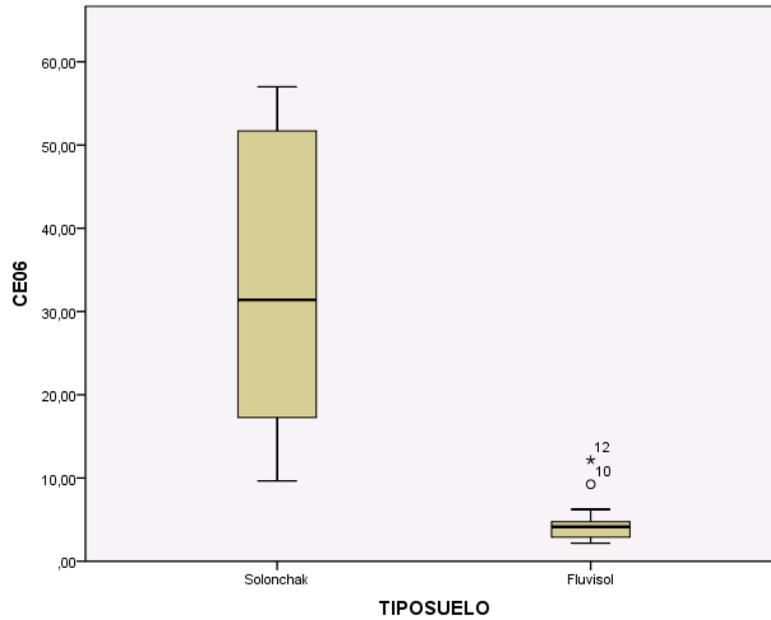


Figura. 5.4. Diagrama de cajas CE 2006

En cuanto a su clasificación, los suelos salinos (39%) y ligeramente salinos (35%) van a ser los que van a predominar en la zona, son aquellos que han sido catalogados como Fluvisoles, seguidos de los extremadamente salinos (15%) y fuertemente salinos (11%) que encontramos como Solonchaks.

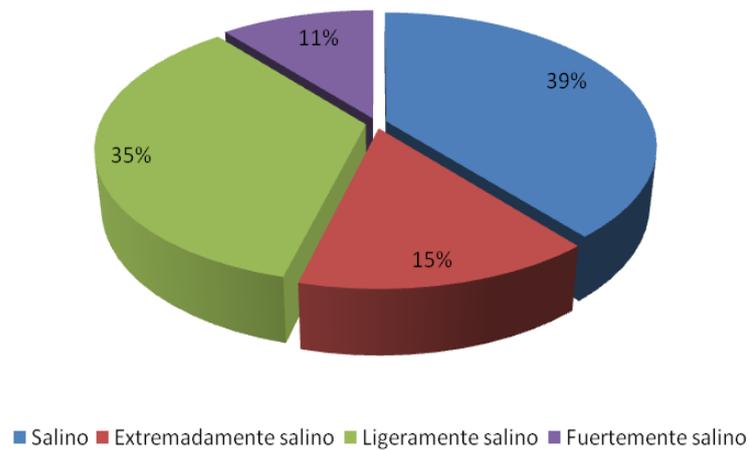
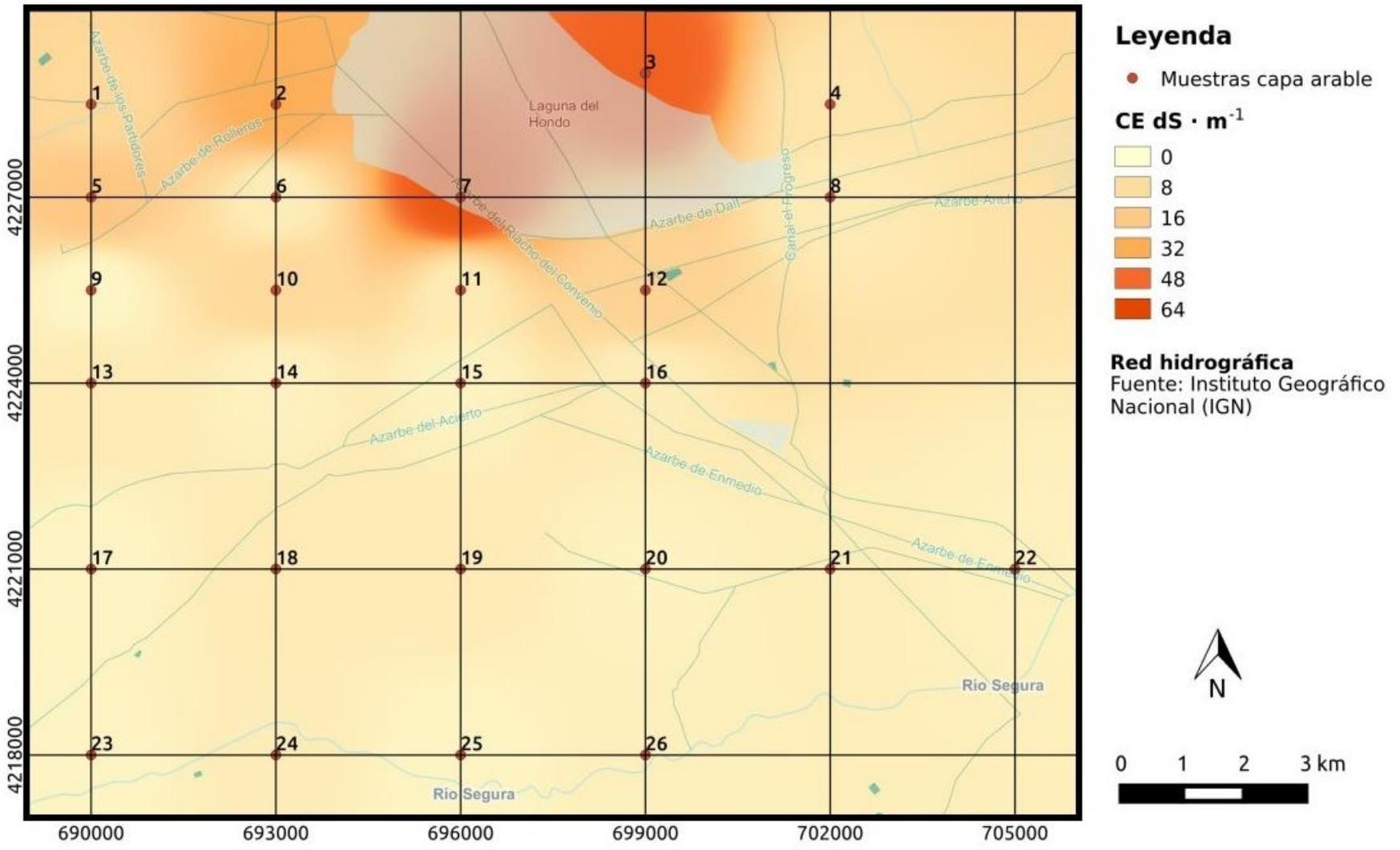


Gráfico 5.3. Grado salino



Mapa 13. Conductividad eléctrica capa arable 2006

5.2.4. Evolución espacial de la CE

Los procesos de salinización tienen lugar de forma natural en suelos con régimen de humedad ascensional, caracterizados por translocaciones capilares ascendentes a partir de una capa freática salina, lo que tiene lugar durante las épocas secas, mientras que durante las épocas húmedas se producen procesos de lavado. Si se toman las muestras a distintas profundidades y se mide la CE, al representar los valores de CE en función de la profundidad se obtiene el perfil salino del suelo, que será distinto según el momento del año en que se haya realizado el muestreo (Porta *et al.*, 2014).

En este apartado vamos a ver cómo se han distribuido las sales a lo largo del perfil del en los 3 muestreos realizados para evidenciar si existen o no ver diferencias significativas en los valores de CE en función de la profundidad. Las Tablas 5.7 y 5.8 expresan los valores obtenidos tras aplicar una estadística descriptiva a la conductividad eléctrica de las muestras analizadas Fluvisoles y Solonchaks.

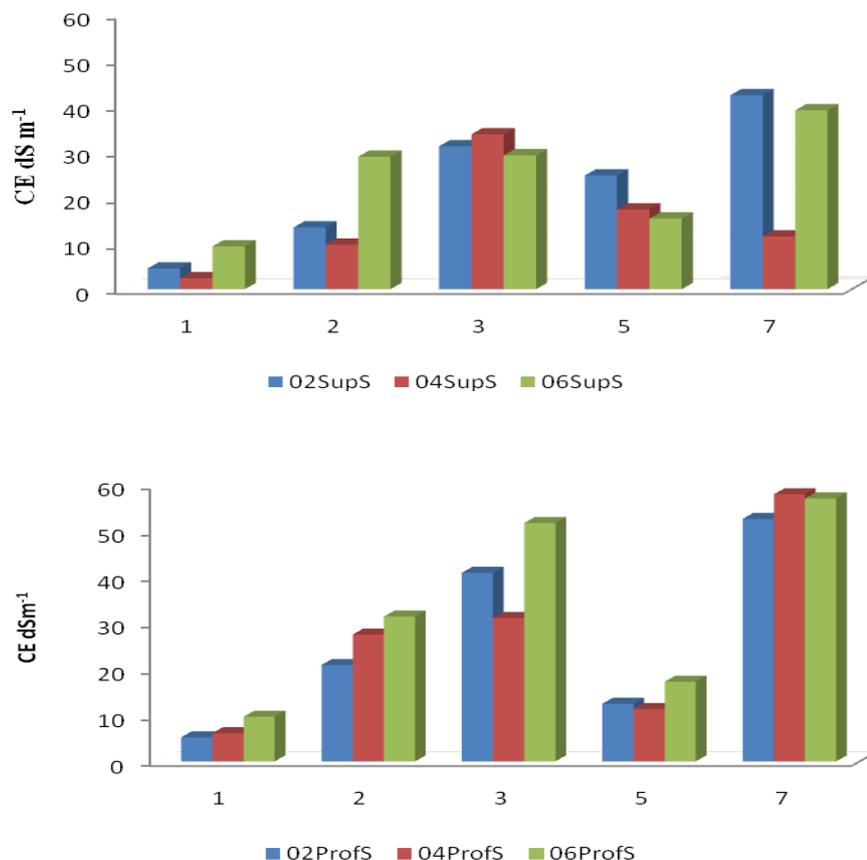


Gráfico 5.4 y 5.5. CE en superficie y profundidad en Solonchaks

Al analizar los datos (Tabla 5.7) se observa como la CE media superficial en el año 2002 (23,26 dS m⁻¹) y 2006 (24,37 dS m⁻¹) es similar y sin embargo, hay un descenso acusado en el 2004 (14,96 dS m⁻¹). Esto sucede en las muestras n°1, 2 y 7, mientras que la muestra n°3 es la única que tiene un valor más elevado de CE en 2004, como podemos observar en el Gráfico 5.4. La disminución de la CE superficial en 2004 puede ser debida a las lluvias caídas en días previos al muestreo realizado, lo que hace pensar en la existencia de un lavado de sales desde los horizontes más superficiales.

En profundidad, la CE 2002 y 2004 es muy semejante y el cambio más notable se observa en el año 2006, hemos pasado de tener una CE entorno a 24 dS m⁻¹ en años anteriores a 33,40 dS m⁻¹. Destaca que hay una mayor variación en los valores de CE como viene reflejado en la desviación típica y varianza y que los valores más altos de CE se encuentran a una profundidad de 30 a 60 cm. Se observa un incremento de la CE en todas las muestras en el periodo comprendido entre 2002 y 2006 como podemos apreciar en el Gráfico 5.5

Cuando vemos el comportamiento de las sales en Fluvisoles (Tabla 5.8) no podemos decir que en superficie exista una tendencia a aumentar o disminuir a lo largo de todo el periodo de muestreo como se puede observar el Gráfico 5.6. La CE media no sufre grandes cambios siendo de 3,48 dS m⁻¹ (2002), 3,19 dS m⁻¹ (2004) y 3,83 dS m⁻¹ (2006) respectivamente. Durante el periodo de estudio (2002-2006) aumenta en las muestras n° 4, 10, 12 y 24, dedicadas a diversos cultivos, y desciende en la n° 8, 15, 17 y 18, donde hay tanto terrenos cultivados como en barbecho. Durante el 2004 destaca el incremento de CE con respecto a otros años en la muestra n° 14, 20 y 22, mientras que en el resto serán más bajos que en 2006 y es el año donde las muestras con CE menores de 2dS m⁻¹ aumentan en superficie, luego hace sospechar que las sales se van a acumular en horizontes inferiores.

En profundidad los mayores incrementos de CE se producen durante el año 2004, lo que hace pensar en que existe un lavado de sales a lo largo del perfil del suelo, que puede ser debido no sólo por el regadío de los terrenos de cultivo sino por las precipitaciones caídas en la zona, ya que las muestras fueron recogidas en el mismo periodo de tiempo, para evitar la variabilidad estacional. El rango de CE se ve que aumenta a lo largo de todo el periodo de estudio tanto en superficie como en

profundidad, lo que origina una mayor desviación de los datos con respecto a la media poblacional.

A la hora de analizar si existen diferencias significativas en la CE a lo largo del perfil del suelo, se observa que los Solonchaks siguen una distribución normal pero los Fluvisoles no, por tanto, vamos a utilizar una T de Student asumiendo varianzas iguales para los primeros y el test de U Mann-Whitney para los Fluvisoles.

Tras analizar los resultados obtenidos, vemos que no existen diferencias significativas entre superficie y profundidad para los Solonchaks y Fluvisoles a lo largo de los 3 muestreos, ya que en ambos test obtenemos niveles de significación mayores de 0,05, por tanto, no podemos afirmar que durante el periodo estudiado exista un flujo de sales ascendente o descendente que origine una concentración significativamente diferente en superficie o profundidad.

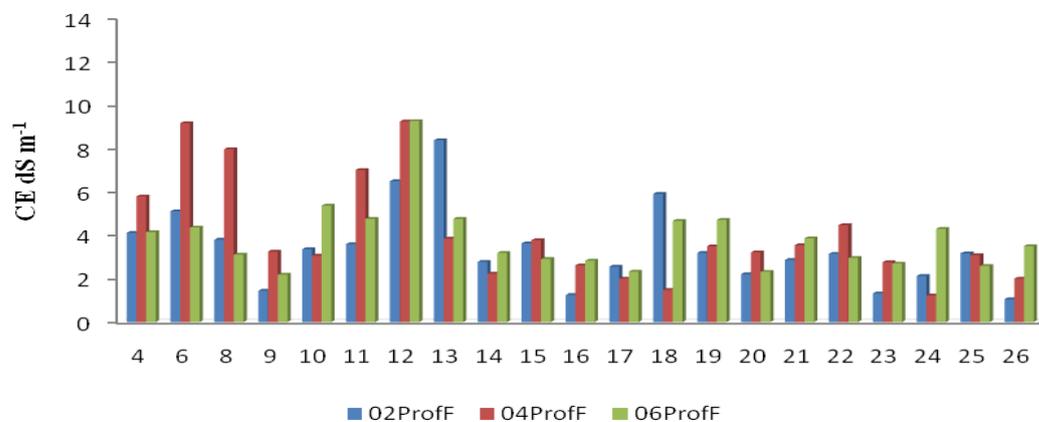
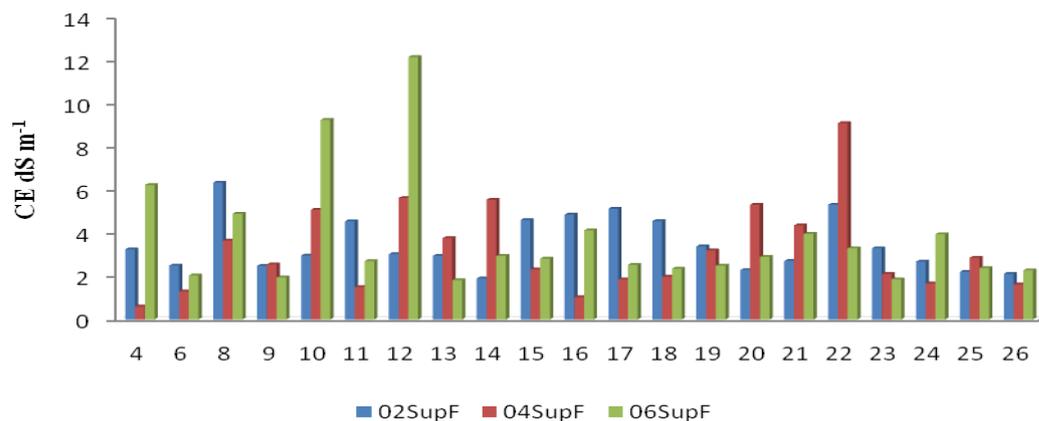


Gráfico 5.6 y 5.7. CE en superficie y profundidad en Fluvisoles

Tabla 5.7. Estadísticos descriptivos de la CE en superficie y profundidad en Solonchaks (n=5)

	2002		2004		2006	
	(0-30 cm)	(30-60 cm)	(0-30 cm)	(30-60 cm)	(0-30 cm)	(30-60 cm)
Rango	37,82	47,35	31,40	51,78	29,68	47,34
Mínimo	4,52	5,23	2,40	6,12	9,34	9,66
Máximo	42,34	52,58	33,80	57,90	39,02	57,00
Media	23,26	26,41	14,96	26,79	24,37	33,40
Mediana	24,80	20,90	11,50	27,50	28,90	31,40
Desv. Típica	14,80	19,79	11,81	20,32	11,88	20,73
Varianza	219,22	391,81	139,57	413,29	141,16	429,98

Tabla 5.8. Estadísticos descriptivos de la CE en superficie y profundidad en Fluvisoles (n=21)

	2002		2004		2006	
	(0-30 cm)	(30-60 cm)	(0-30 cm)	(30-60 cm)	(0-30 cm)	(30-60 cm)
Rango	4,44	7,32	8,50	8,01	10,34	7,07
Mínimo	1,90	1,05	0,60	1,22	1,82	2,18
Máximo	6,34	8,37	9,10	9,23	12,16	9,25
Media	3,48	3,39	3,19	4,05	3,76	3,83
Mediana	3,03	3,16	2,55	3,24	2,82	3,49
Desv. Típica	1,24	1,83	2,05	2,38	2,59	1,57
Varianza	1,56	3,35	4,23	5,70	6,73	2,46

5.2.5. Evolución temporal de la CE

Dado el elevado riesgo de salinización de los perímetros regados, resulta recomendable estudiar periódicamente si se encuentra en una situación de estrés de degradación por procesos de salinización. Para llevar a cabo un seguimiento (monitoreo) es necesario realizar medidas periódicas (cada tres o cinco años) de los contenidos de sales en puntos de control permanentes en el perímetro de riego en la misma época del año. (Porta *et al.*, 2014).

Ya que uno de nuestros objetivos era identificar las zonas con problemas de degradación por sales, se estableció un periodo de muestreo inicial de 4 años, realizando un seguimiento de la CE cada 2 años, que nos sirviera como base para estudios futuros de evolución de la salinidad y ver si hay cambios significativos a pequeñas escalas de tiempo en los distintos parámetros salinos.

Tabla 5.9. Estadísticos descriptivos de la CE durante el periodo de estudio

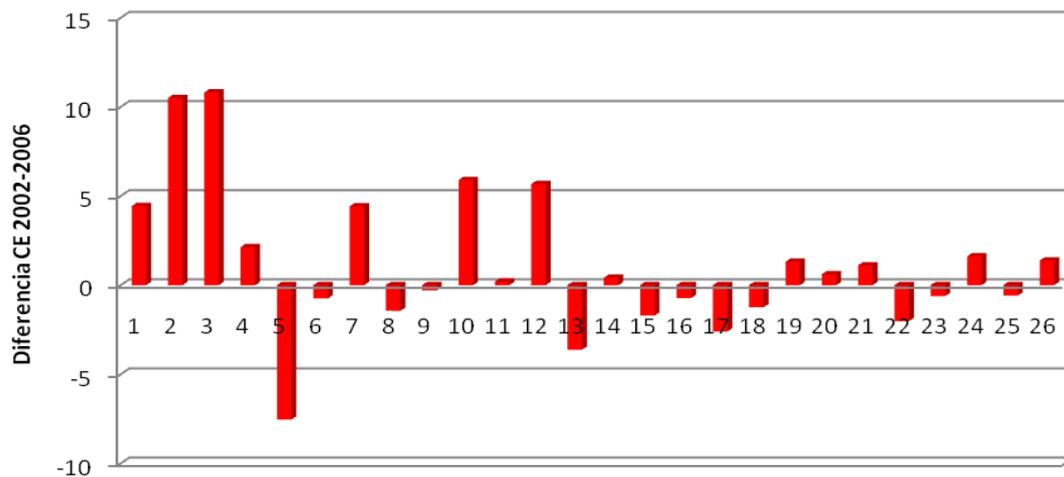
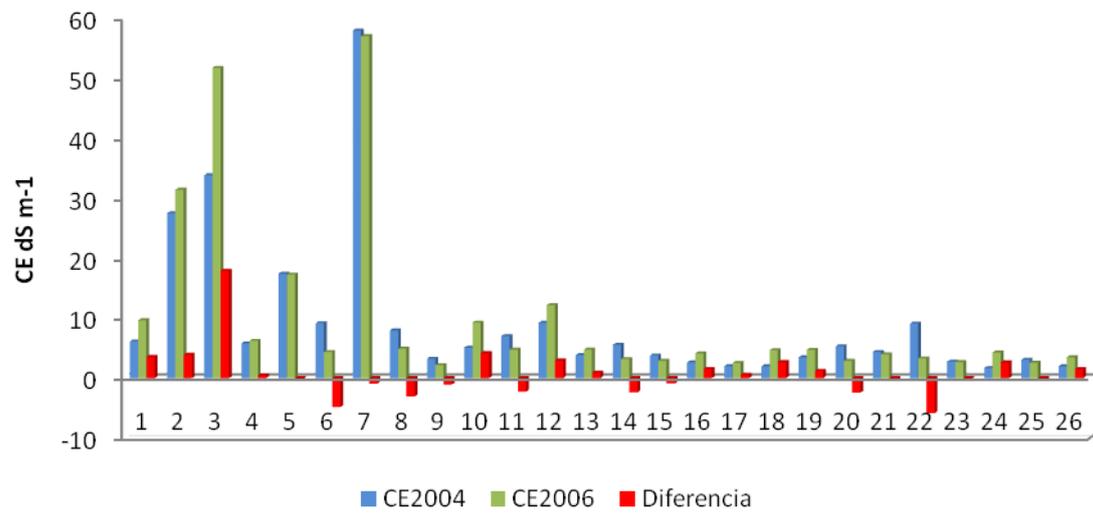
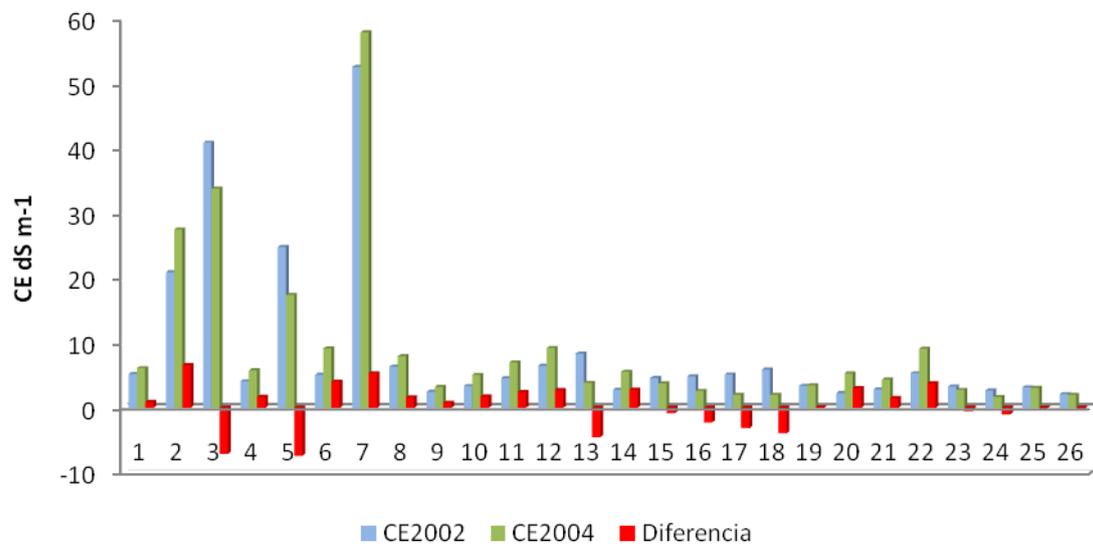
	Solonchaks			Fluvisoles		
	02	04	06	02	04	06
Rango	47,35	51,78	47,34	6,26	7,56	9,98
Mínimo	5,23	6,12	9,66	2,11	1,67	2,18
Máximo	52,58	57,90	57,00	8,37	9,23	12,16
Media	28,88	28,54	33,40	4,24	4,71	4,47
Mediana	24,80	27,50	31,40	4,10	3,84	4,13
Desv. Típica	18,34	19,48	20,74	1,64	2,50	2,35
Varianza	336,39	379,38	429,98	2,70	6,27	5,53

Como se puede observar en la Tabla 5.9 la CE media en los Solonchaks se ha incrementado $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ a lo largo del periodo de estudio, pasando de 28,88 a 33,40 dS m^{-1} , aunque dicho incremento no es significativo ya que el Test de Student realizado a las muestras de 2002 y 2006 nos da valores de $P > 0,05$. Este aumento en la CE en el periodo de estudio debe tomarse con ciertas reservas y para confirmarlo se debería recurrir a periodos más largos. Los suelos afectados se encuentran próximos a la Laguna

del Hondo, están afectados por hidromorfía y durante los muestreos realizados se ha constatado la presencia de evidencias de concentración de sales tanto en superficie como en profundidad. Son suelos con vegetación natural de saladar aunque en los alrededores se encuentran cultivados, por lo que de confirmarse el incremento temporal de salinidad, podría atribuirse a la influencia de las actividades antrópicas, bien por riego con aguas de mala calidad o por el aporte de fertilizantes en cantidades excesivas.

En Fluvisoles los valores de CE media inicial ($4,24 \text{ dS m}^{-1}$) y final ($4,47 \text{ dS m}^{-1}$) son muy similares y el mayor incremento se corresponde al periodo comprendido entre 2002 y 2004, produciéndose posteriormente un descenso. En el periodo estudiado la CE baja en 10 muestras, la mayoría en parcelas en barbecho o que han sido abandonadas como consecuencia de la expansión urbanística en la zona. Entre las muestras que aumentan su CE destacan la nº 10 y 12 que aparecen como discordantes en los muestreos 2004 y 2006 y que algunos años han estado cultivadas con cebada y alfalfa, cultivos con una alta resistencia a la salinidad. En el resto de parcelas, los cultivos han sido prácticamente los mismos a lo largo de todo el tiempo, predominando las alcachofas como hortícolas y naranjos, limoneros y olivos como frutales. Se ha observado en la zona como muchas parcelas han dejado de ser cultivadas, probablemente debido a la pérdida de rendimiento de sus cultivos. Las aguas que se suelen emplear para el riego no son de buena calidad por su alto contenido en sales, como puedo comprobar Martínez (2006) en un estudio realizado en esta zona y que daba valores de CE entorno a los $5,7 \text{ dS m}^{-1}$, variando entre $3,1$ y $13,4 \text{ dS m}^{-1}$.

En los estudios realizados por Mico (2005) en la provincia de Alicante, donde se incluían muestras de la Vega Baja, observaron diferencias significativas en la CE al comparar el muestreo realizado en 2001 y 2003, aunque dicha diferencia puede estar influenciada por la estacionalidad, ya que el primer muestreo se realizó durante los meses de julio y octubre, que fueron secos, con ausencia de precipitaciones y una fuerte evapotranspiración potencial, mientras que el segundo fue en mayo, octubre, noviembre y diciembre, bajo unas condiciones climáticas distintas. La CE media obtenida en este estudio fue de $7,7 \text{ dS m}^{-1}$ y el pH de 8,2.



Gráficos 5.8, 5.9 y 5.10. Evolución de la CE durante los años 2002, 2004 y 2006

Otros estudios realizados por Ruiz (2005) entre 1995 y 2001 reflejaban unos valores medios de salinidad de los suelos entre 3,1 y 4,3 dS m⁻¹. Asimismo destacaba que la salinidad en el 2001 era superior a la obtenida en 1995, año en el que se produjo una de las mayores sequías. Visconti (2004) obtuvo valores de CE en la zona de 3,6 dS m⁻¹ y de 4,4 dS m⁻¹ en 2009, es decir, un incremento de 0.8 dS m⁻¹ en los 5 años estudiados.

Vela (2002) también encontró cambios significativos en el valle del Guadalentín en el periodo 1990-1996 y 1996-1999, pero no al comparar la CE entre 1990 y 1999. Dichos cambios se atribuyeron fundamentalmente al cambio de uso del suelo, con la introducción de cultivos hortícolas y el riego con agua de baja calidad, al abandono e introducción de especies halófitas tolerantes a la salinidad, las medidas correctoras aplicadas por parte de la Confederación Hidrográfica del Segura para evitar la sobreexplotación del acuífero del Bajo-Guadalentín y finalmente al riego de los cultivos con aguas del Trasvase Tajo-Segura.

En estudios realizados en la Vega Alta del Segura por Marín (1992) en Fluvisoles Calcáricos se obtuvieron valores de CE de 1,43 dS m⁻¹ en los horizontes Ap y 1,12 dS m⁻¹ en los horizontes C de los perfiles estudiados.

5.2.6. Velocidad de salinización

Es los estudios relacionados con la salinización no sólo resulta útil calcular los incrementos producidos a lo largos de los años, sino también la velocidad con la que se producen. Esto nos sirve para evaluar en próximos muestreos si los cambios se están produciendo con la misma intensidad.

En el Mapa 14 viene reflejada la velocidad de salinización de los suelos, muestreados a lo largo del periodo 2002-2006. Las clases establecidas por el indicador de velocidad de salinización han sido: negativa, ligera, moderada, grave y muy grave (Vidal (2002), Martínez *et al.*,(2005) y han sido establecidas siguiendo las recomendaciones de FAO-PNUMA (1984).

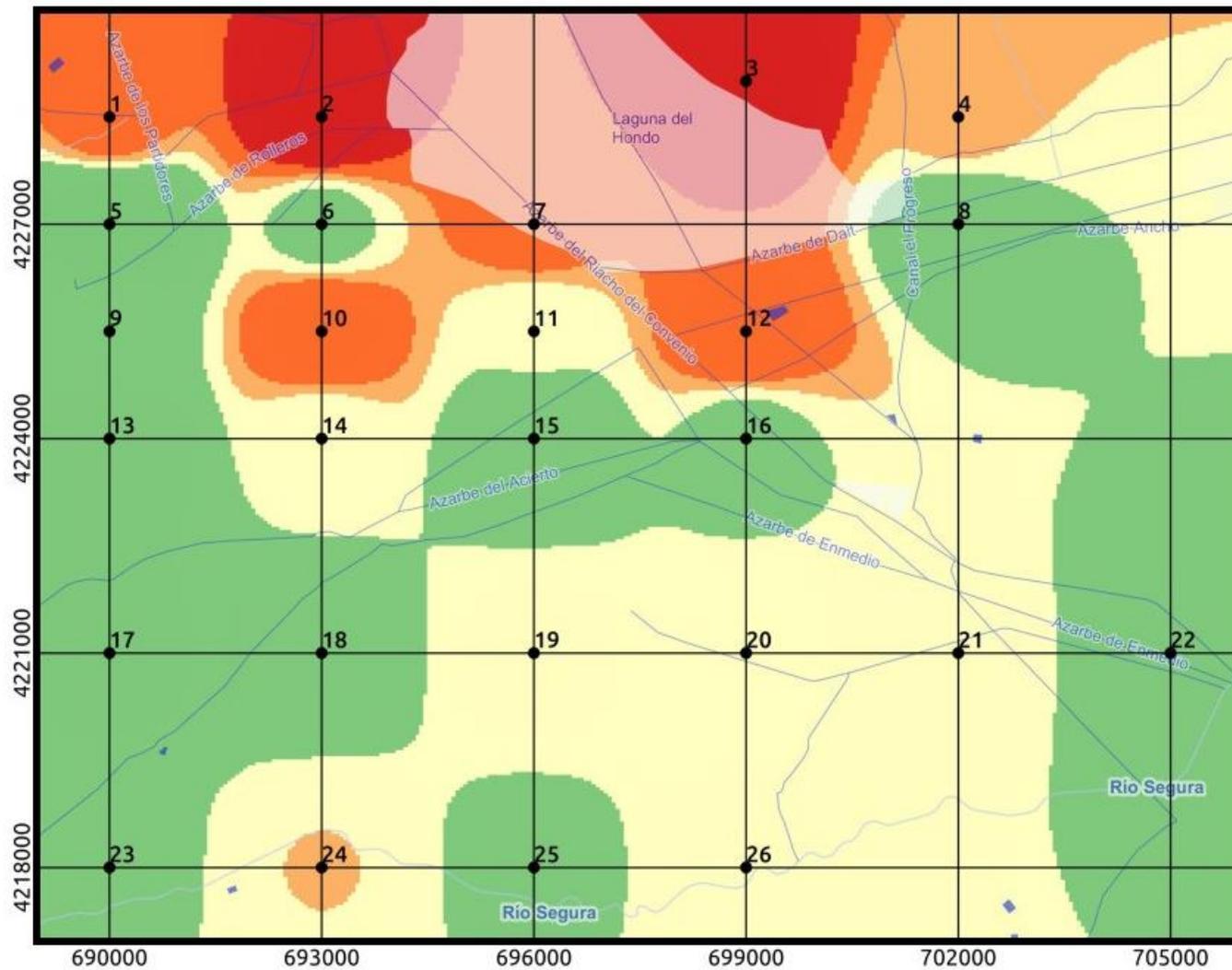
La velocidad de salinización es negativa en 12 muestras, que se corresponden con parcelas en barbecho o junto a cultivos no hortícolas, como pueden ser de olivos, palmeras o granados, que necesitan menos cantidad de agua para su desarrollo. Estos

suelos se localizan mayoritariamente en el extremo oriental y occidental de la zona de muestreo.

Las muestras 11,14, 19, 20, 21 y 26 sufren un ligero aumento de la CE como queda reflejado en la velocidad de salinización. Se trata de parcelas que han estado cultivadas a lo largo del periodo de estudio, bien con cítricos o con hortalizas, aspecto que puede estar relacionado con la CE del agua empleada para riego cuya salinidad está comprendida entre 3,4 y 8,8 dS m⁻¹. Las muestras 4 y 24 sufren una velocidad de salinización más alta, posiblemente porque la intensidad de los factores que la originan es mayor.

Como se ha constatado anteriormente, los mayores incrementos de CE en los Fluvisoles se corresponde con las muestras 10 y 12, lo que ha provocado que la velocidad de salinización en estos puntos sea catalogada como grave.

En los Solonchaks, las muestras 1 y 7 tienen una velocidad de salinización grave y la 2 y 3 muy grave (Mapa 14), hecho que puede deberse a la proximidad a la Laguna del Hondo, de marcado carácter salino, y a la existencia en dicha zona de una capa freática próxima a la superficie que impide el lavado de sales, factor éste que no persiste en el resto de la zona estudiada, debido al drenaje artificial al que han sido sometidos los suelos, y que puede ser el responsable de que la velocidad de salinización en éstos no sea tan alta, ya que parte de las sales, ya sean de origen natural o antrópico, pueden lavarse en mayor o menor grado a través de los horizontes del suelo perdiéndose por los canales de drenaje



Leyenda

● Muestras capa arable

CE $dS \cdot m^{-1}$

- Negativa
- Ligera
- Moderada
- Grave
- Muy grave

Red hidrográfica

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)



Mapa 14. Velocidad de salinización 2002-2006

5.2.7. Evolución del grado salino

Al analizar la evolución del grado salino de las muestras (Tabla 5.10 y Gráfico 5.11) vemos que todos los suelos que hay en la zona tienen problemas ligados a la salinidad. Han aumentado los suelos considerados como ligeramente salinos y fuertemente salinos, mientras que han disminuido los salinos. Los Solonchaks siguen considerándose como extremadamente salinos, excepto la muestra nº1 que es fuertemente salina, aunque se ha observado en ella un aumento de la salinidad a lo largo del tiempo. En Fluvisoles el 48% de las muestras son ligeramente salinas, 43% salinas y el 9% fuertemente salinas. Destaca que las muestras nº 10 y 12 han pasado desde ligeramente salina y salina a fuertemente salinas, por el aumento de CE que han manifestado. En el Mapa X viene representadas las muestras analizadas con su grado salino correspondiente.

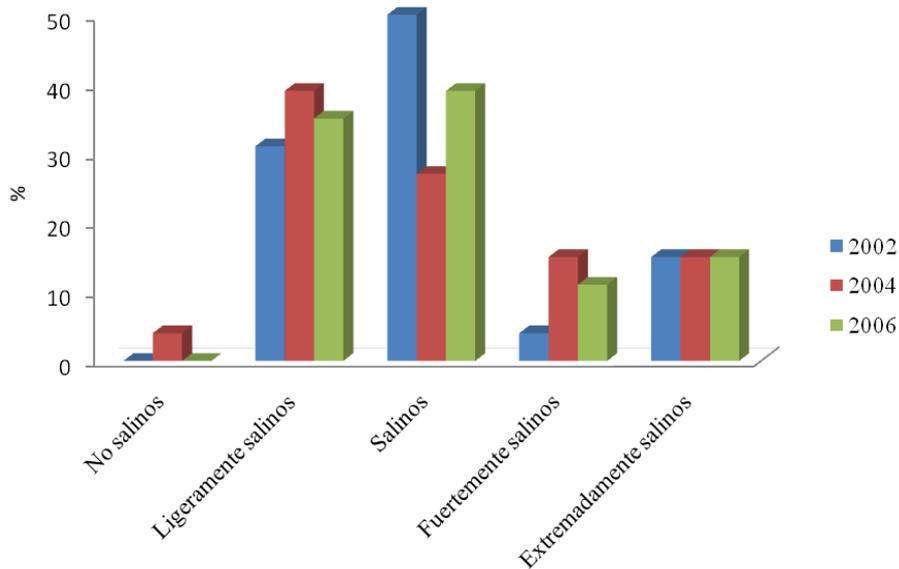
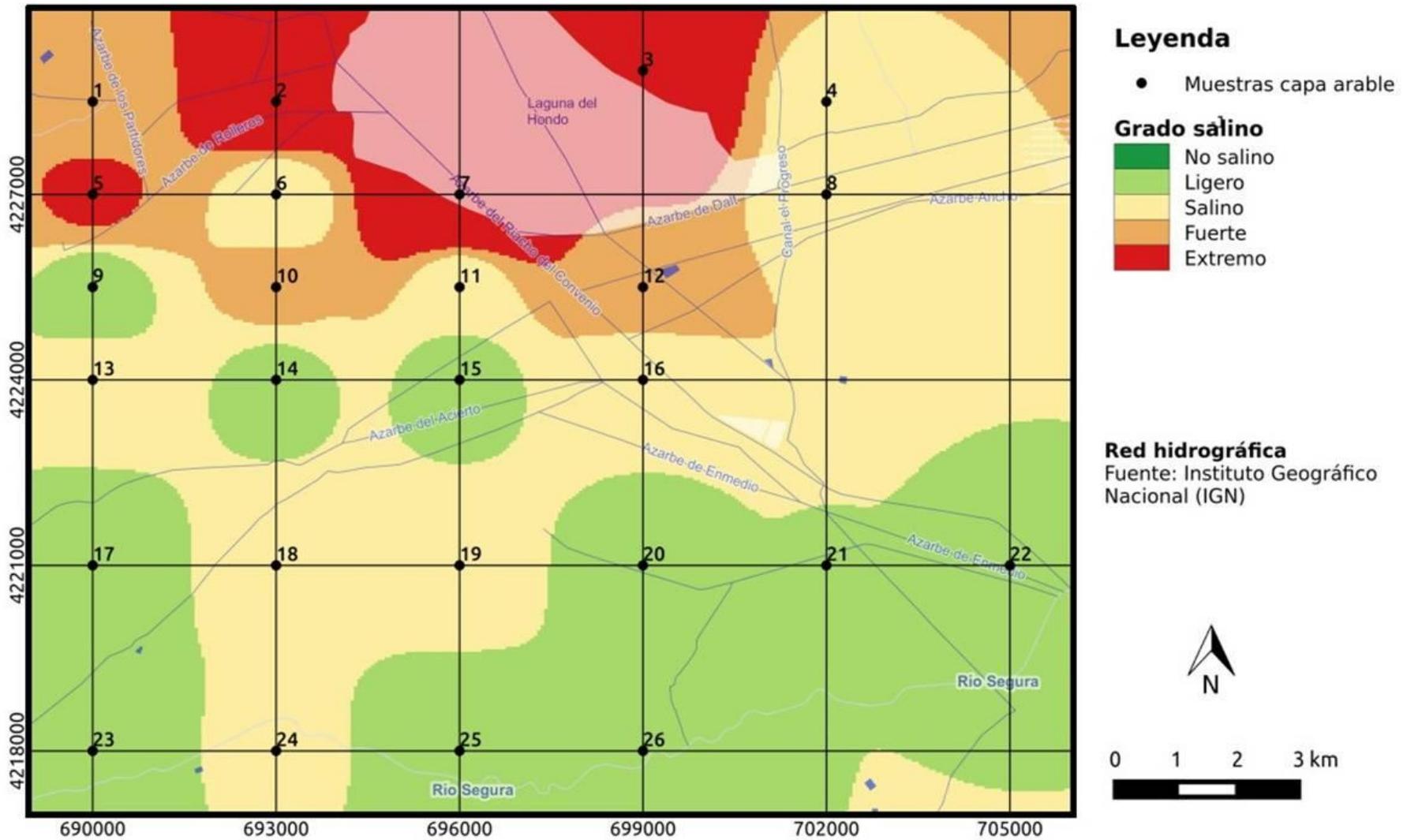


Gráfico 5.11. Evolución del grado salino



Mapa 15. Grado salino 2006

Tabla 5.10. Evolución del grado salino 2002-2006

	2002	2004	2006
G-1	Salino	Salino	Fuertemente salino
G-2	Extremadamente salino	Extremadamente salino	Extremadamente salino
G-3	Extremadamente salino	Extremadamente salino	Extremadamente salino
G-4	Salino	Salino	Salino
G-5	Extremadamente salino	Extremadamente salino	Extremadamente salino
G-6	Salino	Fuertemente salino	Salino
G-7	Extremadamente salino	Extremadamente salino	Extremadamente salino
G-8	Salino	Fuertemente salino	Salino
G-9	Ligeramente salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-10	Ligeramente salino	Salino	Fuertemente salino
G-11	Salino	Salino	Salino
G-12	Salino	Fuertemente salino	Fuertemente salino
G-13	Fuertemente salino	Ligeramente salino	Salino
G-14	Ligeramente salino	Salino	Ligeramente salino
G-15	Salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-16	Salino	Ligeramente salino	Salino
G-17	Salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-18	Salino	Ligeramente salino	Salino
G-19	Salino	Ligeramente salino	Salino
G-20	Salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-21	Ligeramente salino	Salino	Salino
G-22	Salino	Fuertemente salino	Ligeramente salino
G-23	Ligeramente salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-24	Ligeramente salino	No salino	Salino
G-25	Ligeramente salino	Ligeramente salino	Ligeramente salino
G-26	Ligeramente salino	Salino	Ligeramente salino

5.3 Caracterización y dinámica espacio-temporal de los iones responsables de la salinidad

A la hora de hablar de salinización no sólo es importante conocer la concentración de sales sino también su tipología, por el distinto efecto sobre las propiedades físicas del suelo, la toxicidad y el desequilibrio de nutrientes que pueden provocar para las plantas (Grattan y Grieve, 1992; Porta et al., 2003).

Las sales presentes en los suelos salinos, en su mayoría, proceden de la meteorización física y química de los minerales y rocas que constituyen la corteza terrestre, y es lo que ha sido considerado como procesos de salinización primaria. Los elementos que participan en la formación de las sales son: calcio, magnesio, sodio, potasio, cloro, azufre y carbono, y en menor frecuencia nitrógeno, boro y yodo (Pizarro, 1985).

En las Tablas 5.11, 5.12 y 5.13 aparecen los cationes y aniones de las muestras estudiadas a lo largo del periodo de estudio en las dos profundidades muestreadas, que nos va a servir para determinar la composición salina y ver su variación espacio-temporal.

5.3.1. Variación temporal de la sales

La concentración de sales del suelo puede variar notablemente en función del periodo del año, las condiciones del suelo, la topografía y microtopografía del terreno (Álvarez-Rogel *et al.*, 2001, 2006). Durante los periodos lluviosos las sales pueden ser lavadas a horizontes profundos del perfil, para ascender nuevamente disueltas en el agua capilar y acumularse en la superficie durante las épocas secas. A igualdad de otros factores, los suelos con textura fina presentan mayor riesgo de salinización que los de textura gruesa, al drenar más lentamente y retener más agua e iones (Álvarez-Rogel, 2009).

En nuestro caso, al tener suelos de cultivo hay que tener en cuenta el efecto de los riegos sobre la distribución de las sales a lo largo de todo el perfil del suelo. La mayoría de suelos cultivados en la zona son regados con el tradicional riego a manta, lo que en principio favorecería el lavado de sales si no fuera porque las aguas empleadas

en la zona se caracterizan por no ser aptas para el riego por su elevada salinidad y sodicidad.

Además, hay que tener en cuenta la influencia de la capa freática que a veces está a menos de un metro. Cuando las aguas freáticas salinizadas se encuentran próximas a la superficie del terreno (menos de 3 m) éste puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar de sales procedentes del agua freática y que se van acumulando en los horizontes superiores (Smedena, 1990).



Foto 36. Riego a manta en cultivos hortícolas

Al analizar los estadísticos correspondientes a cationes en el periodo de referencia (Tablas 5.14 y 5.15), se observa que existen diferencias de comportamiento entre los tipos de suelos estudiados, de tal manera que los valores medios de Solonchaks aumentan mientras que los de Fluvisoles disminuyen.

En Solonchaks, los valores de Na^+ , Ca^{+2} , Cl^- y SO_4^{-2} experimentan un incremento a lo largo del periodo de estudio, aunque en 2004 se produce una disminución de los valores con respecto a 2002. En el resto, se ve un aumento progresivo a lo largo de los años, como ocurre en el K^+ (8,17 a 15,52 meq l^{-1}) y Mg^{+2} (75,96 a 92,59 meq l^{-1}). Si observamos los Gráficos (5.12. a 5.17), en todas las muestras se producen incrementos positivos de estos cationes, excepto en la muestra 5, donde disminuyen todos menos el K^+ .

Tabla 5.14. Estadísticos descriptivos de los cationes en Solonchaks (n=5)

	Na ⁺			K ⁺			Mg ⁺²			Ca ⁺²		
	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006
Rango	563,28	533,20	571,51	11,94	16,30	28,59	160,90	199,17	173,03	78,00	57,23	124,79
Mínimo	32,50	34,20	63,66	1,64	1,70	3,63	19,20	16,99	24,34	34,90	24,77	36,46
Máximo	595,78	567,40	635,17	13,58	18,00	32,22	180,10	216,16	197,37	112,90	82,00	161,25
Media	303,71	262,88	340,23	8,17	8,30	15,52	75,96	84,99	92,59	60,05	53,33	74,37
Mediana	257,78	257,01	314,87	8,26	6,00	13,61	58,96	79,49	84,07	44,50	40,70	42,20
Desv. Típica	217,02	212,32	250,07	4,59	6,90	11,05	61,71	79,63	71,70	31,70	26,37	53,42

Na⁺, K⁺, Mg⁺² y Ca⁺² en meq l⁻¹

Tabla 5.15. Estadísticos descriptivos de los cationes en Fluvisoles (n=21)

	Na ⁺			K ⁺			Mg ⁺²			Ca ⁺²		
	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006
Rango	138,62	54,82	63,66	2,64	2,00	3,14	44,84	27,59	33,08	51,21	46,03	27,86
Mínimo	4,28	7,30	12,03	0,32	0,50	0,62	5,02	3,60	4,16	11,19	4,34	6,62
Máximo	142,90	62,12	75,69	2,96	2,50	3,76	49,86	31,19	37,24	62,40	50,37	34,48
Media	26,94	25,63	25,02	1,03	1,24	1,77	14,55	13,51	12,04	22,07	20,10	16,34
Mediana	22,35	20,40	21,23	0,89	1,20	1,39	13,72	11,51	8,23	19,45	16,77	14,10
Desv. Típica	28,50	16,31	15,91	0,65	0,54	0,98	9,69	8,30	9,44	11,39	11,58	8,06

Na⁺, K⁺, Mg⁺² y Ca⁺² en meq l⁻¹

Tabla 5.16. Estadísticos descriptivos de los aniones en Solonchaks (n=5)

	Cl ⁻			SO ₄ ⁻²			NO ₃ ⁻		
	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006
Rango	553,41	659,30	727,89	215,61	169,57	180,59	10,23	41,30	7,08
Mínimo	37,09	36,59	65,73	50,15	42,01	75,58	0,00	0,00	0,00
Máximo	590,50	695,89	793,62	265,76	211,58	256,17	10,23	41,30	7,08
Media	321,37	295,15	408,25	132,90	112,97	158,24	3,59	9,83	1,41
Mediana	230,89	302,30	355,49	118,08	79,37	136,58	1,50	3,90	0,00
Desv. Típica	228,17	261,93	314,62	83,92	68,25	78,53	4,50	17,69	3,16

Cl⁻ y SO₄⁻² en meq l⁻¹

Tabla 5.17. Estadísticos descriptivos de los aniones en Fluvisoles (n=21)

	Cl ⁻			SO ₄ ⁻²			NO ₃ ⁻		
	2002	2004	2006	2002	2004	2006	2002	2004	2006
Rango	186,13	56,58	89,49	69,27	65,18	60,45	12,03	15,61	12,29
Mínimo	3,32	4,41	8,75	11,90	5,22	9,97	0,00	0,00	0,00
Máximo	189,45	60,99	98,49	81,17	70,40	70,42	12,03	15,61	12,29
Media	27,60	21,78	23,35	30,37	28,07	32,08	4,13	5,05	5,08
Mediana	20,60	15,72	17,45	26,86	25,16	26,08	2,60	2,92	5,11
Desv. Típica	38,58	17,80	20,72	14,03	18,80	17,33	3,82	4,86	3,03

Cl⁻ y SO₄⁻² en meq l

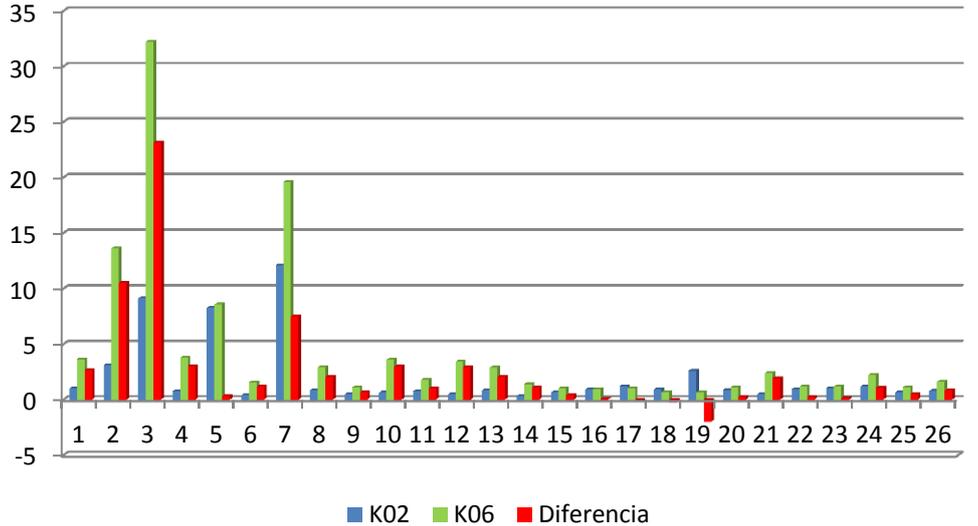
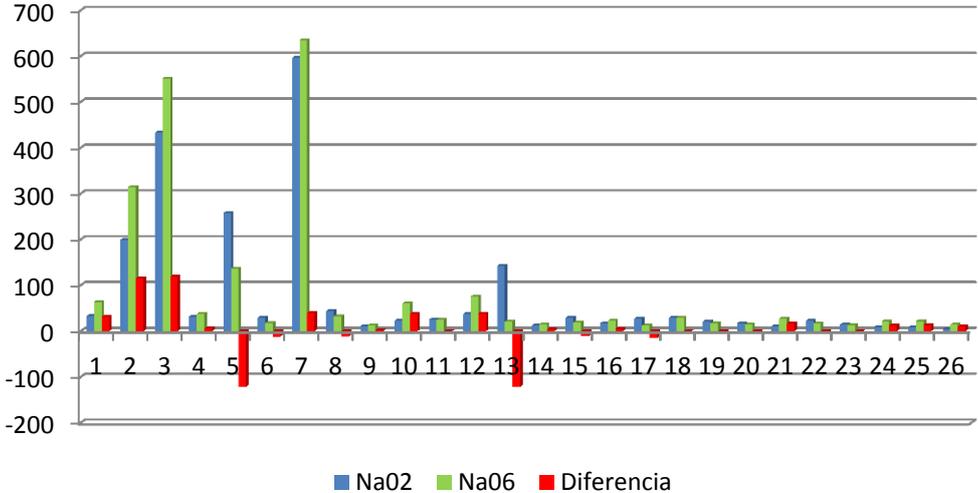
Esta tendencia no se observa en Fluvisoles, ya que se producen descensos en los valores medios, aunque estas variaciones a la baja aparentemente no son tan acusadas como en los Solonchaks. Esta disminución ha sido progresiva en los valores de cationes y aniones a lo largo de todo el periodo de estudio, excepto en el K^+ , y SO_4^{-2} , donde han aumentado y al igual que en Solonchaks, los valores de 2004 son más bajos que en 2002 y 2006. Teniendo en cuenta que el K^+ es un macronutriente muy fuertemente demandado por gran parte de los cultivos de la zona y que se formula frecuentemente como sulfato, este comportamiento al alza puede ser atribuido a una fertilización potásica excesiva. Por otro lado, y como se observa en los gráficos correspondientes, el Mg^{+2} y Ca^{+2} son los cationes donde se observa un mayor porcentaje de muestras con incrementos negativos.

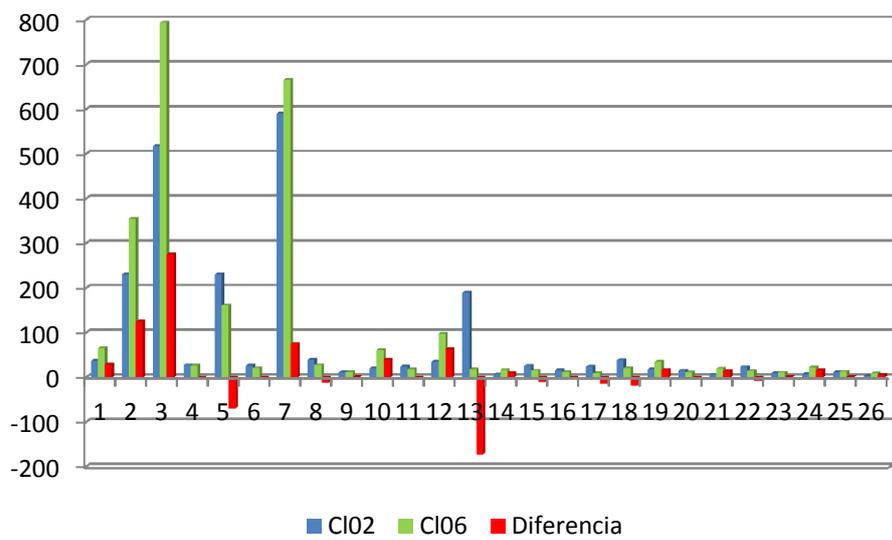
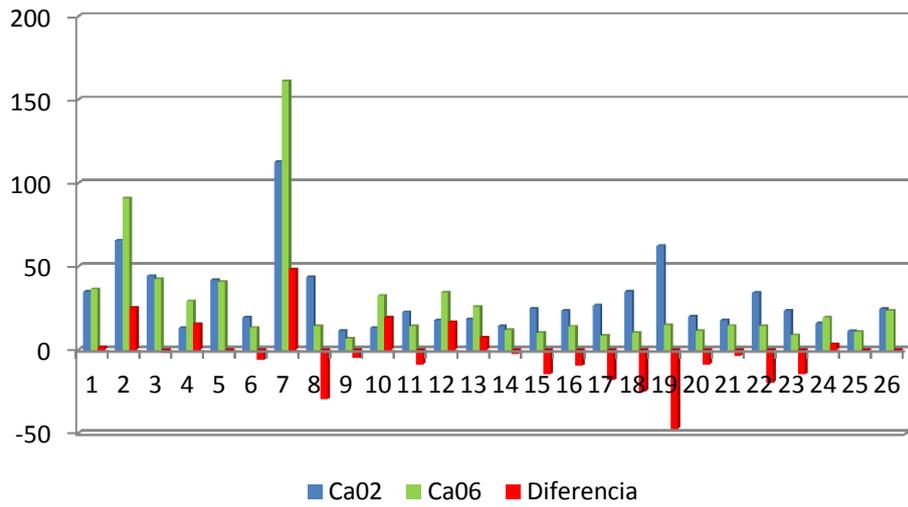
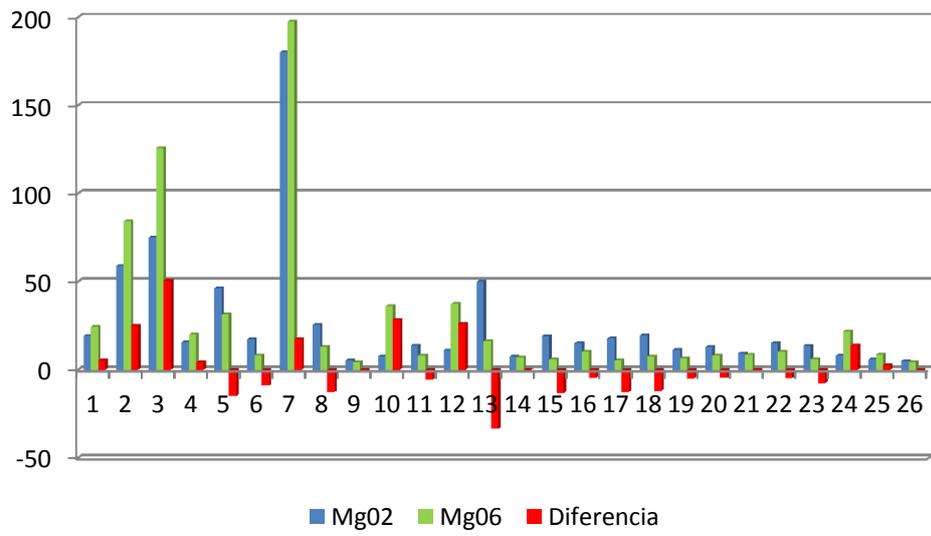
Los NO_3^- aparecen en niveles muy bajos en Solonchaks, llegando incluso a no detectarse en algunas muestras, mientras que en Fluvisoles son mayores, sobre todo en 2004. Dicha tendencia parece estar relacionada con el uso que se hace del suelo, de manera que en Solonchaks, suelos que conservan su vegetación natural, la concentración de nitratos es baja o incluso no llega a detectarse, mientras que Fluvisoles, de uso agrícola, tienen niveles de nitratos sensiblemente más altos. En base a todo ello, es de suponer que el origen de dicho anión es de tipo antrópico y debe estar asociado con los aportes de abonos nitrogenados, en los que dicho anión es muy frecuente en su formulación. Por otro lado, del análisis de los datos también se desprende que el proceso de nitrificación en estos suelos, y especialmente en Solonchaks, está limitado, muy posiblemente como consecuencia de la influencia de la capa freática próxima a la superficie y la textura pesada de estos suelos.

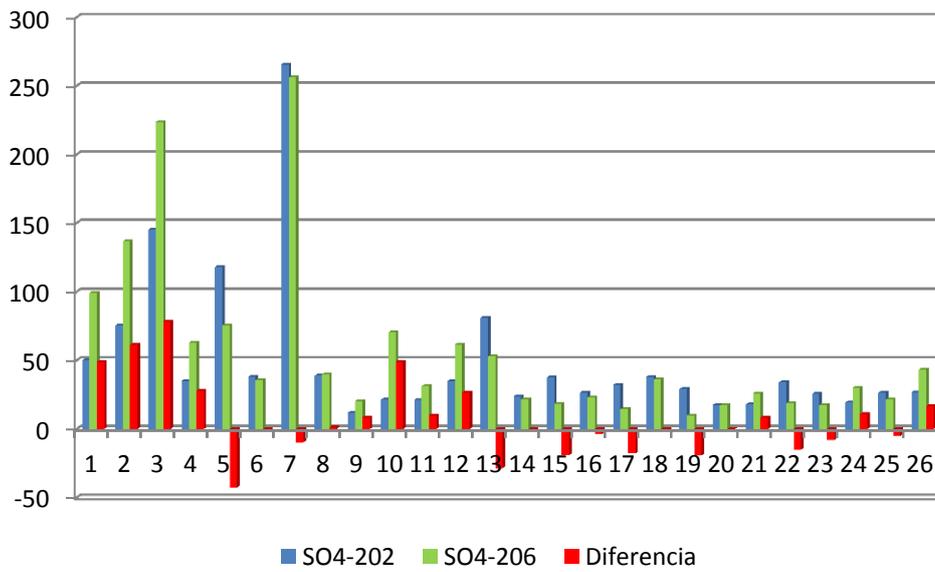
Si analizamos los niveles de iones en los suelos estudiados podemos afirmar que en Solonchaks: $Na^+ > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+$ y $Cl^- > SO_4^{-2}$ y en los Fluvisoles: $Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+$ y $SO_4^{-2} > Cl^-$. Secuencias semejantes fueron encontradas por Vela de Oro (2002) en el Valle del Guadalentín, quien concluyó que en las muestras de suelos con menor salinidad había un predominio del ion Ca^{+2} frente al Na^+ y Mg^{+2} y el SO_4^{-2} era el anión mayoritario.

Para establecer la significación estadística entre muestreos atendiendo a la composición iónica del extracto de saturación se ha recurrido al test paramétricos (Test T de Student) cuando se estudian los Solonchaks, ya que cumplen con el supuesto de

normalidad y a no paramétricos en Fluvisoles (Test de Wilcoxon) por no cumplir esta condición. Estos test determinan que existen diferencias significativas entre las concentraciones de SO_4^{-2} en Solonchaks ($P=0,024$) durante el periodo 2004-2006 y en K^+ ($P=0,003$) y SO_4^{-2} ($P=0,040$) en Fluvisoles, a lo largo de todo el periodo de estudio. Por tanto, a modo de resumen puede decirse que el ión sulfato aumenta de concentración en todos los suelos de la zona a lo largo del periodo de estudio y el K^+ , solo en Fluvisoles.







Gráficos 5.6 a 5.11. Evolución de cationes y aniones (meq l⁻¹) 2002-2006

En los mapas 16 y 17 se muestran los valores de Cl⁻ y Na⁺ y como se observa las zonas de mayor concentración de estos iones se encuentran en la zona septentrional, rodeando la Laguna del Hondo, que coincide con la zona de Solonchaks

Tabla 5.11. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2002

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-1₁	32,13	5,78	4,52	0,18	26,08	0,98	19,20	34,90	81,16	28,90	32,53	6,24	67,67	5,01
G-1₂	49,13	9,69	5,23	0,17	32,50	1,64	13,10	18,90	66,14	37,90	50,15	2,12	90,17	8,13
G-2₁	62,93	21,24	13,45	0,62	102,10	3,10	24,89	32,02	162,11	122,80	74,70	0,00	197,50	19,14
G-2₂	60,39	26,50	20,90	0,95	199,80	6,25	58,96	65,80	330,81	230,89	75,40	1,50	307,79	25,30
G-3₁	76,51	41,45	31,20	0,91	333,87	9,10	48,90	44,50	436,37	324,73	145,25	0,00	469,98	48,86
G-3₂	77,50	46,63	40,89	0,98	470,00	12,15	95,74	28,50	606,39	517,80	132,85	0,00	650,65	60,08
G-4₁	53,50	8,94	3,25	0,11	23,60	0,75	7,50	12,25	44,1	15,10	34,08	0,00	49,18	7,51
G-4₂	51,30	10,07	4,10	0,16	32,20	1,65	15,72	13,20	62,77	27,80	35,10	2,6	65,5	8,45
G-5₁	72,71	35,85	24,80	0,69	257,78	8,26	46,34	42,15	354,53	230,59	118,08	0,00	359,12	35,75
G-5₂	61,42	19,04	12,49	0,27	86,15	1,52	20,37	32,23	140,27	77,23	57,17	0,00	137,37	16,80
G-6₁	55,60	7,86	2,5	0,08	17,10	0,40	6,25	7,00	30,75	21,13	14,20	0,00	35,33	6,64
G-6₂	61,93	8,17	5,10	0,15	29,52	0,89	17,25	19,45	47,66	26,19	38,04	0,65	64,88	6,89
G-7₁	69,80	45,77	42,34	1,32	551,70	13,58	180,10	45,00	790,38	574,78	265,76	10,23	850,77	58,08
G-7₂	72,80	43,00	52,58	2,20	595,78	12,10	97,54	112,90	818,32	590,50	205,20	0,00	795,7	52,00
G-8₁	64,77	15,24	6,34	0,21	43,85	0,86	25,6	13,56	83,87	40,10	38,83	3,86	82,79	7,44
G-8₂	68,17	12,56	3,79	0,14	24,70	0,42	10,45	0,00	36,23	19,66	24,63	0,49	44,78	10,81
G-9₁	38,41	4,04	2,48	0,08	10,79	0,46	5,25	11,59	28,09	10,96	11,90	1,14	24,50	3,71
G-9₂	38,54	4,00	1,44	0,05	10,56	0,39	5,12	11,33	27,40	10,72	11,69	1,14	24,05	3,68

Tabla 5.11 Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2002

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-10₁	51,53	8,38	2,96	0,10	22,76	0,62	7,66	13,13	44,17	0,26	21,4	0,00	23,41	7,06
G-10₂	46,56	6,11	3,35	0,11	15,39	0,61	6,22	10,83	33,05	13,61	15,06	0,00	33,70	5,27
G-11₁	40,10	6,85	4,55	0,14	24,91	0,77	13,77	22,65	62,10	24,54	21,26	0,00	45,80	5,84
G-11₂	59,02	7,05	3,59	0,13	20,67	0,19	9,99	13,70	35,02	13,91	21,11	0,00	44,55	6,00
G-12₁	41,33	5,06	3,03	0,11	13,83	0,47	7,12	12,04	33,46	19,2	17,41	0,00	40,88	4,47
G-12₂	56,52	8,26	6,49	0,27	37,28	0,90	11,03	17,65	65,96	35,04	34,97	0,00	70,01	9,84
G-13₁	37,70	4,55	2,95	0,08	13,28	0,85	7,59	13,50	35,22	18,08	4,84	2,42	25,34	4,09
G-13₂	66,73	25,83	8,37	0,32	142,9	2,96	49,86	18,41	214,13	189,45	81,17	0,00	270,69	24,46
G-14₁	37,44	3,25	1,90	0,06	7,99	0,32	4,47	8,56	21,34	6,51	8,11	2,02	17,64	3,13
G-14₂	34,89	3,89	2,77	0,09	11,81	0,21	7,31	14,20	33,85	6,28	23,88	0,65	30,81	3,60
G-15₁	39,95	7,45	4,61	0,16	29,51	0,64	19,01	24,70	73,86	25,83	37,61	7,23	70,67	6,31
G-15₂	47,93	7,64	3,62	0,13	22,52	0,25	10,07	14,14	46,98	17,98	21,44	1,80	41,22	6,47
G-16₁	30,46	4,34	4,86	0,17	17,23	0,90	15,01	23,43	56,57	16,22	26,76	7,83	51,66	3,93
G-16₂	42,52	3,30	1,24	0,09-	6,54	0,32	3,35	5,17	15,38	4,50	8,89	0,98	14,37	3,17
G-17₁	37,08	6,85	5,13	0,17	27,51	1,21	17,70	26,70	74,19	23,77	32,21	6,77	64,73	5,84
G-17₂	36,99	4,23	2,55	0,08	12,30	0,39	7,71	12,85	33,25	11,79	15,78	1,37	29,91	3,84
G-18₁	32,24	5,80	4,56	0,11	26,13	0,94	18,85	35,05	80,97	38,71	31,87	6,89	77,47	5,03
G-18₂	35,94	6,65	5,90	0,16	28,63	0,49	19,40	31,14	79,66	29,55	38,01	3,30	70,86	5,70

Tabla 5.11. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2002

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-19₁	36,12	3,73	3,39	0,11	21,12	2,60	11,35	62,40	58,47	17,76	29,18	2,79	50,91	3,48
G-19₂	41,55	5,53	3,18	0,10	16,23	0,20	8,61	14,02	39,06	11,77	20,44	2,15	34,36	4,82
G-20₁	33,44	4,76	2,29	0,08	17,18	0,87	12,74	20,09	51,38	15,00	17,50	12,03	45,99	4,24
G-20₂	64,22	7,33	2,20	0,09	9,89	0,45	4,62	0,00	15,40	6,92	10,9	0,00	19,31	6,22
G-21₁	24,94	1,94	2,71	0,07	6,86	0,49	6,90	12,58	27,51	4,53	8,88	8,49	22,87	2,20
G-21₂	27,61	2,91	2,86	0,08	10,66	0,45	9,23	17,92	38,60	6,30	17,86	8,41	32,57	2,89
G-22₁	30,79	5,10	5,32	0,16	22,35	0,94	15,08	34,20	72,57	23,39	33,98	7,67	65,04	4,50
G-22₂	40,28	5,54	3,14	0,11	16,68	0,26	9,96	13,94	41,41	11,52	21,44	3,11	36,07	4,83
G-23₁	26,68	3,40	3,30	0,09	13,94	1,02	13,72	23,55	52,23	9,89	25,63	11,04	49,04	3,24
G-23₂	22,52	0,87	1,32	0,04	3,45	0,48	3,21	8,18	15,32	2,72	5,05	1,76	11,04	1,45
G-24₁	29,07	2,76	2,68	0,07	8,94	1,17	8,00	12,64	30,75	7,44	12,84	0,00	22,28	2,78
G-24₂	23,57	1,73	2,12	0,06	6,55	0,69	4,53	16,02	27,79	4,56	19,22	0,00	23,78	2,05
G-25₁	32,09	2,89	2,20	0,05	8,41	0,62	5,98	11,19	26,20	7,37	14,15	2,05	23,57	2,87
G-25₂	17,29	2,82	3,16	0,07	7,43	0,17	5,03	8,87	42,98	10,98	26,41	2,20	39,59	2,82
G-26₁	11,34	0,22	2,11	0,05	3,87	0,79	5,02	24,44	34,12	3,22	26,85	1,22	31,88	1,01
G-26₂	37,25	2,03	1,05	0,03	4,28	0,04	2,67	4,50	11,49	3,32	5,22	0,00	9,14	2,26

Tabla 5.12. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2004

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-1₁	38,10	4,30	2,40	0,11	11,7	1,70	4,20	13,20	30,80	6,40	20,10	3,90	31,90	3,90
G-1₂	44,04	8,90	6,12	0,20	34,20	1,69	16,99	24,77	77,65	36,59	42,01	2,03	79,63	7,48
G-2₁	63,6	19,42	9,70	0,50	81,20	2,10	9,80	34,60	127,6	70,30	59,20	0,00	129,50	17,20
G-2₂	67,49	32,50	27,50	0,85	257,01	6,00	79,46	38,32	380,79	302,3	79,37	3,98	385,65	33,49
G-3₁	72,80	39,49	33,80	1,10	356,00	8,20	43,80	80,90	488,90	354,30	152,9	0,00	507,30	45,10
G-3₂	76,72	41,90	31,1	0,92	327,26	12,78	86,50	0,00	426,54	319,27	98,00	0,00	417,27	49,76
G-4₁	46,07	-	0,60	0,03	4,52	0,22	2,02	3,05	9,81	2,8	3,4	0,00	6,2	-
G-4₂	11,07	11,07	5,78	0,22	38,61	1,37	16,46	18,07	74,51	37,64	24,65	2,47	67,76	9,29
G-5₁	63,90	21,39	11,33	0,50	99,80	2,60	13,10	40,70	156,20	86,70	79,00	0,00	171,90	19,30
G-5₂	59,32	18,81	14,18	0,61	89,84	3,06	25,82	33,03	151,45	78,85	61,58	0,00	140,43	16,56
G-6₁	60,69	-	1,30	0,05	10,13	0,35	3,45	2,76	16,69	9,89	6,25	0,00	16,14	-
G-6₂	42,60	11,58	9,15	0,32	62,12	2,18	31,19	50,37	145,86	59,20	61,46	2,00	122,66	9,73
G-7₁	79,90	47,26	40,50	1,20	567,40	10,10	87,70	82,00	747,20	413,30	203,30	41,30	657,90	61,60
G-7₂	70,64	44,03	57,90	2,35	563,48	18,00	216,16	0,00	797,64	695,89	211,58	0,00	907,47	54,20
G-8₁	42,05	6,36	3,65	0,14	19,71	1,07	9,57	16,52	46,87	10,63	31,20	2,02	43,85	5,46
G-8₂	52,25	12,23	7,96	0,35	46,30	1,89	16,65	23,77	88,61	60,99	36,43	4,11	101,53	10,30
G-9₁	45,10	5,55	2,55	0,10	13,72	0,64	5,19	10,87	30,42	11,51	12,06	0,00	23,58	4,84
G-9₂	57,65	9,14	3,24	0,13	20,84	0,57	5,42	9,32	36,15	11,28	17,99	1,91	31,18	7,67

Tabla 5.12. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2004

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-10₁	46,93	8,45	5,08	0,16	27,19	1,54	12,44	16,77	57,94	23,73	26,26	26,26	55,04	7,11
G-10₂	53,20	8,20	3,05	0,11	19,54	0,69	6,80	9,21	36,24	13,04	19,97	19,97	34,79	6,91
G-11₁	64,05	7,16	1,50	0,06	9,55	0,43	1,58	3,35	14,91	1,59	7,89	1,24	10,72	6,08
G-11₂	48,50	11,09	7,00	0,29	45,19	0,92	22,15	24,91	93,17	32,49	61,73	2,08	96,30	9,31
G-12₁	37,30	6,81	5,63	0,23	27,52	1,52	18,73	26,01	73,78	22,25	35,20	0,00	57,45	5,81
G-12₂	47,85	12,49	9,23	0,38	58,90	1,56	30,51	32,11	123,08	44,51	70,40	0,00	114,91	10,53
G-13₁	37,00	5,17	3,77	0,50	16,82	1,25	11,51	15,87	45,45	15,35	26,23	0,00	41,58	4,55
G-13₂	51,94	9,41	3,84	0,14	27,69	1,05	9,42	15,15	53,31	15,72	27,54	0,96	44,22	7,90
G-14₁	23,30	3,18	5,55	0,19	16,13	1,48	19,75	34,94	72,30	10,01	39,13	14,82	63,96	3,08
G-14₂	41,85	4,54	2,22	0,07	11,16	0,56	5,47	9,48	26,67	5,76	16,79	1,26	23,81	4,08
G-15₁	51,92	6,76	2,32	0,09	14,06	1,15	5,47	6,40	27,08	9,42	14,53	1,00	24,95	5,77
G-15₂	46,06	7,10	3,77	0,16	20,40	1,08	9,91	12,90	44,29	16,10	25,16	0,00	41,26	6,04
G-16₁	49,00	3,66	1,03	0,11	5,66	0,43	1,36	4,10	11,55	9,56	5,05	0,35	14,96	3,43
G-16₂	53,22	7,72	2,61	0,10	18,16	0,51	5,49	9,96	34,12	10,25	13,50	2,01	25,77	6,53
G-17₁	35,68	3,43	1,86	0,06	8,71	0,86	5,42	9,42	24,41	7,13	7,06	0,80	15,00	3,26
G-17₂	45,40	4,94	2,00	0,07	11,10	0,51	3,83	9,01	24,45	5,61	11,38	3,15	20,14	4,38
G-18₁	32,99	2,79	1,98	0,07	7,30	1,26	5,34	8,23	22,13	4,41	10,85	2,92	18,18	2,80
G-18₂	41,75	3,01	1,48	0,05	5,62	0,62	2,82	4,40	13,46	2,94	6,23	1,38	10,55	2,96

Tabla 5.12. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2004

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	∑Cationes	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	∑Aniones	RAS
G-19 ₁	33,00	3,80	3,20	0,12	12,11	1,03	9,67	13,89	36,70	11,68	12,51	8,16	32,35	3,53
G-19 ₂	37,61	5,43	3,48	0,12	18,05	1,02	11,41	17,51	47,99	16,48	19,74	0,00	36,22	4,75
G-20 ₁	33,68	5,67	5,31	0,19	22,99	1,84	16,52	26,90	68,25	21,63	33,41	5,53	60,58	4,93
G-20 ₂	42,28	6,60	3,21	0,11	17,37	0,45	7,96	10,96	36,74	12,60	23,78	0,52	36,90	5,65
G-21 ₁	16,75	1,60	4,36	0,12	9,29	1,07	13,30	31,80	55,46	7,33	28,74	15,61	51,67	1,96
G-21 ₂	31,93	4,04	3,54	0,11	14,19	1,00	10,99	18,26	44,44	8,45	20,64	11,40	40,50	3,71
G-22 ₁	36,79	7,85	9,10	0,34	36,26	2,50	24,75	35,04	98,55	45,25	41,35	14,51	101,11	6,63
G-22 ₂	33,79	5,29	4,46	0,16	20,52	1,16	15,50	23,54	60,72	13,94	42,32	2,51	58,77	4,64
G-23 ₁	26,03	2,16	2,11	0,10	7,69	0,40	8,24	13,21	29,54	3,00	7,14	10,12	20,26	2,35
G-23 ₂	48,26	6,92	2,75	0,09	18,17	0,50	6,52	12,46	37,65	6,42	11,50	9,71	27,69	5,90
G-24 ₁	47,37	4,40	1,67	0,07	7,94	0,88	3,60	4,34	16,76	7,70	6,93	0,76	15,39	3,98
G-24 ₂	42,77	2,65	1,22	0,04	4,53	0,45	1,75	3,86	10,59	4,78	5,56	0,28	10,62	2,70
G-25 ₁	30,72	3,56	2,86	0,08	11,08	0,55	9,22	15,22	36,07	12,55	16,66	2,04	31,25	3,36
G-25 ₂	35,53	4,23	3,08	0,08	13,10	0,60	8,37	14,80	36,87	11,63	21,56	2,56	35,75	3,85
G-26 ₁	23,42	1,09	1,62	0,06	3,78	1,20	4,48	6,68	16,14	3,68	3,33	9,02	16,03	1,60
G-26 ₂	34,50	2,82	2,00	0,07	7,75	0,40	4,40	9,91	22,46	5,22	10,51	4,48	20,21	2,82

Tabla 5.13. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2006

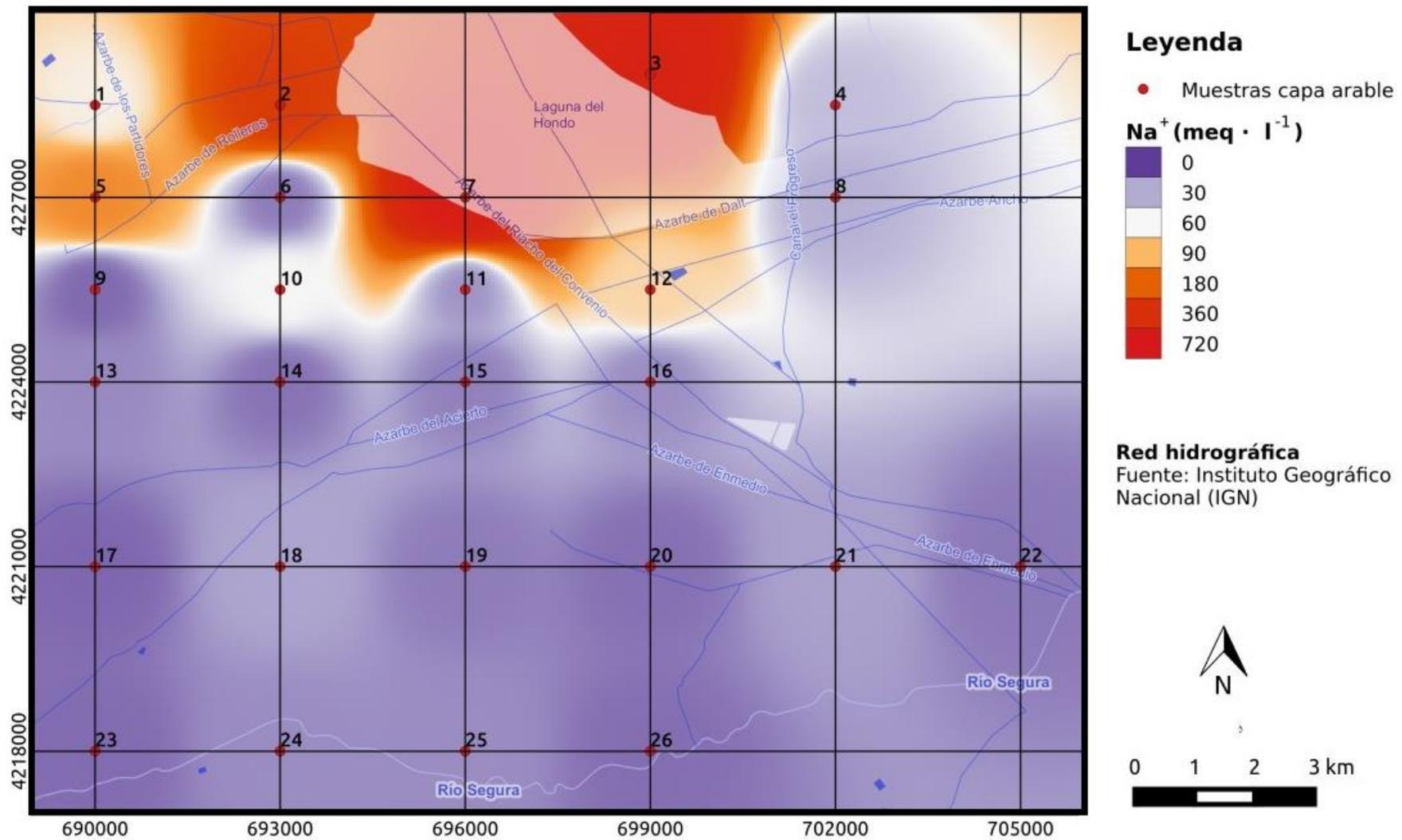
Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-1₁	47,88	12,24	9,34	0,36	54,63	3,38	19,69	36,46	114,10	65,73	58,22	0,00	123,95	10,31
G-1₂	52,21	14,59	9,66	0,34	63,66	3,63	24,34	28,00	119,63	63,77	99,16	7,08	170,01	12,44
G-2₁	67,85	34,57	28,9	1,18	288,89	12,74	84,07	40,05	425,75	299,83	136,58	0,00	436,58	36,67
G-2₂	67,30	35,23	31,4	1,84	314,87	13,61	48,17	91,05	467,7	355,49	122,71	0,00	478,20	37,74
G-3₁	71,85	40,20	29,2	0,89	384,96	13,29	95,14	42,40	535,79	308,98	138,35	0,00	447,33	46,42
G-3₂	69,44	46,89	51,7	0,96	551,1	32,22	125,84	39,0	715,94	793,62	223,75	0,00	985,15	60,70
G-4₁	39,16	8,13	6,23	0,25	33,89	3,76	19,87	29,02	86,54	27,08	63,08	5,88	96,04	6,85
G-4₂	59,06	12,58	4,14	0,17	37,62	0,95	11,29	13,86	63,69	25,93	49,14	2,90	77,97	10,61
G-5₁	60,43	22,06	15,41	0,57	116,78	8,57	26,99	40,90	193,24	152,62	52,20	0,00	204,82	20,04
G-5₂	64,33	24,79	17,26	0,74	136,38	6,50	31,34	37,75	211,97	160,93	75,58	0,00	236,51	23,20
G-6₁	61,92	8,50	2,04	0,06	15,07	0,37	4,93	3,97	24,34	16,25	10,45	0,00	26,70	7,14
G-6₂	43,33	6,29	4,35	0,13	17,72	1,55	8,23	13,39	40,89	21,20	35,82	0,00	57,04	5,40
G-7₁	69,60	42,79	39,02	1,67	583,30	14,17	94,98	161,25	838,30	571,38	256,17	0,00	827,55	51,53
G-7₂	68,29	44,00	57,00	2,43	635,17	19,59	197,37	78,00	930,13	665,50	230,52	0,00	896,02	54,13
G-8₁	51,80	10,45	4,90	0,21	32,34	2,89	12,94	14,26	62,43	27,70	39,98	0,00	67,68	8,77
G-8₂	49,66	6,90	3,10	0,12	16,78	0,75	6,68	9,58	33,79	17,08	17,31	3,64	38,03	5,88
G-9₁	46,00	4,77	1,95	0,08	9,80	0,86	4,16	6,49	21,31	6,52	13,93	2,13	22,58	4,25
G-9₂	55,40	7,00	2,18	0,09	12,79	1,10	2,58	6,62	23,09	11,26	20,49	1,20	32,95	5,96

Tabla 5.13. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2006

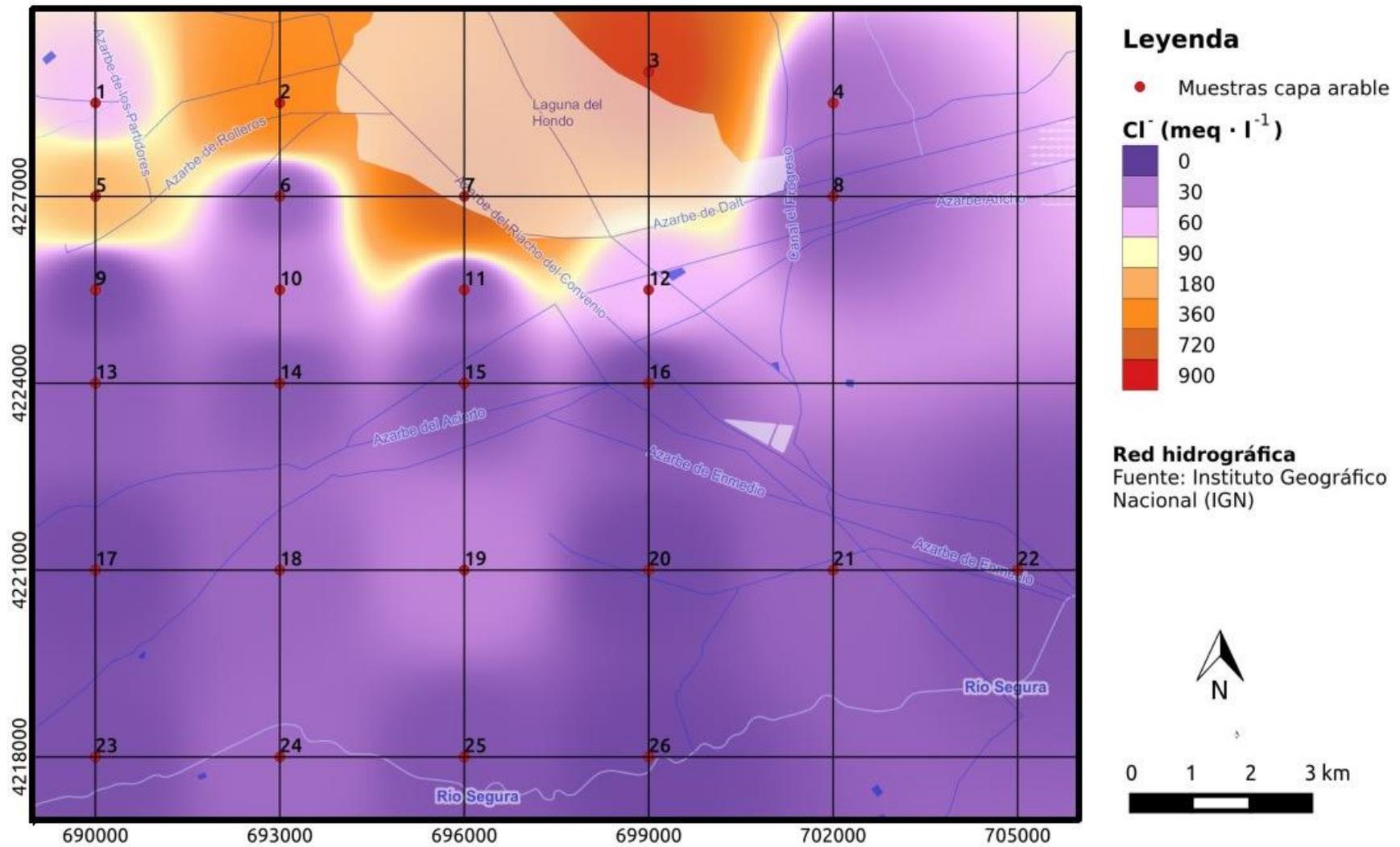
Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-10₁	45,40	12,16	9,25	0,35	59,96	3,58	36,10	32,45	132,10	60,94	70,42	0,00	135,36	10,24
G-10₂	54,00	12,03	5,36	0,28	39,77	3,11	15,24	15,55	73,67	33,92	39,62	12,29	85,84	10,13
G-11₁	50,32	6,28	2,70	0,11	13,46	0,86	4,31	8,12	26,75	10,38	11,32	5,59	27,29	5,40
G-11₂	50,26	8,63	4,75	0,21	24,21	1,76	8,10	14,10	48,17	18,07	31,20	4,33	53,60	7,26
G-12₁	49,21	14,53	12,16	0,51	75,69	3,39	37,24	37,48	153,80	98,24	59,41	8,50	166,15	12,38
G-12₂	47,80	12,31	9,25	0,37	57,47	1,20	30,47	31,10	120,24	59,45	61,52	6,21	127,18	10,37
G-13₁	48,2	4,82	1,82	0,07	9,04	0,81	3,02	5,87	18,74	10,79	10,73	1,83	23,35	4,29
G-13₂	39,20	5,22	4,75	0,18	21,13	2,87	16,30	26,00	66,30	17,45	52,79	0,00	70,24	4,59
G-14₁	42,54	6,00	2,95	0,11	15,05	1,39	7,09	11,85	35,38	16,93	20,58	3,07	40,58	4,89
G-14₂	43,44	5,68	3,18	0,11	15,21	0,81	7,03	11,96	35,01	15,51	21,70	1,25	38,47	4,94
G-15₁	52,78	7,86	2,82	0,12	18,79	0,83	5,83	10,15	35,60	14,98	16,68	2,58	34,24	6,64
G-15₂	61,68	9,73	2,90	0,13	18,87	1,02	5,05	5,65	30,59	14,28	18,45	1,71	34,44	8,16
G-16₁	47,75	7,44	4,13	0,17	22,28	0,10	10,28	14,00	46,66	11,89	17,23	5,53	34,65	6,34
G-16₂	40,40	4,80	2,82	0,12	12,78	0,95	6,43	11,44	31,60	10,63	23,14	1,65	35,42	4,27
G-17₁	41,00	4,01	2,53	0,08	9,66	1,04	5,12	8,58	24,40	7,57	10,46	9,90	27,93	3,69
G-17₂	46,20	5,39	2,32	0,07	12,03	0,95	4,56	8,47	26,04	8,81	14,45	5,95	29,20	4,72
G-18₁	54,50	7,37	2,35	0,07	14,55	0,69	3,98	6,85	26,07	6,95	16,97	1,41	25,33	9,42
G-18₂	60,67	6,58	4,66	0,14	28,57	0,66	7,49	10,37	47,09	21,06	36,01	2,25	59,31	5,63

Tabla 5.13. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación. 2006

Muestra	PSS	PSC	CE	Sales	Na⁺	K⁺	Mg⁺²	Ca⁺²	∑Cationes	Cl⁻	SO₄⁻²	NO⁻³	∑Aniones	RAS
G-19₁	48,65	4,23	2,49	0,09	16,64	0,43	2,90	4,48	24,45	13,46	8,28	3,11	24,85	3,85
G-19₂	50,10	6,23	4,70	0,16	17,59	0,62	6,55	14,97	44,44	34,85	9,97	0,00	44,82	5,36
G-20₁	41,34	5,26	2,90	0,14	14,37	1,09	8,02	11,28	34,76	10,90	17,38	5,11	33,39	4,62
G-20₂	53,26	7,01	2,31	0,11	14,28	1,10	4,61	6,82	26,81	7,94	15,54	2,19	25,67	5,97
G-21₁	72,00	15,72	3,97	0,13	27,35	2,40	5,36	2,85	37,96	18,28	20,02	7,83	46,13	13,50
G-21₂	46,15	7,42	3,85	0,13	21,31	1,92	8,37	14,57	46,17	19,39	26,80	4,81	51,00	6,29
G-22₁	39,10	5,40	3,30	0,13	16,68	1,16	10,32	14,50	42,66	14,72	17,72	8,13	40,57	4,73
G-22₂	54,00	6,00	2,95	0,12	15,10	0,81	5,82	11,19	27,97	12,03	18,93	3,53	34,50	5,18
G-23₁	48,30	4,57	1,86	0,06	8,87	0,53	3,28	6,09	18,77	5,87	12,39	2,59	20,85	4,10
G-23₂	45,43	5,63	2,69	0,08	13,38	1,17	6,08	8,82	29,45	10,65	17,59	2,95	31,19	4,90
G-24₁	33,00	4,65	3,95	0,14	16,59	2,22	12,16	19,30	50,27	15,47	30,04	7,02	52,53	4,16
G-24₂	45,51	6,36	4,29	0,15	21,79	1,72	21,79	10,04	47,88	23,01	28,47	4,94	56,42	5,46
G-25₁	45,52	5,31	2,38	0,08	12,33	0,74	5,06	8,96	27,09	9,16	15,53	5,49	30,18	4,66
G-25₂	52,80	8,32	2,58	0,08	21,80	1,10	8,63	10,70	42,23	12,67	21,36	2,20	36,23	7,01
G-26₁	41,90	4,20	2,28	0,07	9,59	0,77	4,40	8,13	22,89	8,75	13,48	4,05	26,28	3,83
G-26₂	32,60	4,14	3,49	0,09	14,00	1,59	3,64	23,71	42,94	7,25	43,44	2,30	52,99	3,78



Mapa 16. Distribución espacial de sodio 2006



Mapa 17. Distribución espacial de cloruros 2006

5.3.2. Variación espacial de la sales

Cuando analizamos los datos obtenidos para cationes en Solonchaks (Tabla 5.18), se puede ver como en el 2002, Na^+ y K^+ presentan valores muy similares en superficie y profundidad, mientras que Mg^{+2} experimenta un incremento de 47,37 meq l^{-1} a 73,65 meq l^{-1} en profundidad. Todo lo contrario le sucede al Ca^{+2} , que tanto en 2002 como en el resto de años analizados tiene una concentración más alta en superficie.

En los siguientes muestreos, Na^+ , K^+ y Mg muestran valores aparentemente más elevados en profundidad tanto en 2004 como en el de 2006. Entre los aniones, los Cl^- y SO_4^{-2} aparentemente tienden también a acumularse en profundidad, independientemente del tipo de suelo del que se trate, como se ve en las Tablas 5.20 y 5.21, mientras que los NO_3^- parece que se concentran en la superficie.

A modo de conclusión, aunque aparentemente en Solonchaks se han evidenciado diferencias entre los horizontes superficiales y de profundidad, dichas diferencias espaciales entre las concentraciones de cationes y/o aniones en ninguno de los muestreos son estadísticamente significativas

En Fluvisoles, la tendencia del Na^+ y Ca^{+2} es semejante a Solonchaks, es decir, tiende a acumularse en profundidad.

El K^+ no tiene un comportamiento tan claro, ya que en los dos primeros muestreos permanece en niveles muy semejantes tanto en superficie como en profundidad, para terminar siguiendo una tendencia análoga al Na^+ , es decir, acumulándose en profundidad. Sin embargo, el Mg^{+2} tiende a mantener concentraciones similares en los horizontes superficiales y de profundidad. La dinámica de los Cl^- en Fluvisoles sigue el mismo patrón de distribución que en Solonchaks al igual que los SO_4^{-2} se, mientras que los NO_3^- lo hace en superficie.

Finalmente, en cuanto a la distribución espacial, en Fluvisoles no se han encontrado diferencias significativas definitivas entre los niveles de iones en los horizontes de superficie y de profundidad, aunque utilizando el test no paramétricos (de U Manny Whitney), se ha podido establecer que las concentraciones de K^+ y Ca^{+2} en 2002 son significativamente más altas en superficie, las de Na^+ en 2004 ocurre lo contrario y, finalmente las de SO_4^{-2} en 2006 también son superiores las de la superficie que las de profundidad.

Tabla 5.18. Estadísticos descriptivos cationes 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Solonchaks

	2002							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	569,70	519,20	11,12	12,06	78,34	167,00	80,88	46,90
Mínimo	26,08	32,50	,98	1,52	19,20	13,10	32,02	18,90
Máximo	595,78	551,70	12,10	13,58	97,54	180,10	112,90	65,80
Media	263,12	268,03	6,70	7,02	47,37	73,65	51,31	38,08
Mediana	257,78	199,80	8,26	6,25	46,34	58,96	34,90	32,23
D.Típica	222,38	231,55	4,55	5,68	30,90	68,08	34,80	18,09
	2004							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	555,70	529,28	8,40	16,31	83,50	199,17	68,60	38,32
Mínimo	11,70	34,20	1,70	1,69	4,20	16,99	13,20	,00
Máximo	567,40	563,48	10,10	18,00	87,70	216,16	82,00	38,32
Media	223,20	254,35	4,94	8,30	31,72	84,99	50,28	19,22
Mediana	99,80	257,01	2,60	6,00	13,10	79,49	40,70	24,77
D.Típica	232,50	210,00	3,91	6,90	34,87	79,62	30,23	18,20
	2006							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	528,67	571,51	10,79	28,59	75,45	173,03	124,79	63,05
Mínimo	54,63	63,66	3,38	3,63	19,69	24,34	36,46	28,00
Máximo	583,30	635,17	14,17	32,22	95,14	197,37	161,25	91,05
Media	285,71	340,23	10,41	15,11	64,17	85,41	64,21	54,76
Mediana	288,89	314,87	12,74	13,61	84,07	48,17	40,90	39,00
D Típica	212,34	250,07	4,47	11,412	37,63	74,51	54,28	27,88

Tabla 5.19. Estadísticos descriptivos cationes 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Fluvisoles

	2002							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	39,98	138,45	2,28	2,92	21,13	47,19	55,40	31,14
Mínimo	3,87	3,45	,32	,04	4,47	2,67	7,00	,00
Máximo	43,85	142,90	2,60	2,96	25,60	49,86	62,40	31,14
Media	18,15	22,39	,84	,5910	11,17	10,54	21,69	12,64
Mediana	17,18	15,39	,79	,42	8,00	8,61	20,09	13,70
D.Típica	9,47	29,25	,47	,64	5,78	10,09	13,45	6,98
	2004							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	32,48	57,59	2,28	1,78	23,39	29,44	32,28	46,51
Mínimo	3,78	4,53	,22	,40	1,36	1,75	2,76	3,86
Máximo	36,26	62,12	2,50	2,18	24,75	31,19	35,04	50,37
Media	13,91	23,77	1,03	,90	9,12	11,09	14,54	16,18
Mediana	11,08	18,17	1,07	,69	8,24	8,37	13,21	12,90
D.Típica	8,54	16,69	,56	,49	6,51	8,34	10,60	10,57
	2006							
	Na ⁺		K ⁺		Mg ⁺²		Ca ⁺²	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	66,82	45,44	3,66	39,15	34,34	27,89	31,63	25,45
Mínimo	8,87	12,03	,10	,62	2,90	2,58	2,85	5,65
Máximo	75,69	57,47	3,76	39,77	37,24	30,47	34,48	31,10
Media	21,52	21,63	1,42	3,06	9,82	9,28	12,46	13,28
Mediana	15,0700	17,72	,86	1,10	5,36	7,03	8,96	11,44
D.Típica	17,12	11,18	1,12	8,42	9,84	6,66	9,12	6,46

Tabla 5.20. Estadísticos descriptivos aniones 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Solonchaks

	2002					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	545,88	552,60	233,23	155,05	nd	nd
Mínimo	28,90	37,90	32,53	50,15	nd	nd
Máximo	574,78	590,50	265,76	205,20	nd	nd
Media	256,36	290,86	127,26	104,15	nd	nd
Mediana	230,59	230,89	118,08	75,40	nd	nd
D.Típica	209,94	252,24	88,49	65,16	nd	nd
	2004					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	406,90	659,30	183,20	169,57	nd	nd
Mínimo	6,40	36,59	20,10	42,01	nd	nd
Máximo	413,30	695,89	203,30	211,58	nd	nd
Media	186,20	286,58	102,90	98,50	nd	nd
Mediana	86,70	302,30	79,00	79,37	nd	nd
D.Típica	184,04	261,96	74,021	66,53	nd	nd
	2006					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	505,65	507,65	203,97	154,94	nd	nd
Mínimo	65,73	63,73	52,20	150,34	nd	nd
Máximo	571,38	571,38	256,17	122,71	nd	nd
Media	279,70	279,30	128,30	150,34	nd	nd
Mediana	299,83	299,83	136,58	122,71	nd	nd
D.Típica	192,53	193,08	82,49	72,09	nd	nd

Tabla 5.21. Estadísticos descriptivos aniones 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Fluvisoles

	2002					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	36,88	186,73	33,99	76,12	12,03	8,41
Mínimo	3,22	2,72	4,84	5,05	0,00	0,00
Máximo	40,10	189,45	38,83	81,17	12,03	8,41
Media	17,58	22,12	22,35	23,63	3,97	1,45
Mediana	17,76	11,77	21,40	21,11	2,42	,98
Desv.	9,976	39,42	10,33	16,45	3,95	1,92
Típica						
	2004					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	43,66	58,05	38,02	64,84	15,61	11,40
Mínimo	1,59	2,94	3,33	5,56	0,00	0,00
Máximo	45,25	60,99	41,35	70,40	15,61	11,40
Media	11,95	18,81	17,86	26,13	4,47	2,59
Mediana	9,89	12,60	12,51	20,64	2,02	2,00
Desv.	9,85	17,53	12,80	18,42	5,38	2,93
Típica						
	2006					
	Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Rango	92,37	52,20	62,14	51,55	9,90	12,29
Mínimo	5,87	7,25	8,28	9,97	,00	,00
Máximo	98,24	59,45	70,42	61,52	9,90	12,29
Media	19,65	19,16	23,62	28,74	4,27	3,15
Mediana	13,46	17,08	16,97	23,14	4,05	2,30
Desv.	21,59	11,99	18,51	13,97	2,956	2,76
Típica						

5.3.3. Correlaciones entre iones

Después de estudiar la distribución de los cationes y aniones a diferentes profundidades en los tres muestreos, se ha realizado un análisis estadístico de la correlación entre los cationes y aniones del extracto de saturación y la CE, tanto en superficie como en profundidad. Para ello se han efectuado correlaciones bivariadas y se ha calculado el coeficiente de Spearman.

El par Na^+/Cl^- es el que mayor correlación presenta tanto en superficie como en profundidad durante la mayor parte del periodo de muestreo, salvo en 2004, donde los pares $\text{Mg}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ y $\text{Na}^+/\text{SO}_4^{-2}$ tienen valores más altos. El cloruro sódico es una sal muy soluble (264 g/l), que en elevadas concentraciones hace disminuir la de otras sales por el efecto de ión común y su solubilidad no varía con la temperatura. Suele encontrarse formando eflorescencias en superficie durante la estación seca. La presencia de yeso en el suelo facilita su lavado a lo largo del perfil y en su ausencia se encuentra como sodio intercambiable en el complejo de cambio. Su toxicidad es muy elevada a bajas concentraciones.

Como ya se ha mencionado, el Na^+ también muestra una buena correlación con los SO_4^{-2} , formando el sulfato sódico, muy frecuente en los suelos salinos junto al cloruro sódico, forma eflorescencias en superficie, caracterizadas por tener un sabor salado y a jabón. Su composición molecular varía en función de la humedad del suelo dando lugar a dos especies minerales: thenardita (SO_4Na_2) durante los periodos de sequía y mirabilita ($\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) en los periodos húmedos, pudiéndose presentar grados de hidratación intermedios

El par K^+/Cl^- , en los horizontes de profundidad y los muestreos de 2002 y 2004, alcanza valores también muy altos (superiores a 0.90), al igual que $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$, esta vez en superficie. Hay que destacar asimismo que en superficie el Mg^{+2} tiene mayores coeficientes de correlación que en profundidad, donde es sustituido por el K^+ , por otro lado, el Ca^{+2} siempre está mejor correlacionado con los SO_4^{-2} que con los Cl^- .

Con respecto a la CE, el Mg^{+2} en la mayoría de los casos es el ion mejor correlacionado con la CE inmediatamente por delante del Na^+ , y entre los aniones los sulfatos mejor que los cloruros. En los estudios llevados a cabo por Visconti en la Vega Baja del Segura (2009), la correlación de los iones con la CE eran por orden: magnesio,

sodio, cloruro, sulfato y calcio. Hernandez *et al.*,(2002) en el Valle del Guadalentín observaron que magnesio, cloruro, sodio, calcio y sulfato eran los mejores correlacionados.

Un elevado contenido en el suelo de sales solubles como los cloruros, sulfatos y bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio, provoca problemas de asimilación de agua por las plantas debido al aumento de la presión osmótica de la solución del suelo, además de los problemas de toxicidad por algunos elementos, en particular Cl y Na (Keren, 2001), y los desequilibrios nutricionales por interacciones entre los iones, por ejemplo, el Na^+ induce deficiencias de Ca^{+2} y/o K^+ , y el Ca^{+2} puede producir deficiencias de Mg^{+2} en algunas plantas (Grattan y Grieve, 1992).

El K_2SO_4 es frecuentemente utilizado para cultivos donde el Cl^- que posee el KCl no es deseable. El índice salino del K_2SO_4 es menor comparado con otras fuentes comunes de K^+ , es decir que incrementa menos la salinidad total por unidad de K.

En cuanto a los nitratos, las correlaciones no son significativas con los cationes y aniones analizados y los coeficientes de correlación son negativos y muy bajos. Como ya hemos comentado anteriormente suelen aparecer en suelos cultivados. Se caracterizan por su elevada solubilidad, aspecto determinante a la hora de ser elegidos como fertilizantes fundamentalmente en sistemas de fertirrigación. Dado su uso generalizado como fuente de nitrógeno y otros elementos nutritivos (Ca, Mg, K, etc.), en ocasiones en cantidades abusivas, no es extraño encontrar concentraciones anormalmente altas de nitratos tanto en suelos como aguas, pudiendo provocar problemas de contaminación de acuíferos y horizontes subsuperficiales del suelo.

Aunque no hemos estudiado el comportamiento de los carbonatos y bicarbonatos de sodio, sí que hemos visto anteriormente en el capítulo IV que el carbonato cálcico es muy abundante en estos suelos, pero hay que destacar que no suele provocar problemas de salinización ya que es una sal muy poco soluble (0,0013 g/l). Asociada a esta sal aparece también el carbonato magnésico, más soluble, pero que no se suelen acumular como el carbonato cálcico, ya que el magnesio es adsorbido por los filosilicatos de las arcillas.

Tabla 5.22. Correlaciones cationes/aniones 2002, 2004 y 2006

Correlaciones cationes/aniones 2002 (0-30 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,627**	1,000						
Mg ⁺²	,911**	,784**	1,000					
Ca ⁺²	,724**	,818**	,837**	1,000				
Cl ⁻	,939**	,547**	,870**	,681**	1,000			
SO ₄ ⁻²	,875**	,677**	,830**	,796**	,763**	1,000		
NO ⁻³	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1,000	
CE	,896**	,715**	,925**	,787**	,862**	,845	,095	1,000

Correlaciones cationes/aniones 2002 (30-60 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,976**	1,000						
Mg ⁺²	,574**	,613**	1,000					
Ca ⁺²	,749**	,797**	,562**	1,000				
Cl ⁻	,978**	,953**	,589**	,706**	1,000			
SO ₄ ⁻²	,911**	,925**	,572**	,791**	,899**	1,000		
NO ⁻³	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CE	,969**	,567**	,959**	,761**	,776**	,933**	-,136	1,000

Correlaciones cationes/aniones 2004 (0-30 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,781**	1,000						
Mg ⁺²	,794**	,761**	1,000					
Ca ⁺²	,815**	,811**	,945**	1,000				
Cl ⁻	,901**	,706**	,759**	,781**	1,000			
SO ₄ ⁻²	,921**	,837**	,889**	,938**	,807**	1,000		
NO ⁻³	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CE	,906**	,845**	,933**	,971**	,852**	,969**	,127	1,000

Correlaciones cationes/aniones 2004 (30-60 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	NO ⁻³	SO ₄ ⁻²	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,871**	1,000						
Mg ⁺²	,904**	,903**	1,000					
Ca ⁺²	,445*	,439*	,553**	1,000				
Cl ⁻	,945**	,908**	,950**	,472*	1,000			
NO ⁻³	ns	ns	ns	ns	ns	1,000		
SO ₄ ⁻²	,851**	,794**	,854**	,380	,862**	-,273	ns	
CE	,955**	,920**	,973**	,525**	,963**	-,231	,967**	1,000

Correlaciones cationes/aniones 2006 (0-30 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,759**	1,000						
Mg ⁺²	,872**	,859**	1,000					
Ca ⁺²	,772**	,801**	,929**	1,000				
Cl ⁻	,934**	,813**	,867**	,750**	1,000			
SO ₄ ⁻²	,843**	,885**	,926**	,875**	,823**	1,000		
NO ⁻³	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CE	,938**	,850**	,946**	,880**	,896**	,906**	-,213	1,000

Correlaciones cationes/aniones 2006 (30-60 cm)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ⁻³	CE
Na ⁺	1,000							
K ⁺	,671**	1,000						
Mg ⁺²	,629**	,802**	1,000					
Ca ⁺²	,722**	,528**	,512**	1,000				
Cl ⁻	,901**	,622**	,628**	,740**	1,000			
SO ₄ ⁻²	,802**	,587**	,604**	,830**	,706**	1,000		
NO ₃ ⁻	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CE	,865**	,553**	,547**	,887**	,905**	,828**	-,182	1,000

** La correlación es significativa al nivel 0,001

5.4. Relación de Adsorción de sodio

5.4.1. Variación temporal del RAS

La sodificación es un proceso físico-químico por el cual se altera la composición del complejo de intercambio (interfase) debido a un aumento progresivo del porcentaje de Na^+ intercambiable por desplazamiento de cationes divalentes, principalmente Ca^{+2} y Mg^{+2} , por Na^+ . Puede tratarse de un proceso edafogénico natural o bien ser un proceso de degradación del suelo por la utilización de aguas de riego con elevado contenido en sodio. El grado de sodificación se mide por el porcentaje de sodio intercambiable. La alcalinización es un proceso de sodificación al que acompaña un aumento del pH a valores de 10-12 debido a la presencia de carbonato sódico o hidrogenocarbonato sódico, que son altamente solubles, tienen una reacción fuertemente alcalina (pH de 10 a 12) y su presencia resulta muy desfavorable para la plantas. (Porta, 2014).

Para estimar la alcalinización o el grado de sodización de un suelo se utiliza el Porcentaje de Sodio de Cambio (PSC) que da una idea del la cantidad de sodio que hay adsorbido en el complejo de cambio. Generalmente se utiliza el sodio de cambio y la capacidad de cambio para calcularlo, pero en los suelos con sales solubles es muy difícil su estimación ya que no sólo hay que tener en cuenta el error del método utilizado sino la interferencia de las sales solubles. Por ello, el US Salinity Laboratory (Richards, 1974) propone estimar el PSC a partir del RAS (Razón de Adsorción de Sodio), que es calculado teniendo en cuenta las concentraciones de sodio, calcio y magnesio que hay en el extracto de saturación, ya que es mucho más complicado medir los cationes de cambio que los de la disolución del suelo (Aragües y Cerdá, 1998). La fórmula que se ha empleado para el cálculo del PSC es la siguiente:

$$\text{PSC} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})}$$

Los suelos, según su PSC, pueden ser clasificados como (Massoud, 1971):

Categoría	PSC
No sódicos	0-7
Ligeramente sódicos	7-15
Moderadamente sódicos	15-20
Fuertemente sódicos	20-30
Extremadamente sódicos	>30

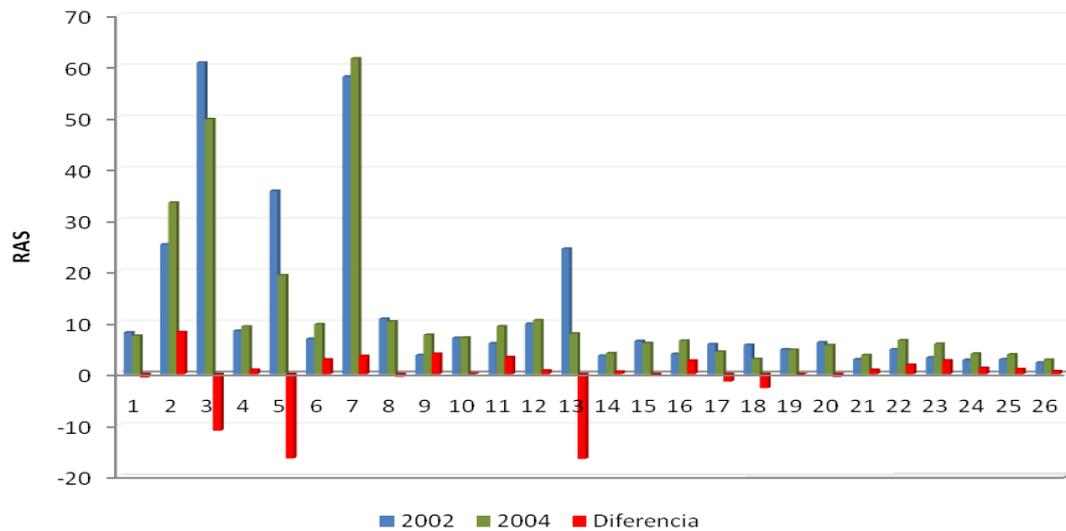
En la siguiente tabla se muestran los estadísticos descriptivos del RAS:

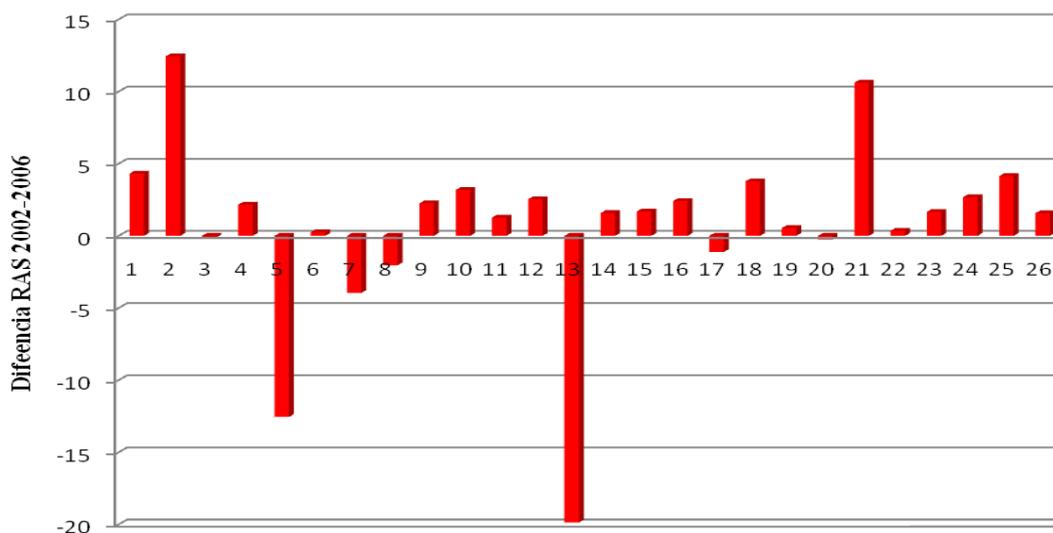
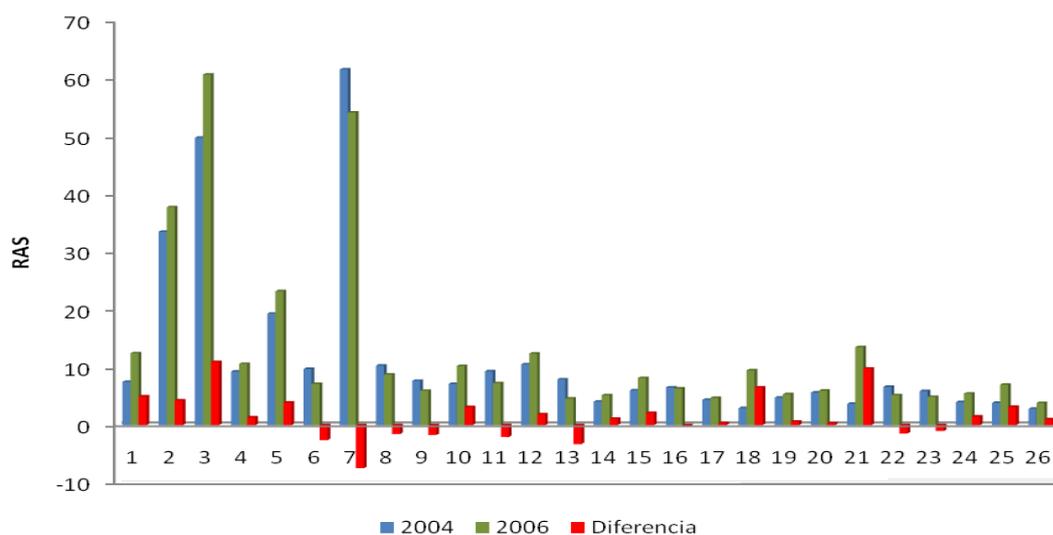
Tabla 5.23. Estadísticos descriptivos del RAS durante el periodo de estudio

	Solonchaks			Fluvisoles		
	02	04	06	02	04	06
Rango	52,67	54,12	48,20	22,20	7,71	9,67
Mínimo	8,13	7,48	12,44	2,26	2,8	3,83
Máximo	60,80	61,60	60,77	24,46	10,53	15,30
Media	37,61	34,32	37,64	6,31	6,33	7,24
Mediana	35,75	33,49	37,74	5,70	6,04	6,34
Desv. Típica	22,25	21,96	20,29	4,76	2,46	2,68
Varianza	495,21	482,31	411,81	22,71	6,09	7,19

Los valores medios de RAS en Solonchaks no han variado nada a lo largo de los 4 años de estudio, aunque sí ha disminuido la varianza, desviación típica y rango en el que fluctúan los datos, lo que nos indica es que tiende a ser una población más homogénea. Los valores de RAS en la muestra 3 y 5 disminuyen en el segundo muestreo y aumentan en el tercero, al contrario de lo que sucede en la muestra 7. En los tres muestreos se cumple con la condición de normalidad y como era de esperar al ver los resultados de los estadísticos descriptivos al realizar un Test de T de Student no se observan diferencias significativas entre muestreos.

En Fluvisoles si vemos que hay un aumento del RAS entre el último periodo de muestreo, al principio era de 6,31 y en 2006 de 7,24. Las diferencias que se encuentran en el rango, varianza y desviación típica se deben a una disminución de los valores mínimos y máximos, como a la muestra nº 13 que resulta discordante en el 2002. Los datos del 2002 y 2006 no siguen una distribución normal. Si observamos el Gráfico 5.20, donde se muestra los incrementos de RAS a lo largo de los 4 años, vemos que en 17 muestras se han producido aumentos en este parámetro y el análisis estadístico (Wilcoxon), evidencia que no existen diferencias significativas del RAS entre los muestreos 2002-2004, 2004-2006 pero si entre el periodo comprendido entre 2002-2006 con una valor de $P=0,007$. Es de destacar que en los estudios llevados a cabo por Martínez (2005) el RAS ajustado de las aguas de riego de la zona variaba entre 17,59 y 19,09 por lo que se consideraba que eran aguas de calidad baja que podían inducir un aumento del RAS en los suelos donde se utilizaban para riego.





Gráficos 5.18, 5.19 y 5.20 . Evolución del RAS durante los años 2002,2004 y 2006.

5.4.2. Evolución del PSC

Como se observa en el siguiente gráfico, se ha producido un aumento de muestras catalogadas como ligeramente sódicas, ligado a una disminución en el porcentaje de suelos no sódicos (Gráfico 5.21 y Tabla 5.24).

En el 2002, el 46% de las muestras son no sódicas, 35% ligeramente sódicas, 8% fuertemente sódicas y un 11% extremadamente sódicas. Mientras que en 2006, el 27% son no sódicas, 54% ligeramente sódicas, 4% moderadamente sódicas, 4 % fuertemente sódicas y 11% extremadamente sódicas.

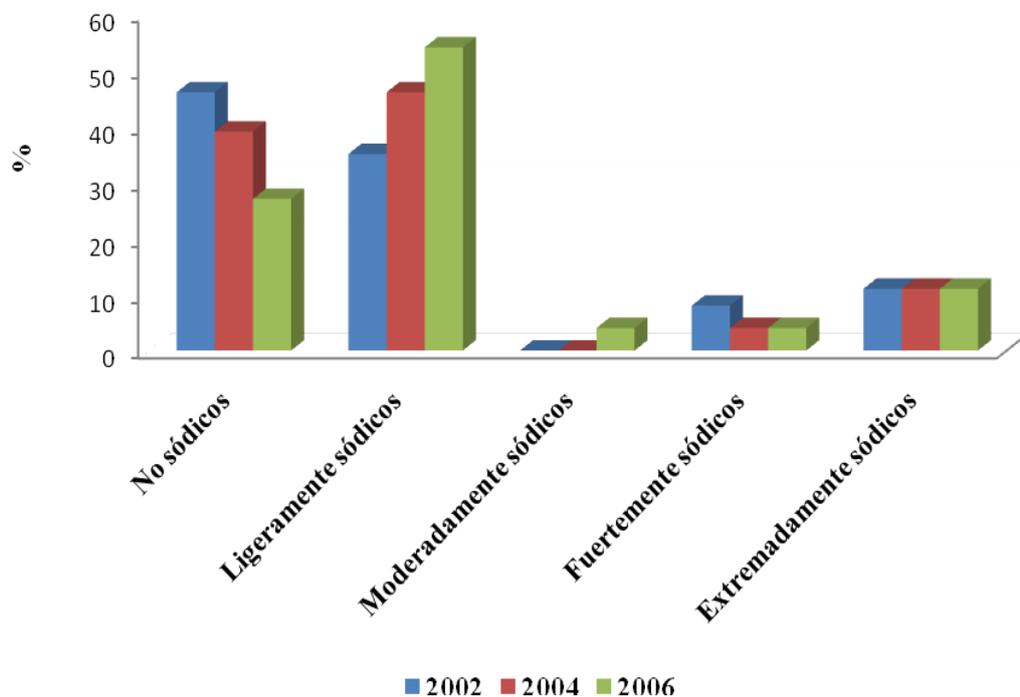


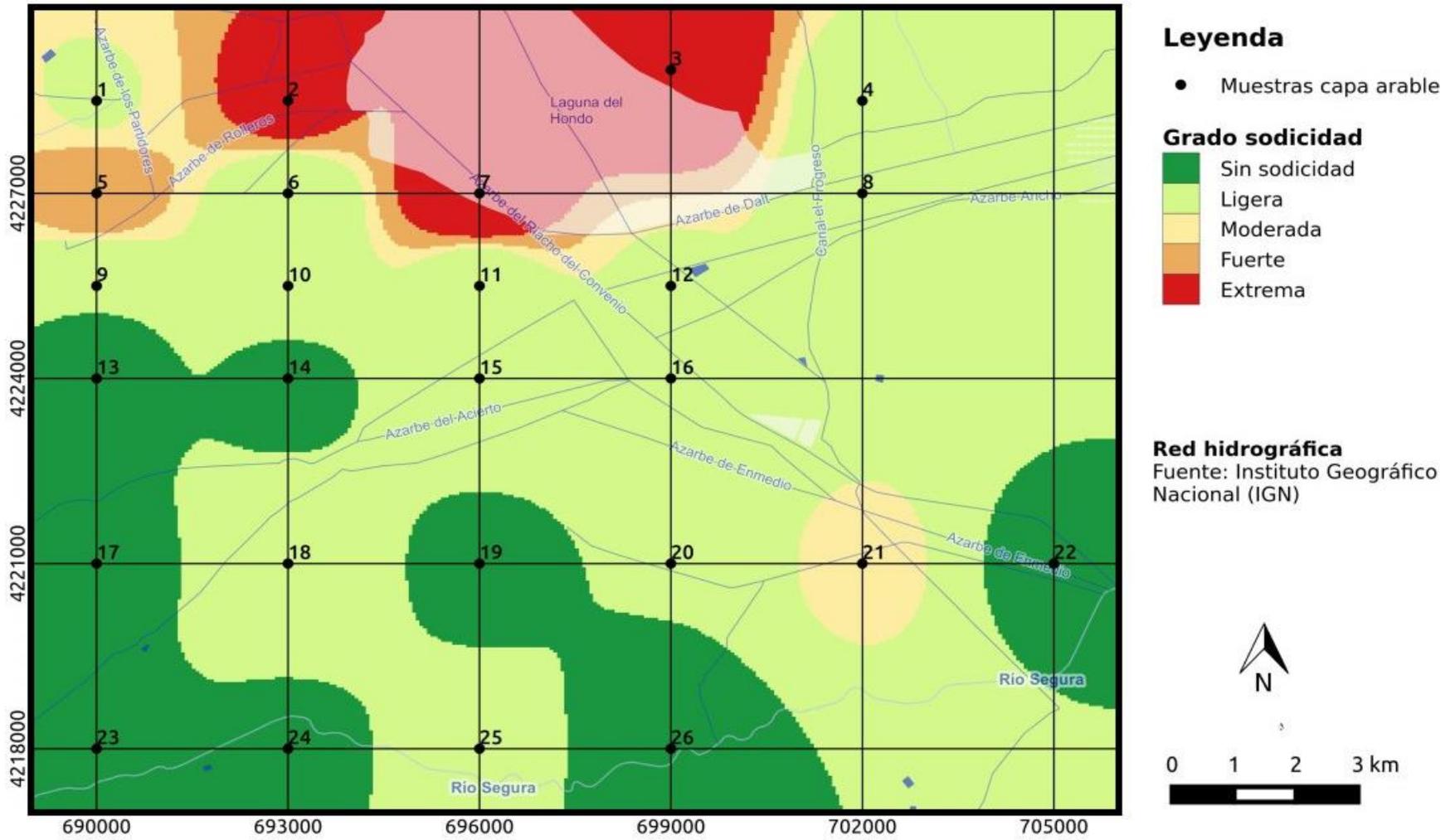
Gráfico 5.21. Evolución del Porcentaje de Sodio de Cambio (2002-2006)

Los Solonchaks son los suelos que presentan un mayor porcentaje de sodio de cambio a lo largo de todos los muestreos y van a ser las muestras que aparecen como fuertemente o extremadamente salinas, a excepción de la muestra 1. Ha disminuido en la muestra nº 5 y ha aumentado en la nº2, lo que puede ser justificado por los cambios que ha habido en la CE de estas muestras.

En Fluvisoles, sí que se ve una mayor evolución de las muestras en el PSC: ha aumentado en las muestras nº 9, 16,18, 25 y 26, que han pasado de ser no sódicas a ser ligeramente sódicas. Y destacamos el descenso significativo que se ha producido en las muestra nº 13 que de ser fuertemente sódica ha pasado a ser no sódica y la nº 21 que ha incrementado su PSC y finalmente es moderadamente sódica. En el Mapa 18 vienen representadas las muestras analizadas y su clasificación en función de su sodicidad.

Tabla 24. Evolución del PSC durante el periodo comprendido entre 2002 y 2006

	2002	2004	2006
G-1	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-2	Fuertemente sódico	Extremadamente sódico	Extremadamente sódico
G-3	Extremadamente sódico	Extremadamente sódico	Extremadamente sódico
G-4	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-5	Extremadamente sódico	Fuertemente sódico	Fuertemente sódico
G-6	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-7	Extremadamente sódico	Extremadamente sódico	Extremadamente sódico
G-8	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-9	No sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-10	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-11	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-12	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-13	Fuertemente sódico	Ligeramente sódico	No sódico
G-14	No sódico	No sódico	No sódico
G-15	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-16	No sódico	Ligeramente sódico	Ligeramente sódico
G-17	No sódico	No sódico	No sódico
G-18	No sódico	No sódico	Ligeramente sódico
G-19	No sódico	No sódico	No sódico
G-20	Ligeramente sódico	No sódico	Ligeramente sódico
G-21	No sódico	No sódico	Moderadamente sódico
G-22	No sódico	Ligeramente sódico	No sódico
G-23	No sódico	No sódico	No sódico
G-24	No sódico	No sódico	No sódico
G-25	No sódico	No sódico	Ligeramente sódico
G-26	No sódico	No sódico	Ligeramente sódico



Mapa 18. Porcentaje de sodio de cambio

5.4.3. Velocidad de alcalinización

Al igual que con la CE es interesante conocer cuál ha sido la velocidad de alcalinización a lo largo de estos 4 años de muestreo, para poder comprobar en estudios posteriores si se mantiene a lo largo del tiempo este proceso de degradación.

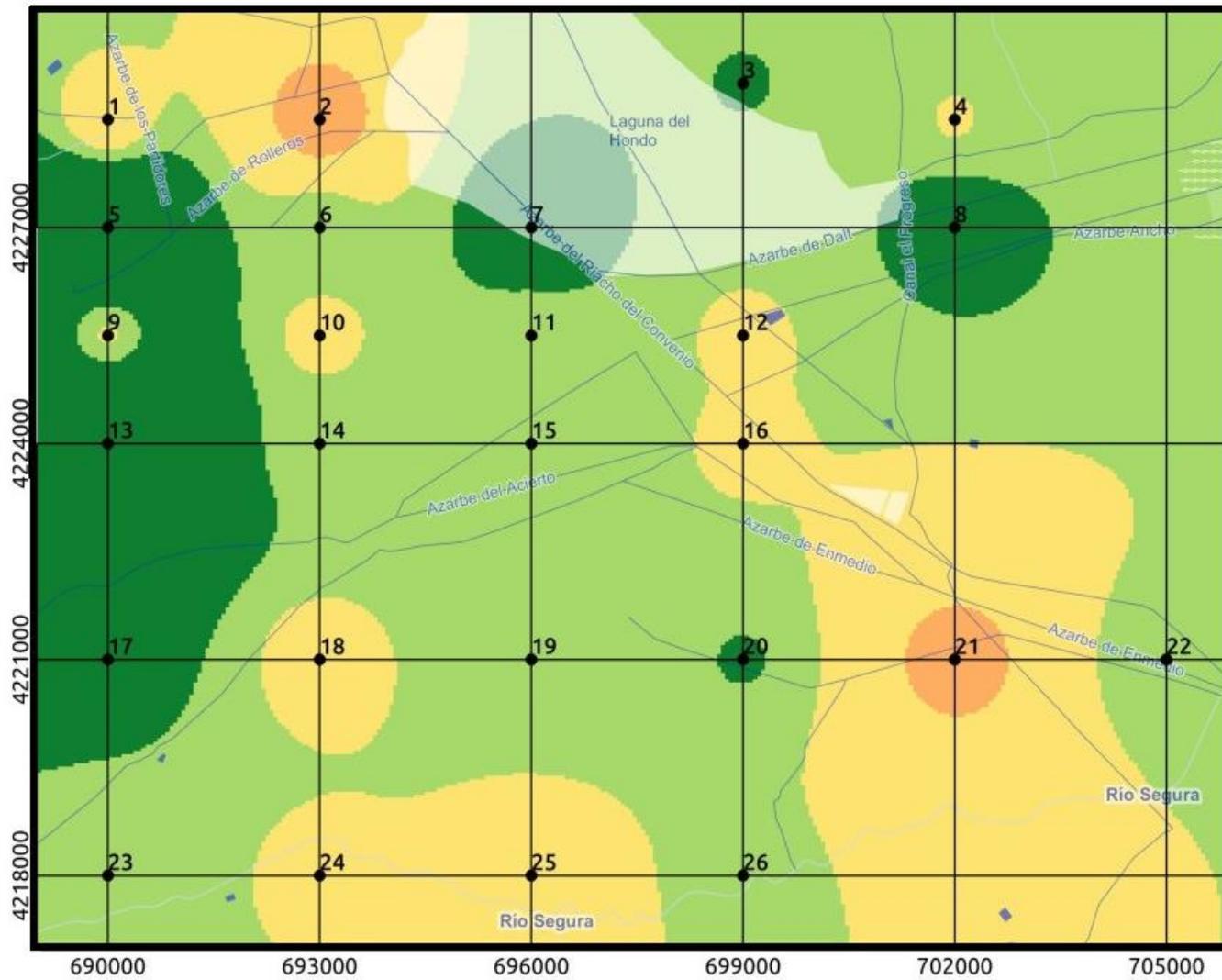
La velocidad de alcalinización de los suelos muestreados a lo largo del periodo 2002-2006 aparece representada en el Mapa 19. Las clases establecidas por el indicador de velocidad de alcalinización han sido las establecidas por Vidal (2003) y Martínez *et al.* (2005) siguiendo las recomendaciones de FAO-PNUMA (1984) y se clasifican en: negativa, ligera, moderada, grave y muy grave.

El análisis de los resultados pone de manifiesto que en un 35% de las muestras la velocidad de alcalinización es moderada, 31% ligera, 27% negativa y 7% grave.

No podemos decir que el riego con aguas de mala calidad sea únicamente la causa de la alcalinización, ya que en la muestra 2, clasificada como Solonchaks y que posee vegetación propia de saladar, la velocidad de alcalinización ha sido grave. En el resto de Solonchaks, excepto la muestra 1, si se ha visto como la velocidad ha sido negativa. Además de los Solonchaks también aparecen con velocidades de alcalinización negativas las muestras 8,13,17,20, que a lo largo del periodo de estudio han estado en barbecho o de regadío.

Los suelos sódicos se forman en zonas llanas o ligeramente onduladas, en climas con veranos secos y calurosos (regiones semiáridas, templadas y subtropicales) a partir de materiales detríticos terrígenos no consolidados de textura fina, más o menos salinizados con sales ricas en sodio). También en antiguos depósitos marinos o materiales aluviales, también loess, que se han secado de forma natural o que han sido drenados (Porta, 2014).

Las muestras donde la velocidad de alcalinización es ligera o moderada, son de parcelas que están en barbecho durante ciertos periodos del año, cultivos abandonados o cultivos con escasas necesidades riego.



Mapa 19. Velocidad de Alcalinización 2002-2006

Legenda

● Muestras capa arable

Evolución del RAS

- Negativa
- Ligera
- Moderada
- Grave
- Muy grave

Red hidrográfica

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)



6. CAPACIDAD DE USO Y FERTILIDAD

6.1. Capacidad de uso agrícola

Tanto en suelos naturales como en zonas antropizadas se hace cada vez más necesaria una planificación territorial de forma que, según las características que presente el suelo y el medio, se establezcan, las limitaciones y las cualidades favorables del terreno, para poder definir el uso más adecuado. Uno de los métodos que sirve para esta ordenación del territorio es el estudio de la capacidad de uso basada principalmente en propiedades del suelo, procesos y en características climáticas. La capacidad de uso agrícola de un suelo es la aptitud que tiene ese suelo para su utilización, atendiendo tanto a sus características como a los factores ambientales que sobre él están actuando.

El método que se utiliza en este trabajo para evaluar la capacidad de uso agrícola (Aguilar y Ortiz, 1992) permite determinar un índice de productividad del terreno en las condiciones actuales por la multiplicación de índices parciales de una serie de características intrínsecas y extrínsecas del suelo. Se trata de un sistema paramétrico multiplicativo que establece una escala continua para la evaluación del suelo. Este método resulta muy eficaz para la planificación territorial, ya que estima cuales son las limitaciones principales de los suelos a la vez que indica los usos que se consideran más idóneos para cada área (Ortiz *et al.*, 1993).

Este método está estructurado en órdenes, clases, subclases y unidades. Los ordenes indican los suelos que son aptos (S) o no aptos (N) para el uso agrícola, mientras que las clases reflejan el grado de aptitud dentro del orden. Se pueden diferenciar tres clases según su aptitud agrícola:

S

- S1 elevada.
- S2 moderada.
- S3 baja o marginal.

y dentro del orden de aptitud no agrícola se distinguen dos clases:

N

- N1 no apta en condiciones actuales.
- N2 no apta permanentemente.

La subclase viene indicada por el limitante principal, mientras que la unidad establece diferencias dentro de la misma subclase en función del uso recomendable. Los factores limitantes considerados son: pendiente (i), espesor o profundidad útil (e), rocosidad (r), pedregosidad (p), textura o granulometría (g), drenaje (d), salinidad (s), toxicidad (t) y el número de meses en los que el suelo está por debajo del punto de marchitamiento (h). Para cada uno de estos parámetros se han establecido los niveles o umbrales a nivel clasificatorio, con su correspondiente evaluación:

Pendiente (i):

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- 0-2%	100
Clase 2.- 2-7%	80
Clase 3.- 7-15%	60
Clase 4.- 15-30%	40
Clase 5.- >30%	20

Profundidad útil (e):

Se determina mediante barrena o apertura de calicata. Se ha seguido la clasificación propuesta por FAO (1977):

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- >120 cm	100
Clase 2.- 90-120	100
Clase 3.- 60-90	80
Clase 4.- 30-60	50
Clase 5.- 10-30	20
Clase 6.- <10	5

Para rocosidad, pedregosidad y drenaje se han seguido los criterios dados por FAO (1977):

Rocosidad (r):

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 0.- Ninguna o muy pocas rocas	100
Clase 1.- Moderadamente rocoso	80
Clase 2.- Rocosos	60
Clase 3.- Muy rocoso	40
Clase 4.- Extremadamente rocoso	20

Pedregosidad (p):

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 0.- Sin piedras o muy pocas	100
Clase 1.- Moderadamente pedregoso	90
Clase 2.- Pedregoso	60
Clase 3.- Muy pedregoso	30
Clase 4.- Excesivamente pedregoso	20
Clase 5.- Terreno riposo	10

Drenaje (d):

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 0.- Muy escasamente drenado	10
Clase 1.- Escasamente drenado	30
Clase 2.- Imperfectamente drenado	40
Clase 3.- Moderadamente bien drenado	80
Clase 4.- Bien drenado	100
Clase 5.- Algo excesivamente drenado	90
Clase 6.- Excesivamente drenado	80

Granulometría (g):

La textura se ha determinado según la metodología de campo (Palmer y Troech, 1977). Se ha empleado la siguiente escala:

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- Arcillosa	85
Clase 2.- Arcillo-limosa	90
Clase 3.- Arcillo-arenosa	90
Clase 4.- Franco arcillosa	100
Clase 5.- Franco arcillo limosa	95
Clase 6.- Franco arcillo arenosa	95
Clase 7.- Franca	60
Clase 8.- Franco-limosa	70
Clase 9.- Franco-arenosa	50

Salinidad (s):

Se ha medido la conductividad del extracto de saturación.

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- < 2 dS m ⁻¹	100
Clase 2.- 2-4 dS m ⁻¹	85
Clase 3.- 4-8 dS m ⁻¹	50
Clase 4.- 8-16 dS m ⁻¹	30
Clase 5.- > 16 dS m ⁻¹	10

Toxicidad (t):

Se ha determinado atendiendo al pH medido en suspensión acuosa 1:1, según la siguiente escala:

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- < 4	20
Clase 2.- 4-5.8	75
Clase 3.- 5.8-7.6	100
Clase 4.- 7.6-8.5	90
Clase 5.- > 8.5	35

Humedad útil (h):

Por ello se ha seguido la siguiente gradación:

<u>Tipos</u>	<u>Evaluación</u>
Clase 1.- 1 ó 2 meses	100
Clase 2.- 3 meses	100
Clase 3.- 4 meses	90
Clase 4.- 5 meses	80
Clase 5.- 6 meses	70
Clase 6.- 7 meses	60
Clase 7.- 8 meses	50
Clase 8.- 9 meses	40
Clase 9.- 10 meses	20
Clase 10.- 11 meses	10
Clase 11. – 12 meses	5

Se ha tenido en cuenta que la mayoría de los suelos estudiados son de regadío.

La evaluación total se determina mediante una fórmula donde se tienen en cuenta todos los parámetros analizados:

$$ET=100(i/100)(e/100)(r/100)(p/100)(g/100)(d/100)(s/100)(t/100)(h/100)$$

Se obtienen así un número de cada muestra que indica la clase a la que pertenece según la siguiente clasificación:

S1	>70
S2	38-70
S3	23-38
N1	10-23
N2	0-10

La unidad va a indicar el uso más adecuado para ese suelo entre los siguientes propuestos:

A- Intensificación en el uso agrícola sin realización de mejoras.

B- Intensificación en el uso agrícola con necesidad de realización de mejoras importantes.

C- Dedicación de pastos para uso ganadero.

D- Repoblación forestal.

E- Dedicación a leñosas de secano.

F- Revegetación con matorral autóctono.

G- Conservación de la zona con su actual estado.

La evaluación de la capacidad de uso agrícola se ha realizado en las muestras tomadas en los años 2006 y en la tabla 6.1 aparecen los valores asignados a cada uno de los parámetros utilizados para determinar las subclases de capacidad de uso agrícola y su clasificación final.

En el 2006 (Gráfico 6.1), un 42% de los suelos estudiados tienen una aptitud agrícola no apta (N), en un 23% es apta moderada (S2) y en un 35% es marginal (S3).

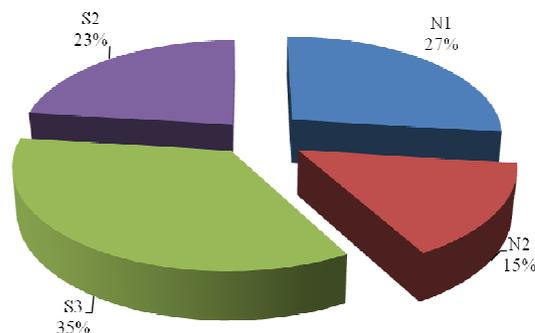


Gráfico 6.1. Porcentaje de clases de capacidad de uso agrícola en el 2006

En ninguno de los dos muestreos aparecen suelos con aptitud agrícola elevada (S1), ya que en todas las muestras existe algún factor limitante (granulometría, salinidad, toxicidad y drenaje). Así, los suelos estudiados pueden encontrarse incluidos en las clases: S2, S3, N1 y N2.

Tabla 6.1. Parámetros indicadores de las subclases y clasificación de las muestras en el 2006

Muestras	i	e	r	p	g	d	S	t	h	Total	Clasificación
G-1	100	100	100	100	90	80	30	90	100	19	N1s-B
G-2	100	100	100	100	85	80	10	90	100	6	N2s-G
G-3	100	100	100	100	85	100	10	90	100	8	N2s-G
G-4	100	100	100	100	85	100	50	35	100	15	N1t-B
G-5	100	100	100	100	70	80	10	90	100	5	N2s-G
G-6	100	100	100	100	85	80	50	90	100	31	S3s-B
G-7	100	100	100	100	95	40	10	90	100	3	N2s-G
G-8	100	100	100	100	90	80	50	90	100	32	S3s-B
G-9	100	100	100	100	90	80	85	90	100	55	S2d-B
G-10	100	100	100	100	95	80	30	90	100	20	N1s-B
G-11	100	100	100	100	95	80	50	90	100	34	S3s-B
G-12	100	100	100	100	95	80	30	90	100	20	N1s-B
G-13	100	100	100	100	90	80	50	90	100	32	S3s-B
G-14	100	100	100	100	95	80	85	35	100	23	N1t-B
G-15	100	100	100	100	85	80	85	90	100	52	S2d-B
G-16	100	100	100	100	85	80	50	90	100	30	S3s-B
G-17	100	100	100	100	90	80	85	90	100	55	S2d-B
G-18	100	100	100	100	60	80	50	90	100	22	N1s-B
G-19	100	100	100	100	90	80	50	90	100	32	S3s-B
G-20	100	100	100	100	90	80	85	90	100	55	S2d-B
G-21	100	100	100	100	70	80	50	90	100	25	S3g-B
G-22	100	100	100	100	95	80	85	90	100	58	S2d-B
G-23	100	100	100	100	70	80	85	90	100	43	S2g-B
G-24	100	100	100	100	70	80	50	90	100	25	S3s-B
G-25	100	100	100	100	60	80	85	35	100	14	N1t-B
G-26	100	100	100	100	60	80	85	90	100	37	S3g-B

En la clase S2 se incluyen aquellos suelos que presentan alguna limitación que reduce la gama de cultivos o hace necesario el empleo de prácticas de conservación moderadas, pero que pueden soportar un laboreo continuado (Ortiz *et al.*, 1993). Los suelos estudiados que se encuentran dentro de esta clase se caracterizan por tener una salinidad comprendida en el rango de 2-4 dS m⁻¹, pH entre 7,6-8,5, drenaje de clase 3 y granulometría o textura que puede ser arcillo-limosa, franco-arcillo-limosa o franco-limosa, típica de los suelos formados a partir de depósitos aluviales, como es en este caso. En la mayoría de los casos el factor limitante más importante es el drenaje, moderadamente lento debido a la textura, aunque también aparece la salinidad como factor limitante en algunas muestras. Estos suelos pueden incluirse dentro de las unidades S2g-B, S2d-B y S2s-B, por tanto, se recomienda la realización de mejoras que tiendan a reducir la salinidad y a mejorar la estructura del suelo. Debido a su granulometría, sería conveniente dedicarlos a cultivos hortícolas que son los mejores adaptados a esta situación, aspecto éste que se observa en toda la zona, ya que después de los cítricos, predominantes en el área estudiada, aparece un mosaico de cultivos hortícolas, donde destacan el brócoli, coliflor, alcachofa, col, apio, etc.

Dentro de la clase S3 las limitaciones de uso de estos suelos son graves y reducen los beneficios o la productividad o incrementan los costes necesarios de tal manera que su empleo sólo se justifica marginalmente (Ortiz *et al.*, 1993). Estos suelos son bastante parecidos a los de la clase anterior, pero son más salinos (4-8 dS m⁻¹). Así, estos suelos pueden incluirse dentro de las subclases S3g y S3s formando las unidades S3g-B y S3s-B porque es necesario realizar una serie de mejoras para su aprovechamiento agrícola. Por un lado, es necesario el empleo de aguas de riego con menor salinidad para que no aumenten más las sales retenidas en el suelo, y por otro la selección de especies vegetales tolerantes a la salinidad.

En el orden N se incluyen los suelos no aptos para el uso agrícola, en condiciones actuales o permanentemente. Suele incluir a los suelos catalogados como Solonchaks y a Fluvisoles con problemas de salinidad y alcalinidad. Los suelos que pertenecen a la clase N1 tienen tan graves limitaciones que no permiten un uso sostenible de los mismos y, aunque pueden corregirse con el tiempo utilizando los medios técnicos adecuados, los costes actuales de estas correcciones son excesivos. Las subclases que pueden aparecer son: N1g, N1s, N1t y N1d. El parámetro más limitante

en este caso es la salinidad que varía entre 8-16 dS m⁻¹, por lo tanto, son suelos salinos. También la toxicidad es un factor limitante en algunas muestras porque sobrepasa el umbral de 8,5 a partir del cual pueden existir problemas de alcalinidad. La mayoría de estos suelos se pueden incluir dentro de una unidad tipo N1-B, pero deberían hacerse importantes mejoras en cuanto al tipo de cultivo, seleccionando especies resistentes a la salinidad como el granado, la palmera, etc, y mejorar las calidades del agua de riego para evitar que siga aumentando la salinidad del suelo. En algunos casos, podría ser aconsejable su conservación (N1s-G). Lo mismo ocurre para la toxicidad, hay que buscar especies tolerantes al sodio y mejorar la calidad del agua evitando aguas ricas en sodio o inducir a la conservación de los suelos afectados con este exceso de pH.

En la clase N2 se incluyen aquellos suelos que no tienen aptitud agrícola, ya que tienen una fuerte limitación que les impide ser rentables económicamente. Como anteriormente se ha comentado, la salinidad es el factor más limitante de la productividad de estos suelos. Lo más rentable en cuanto a uso de estos suelos es su conservación, ya que en la zona se observa vegetación halófila típica de suelos salinos, muy interesante de proteger. Así, se puede clasificar como N2s-G.

Como conclusión, de todos los suelos estudiados en el 2006, se observa que el 58% de ellos tienen aptitud agrícola, mientras que el resto carece de ella. Como ya hemos comentado anteriormente, los factores limitantes de su productividad van a ser el drenaje y la salinidad, influidos tanto por la granulometría como por las bajas precipitaciones de la zona. Estos factores van a condicionar en parte los rendimientos de los cultivos en la zona. Así, los hortícolas van a ser los mejor adaptados a las granulometrías finas y son más tolerantes a la salinidad que los cítricos. Además, estos últimos requieren suelos bastante profundos, bien drenados y ligeramente ácidos, lo que demuestra que los cultivos hortícolas son los más idóneos para estos tipos de suelos.

6.2. Fertilidad del suelo

La fertilidad de un suelo se define como su aptitud para suministrar los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (SSSA, 1987). Por tanto, intervienen todas las características del suelo tanto físicas como químicas y biológicas. Así, Fuentes (1999) distingue entre fertilidad física, fertilidad química y fertilidad biológica.

Fertilidad física: se refiere tanto a su función de soporte de raíces como a su capacidad para almacenar y permitir el paso del agua y aire. Ésta viene determinada por cualidades como: textura, estructura, porosidad, permeabilidad, etc.

Fertilidad química: viene definida por las propiedades físico-químicas y químicas del suelo, que condicionan su capacidad de reserva de elementos asimilables. Ésta depende, por tanto, de propiedades tales como el pH, elementos asimilables, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases, etc.

Fertilidad biológica: hace referencia a la actividad de los organismos del suelo (microorganismos, microfauna, raíces) que determinan, sobre todo, el estado de la materia orgánica del suelo, que influye decisivamente en las fertilidades física y química.

La fertilidad natural de un suelo está fuertemente relacionada con los factores formadores que han actuado y están actuando en esa zona, como son el material original, el clima y la vegetación. Aunque, también hay que tener en cuenta los usos que se están haciendo del suelo y que pueden modificar varios parámetros edáficos relacionados con la fertilidad.

El suelo es considerado un reservorio de elementos nutritivos para las plantas. Éstos pueden clasificarse según las necesidades de las plantas en macro y micronutrientes. Dentro de los macronutrientes el fósforo, nitrógeno, calcio, magnesio y potasio son los más importantes, mientras que el hierro, zinc, cobalto, molibdeno y manganeso lo son entre los micronutrientes.

Según Fuentes (1999), el 98 % de los elementos nutritivos contenidos en el suelo se encuentra bajo formas no asimilables por las plantas. Sin embargo, esa gran proporción no asimilable directamente, formada por restos orgánicos y compuestos minerales insolubles, es una gran reserva, ya que mediante procesos químicos, físicos y biológicos se transforman lentamente en solubles y asimilables. Las plantas absorben los elementos nutritivos del suelo por medio de numerosos pelos radicales que poseen las raíces jóvenes, las cuales se renuevan continuamente, ya que tienen una vida de unos pocos días. Estos pelos radicales segregan sustancias ácidas que contribuyen a solubilizar compuestos difícilmente solubles, tales como fosfatos y carbonatos. En esta acción de solubilización también interviene el dióxido de carbono producido por la respiración de las raíces.

Este apartado se centra en evaluar la fertilidad química de los suelos clasificados como Fluvisoles y que como anteriormente hemos comprobado su capacidad de uso suele ser moderada o marginal, y en algunas muestras no aptas para el cultivo en las condiciones actuales, por su salinidad o sodicidad.

Hay que destacar que al ser suelo dedicado al cultivo se le adiciona fertilizantes para aumentar el rendimiento de las cosechas, lo que puede llegar a provocar, en algunos casos, problemas de contaminación grave, tanto del suelo como de los acuíferos subyacentes. Los datos que se han obtenido corresponden a los elementos asimilables, que incluyen tanto los que forman parte del complejo de cambio y que pueden pasar a la solución del suelo, como los que están ya en dicha solución. En la Tabla 6.2 aparecen representados los datos analíticos de los diferentes elementos asimilables analizados: Na, K y Mg de cambio y Fe, Mn, Cu, Zn, P asimilables. El Na no es un nutriente que las plantas deban tomar en cantidad, pero su análisis se ha realizado para poder calcular el porcentaje de sodio de cambio y con ello poder evaluar la sodicidad y alcalinización en estos suelos que se ha recogido en el capítulo correspondiente.

Al hablar de fertilidad de un suelo, hay que tener en cuenta el contenido en materia orgánica y la capacidad de cambio, ya que van a estar estrechamente relacionados con los nutrientes que estos suelos puedan aportar. En general, la capacidad de cambio que tienen estos suelos es alta, aunque la materia orgánica no es muy abundante. El pH del suelo también es un indicador de la fertilidad del mismo, no porque éste la dé, sino porque afecta a la disponibilidad de los diferentes nutrientes o elementos presentes en el suelo. Así, a pHs básicos la gran mayoría de elementos se encuentra en forma insoluble, las plantas no los pueden captar y, por tanto, hay una deficiencia en estos elementos que hay que suplir con la adición de fertilizantes, o bien optar por bajar los valores de pH con diversos compuestos. También afecta a la asimilación de los elementos nutritivos la presencia de elementos que actúan en reacciones de antagonismo y sinergismo. Así, en suelos como los estudiados, donde la disolución del suelo está saturada en calcio se ve dificultada la asimilación de magnesio y otros divalentes mientras, que facilita la asimilación de nitrógeno.

Tabla 6.2. Elementos asimilables de la capa arable

Muestra	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
G-4	113,5	37,4	95,6	1,3	1,7	5,4	1,5	28,7
G-6	96,5	30,5	102,6	1,1	1,9	7,2	1,4	31,3
G-8	148,7	50,6	75,0	1,9	2,5	4,6	1,2	24,9
G-9	38,7	44,0	137,5	1,1	2,5	2,3	1,0	16,5
G-10	236,2	38,1	101,2	1,0	2,2	6,7	1,2	18,2
G-11	135,0	42,5	127,5	0,8	1,8	2,5	1,3	49,6
G-12	162,5	53,9	225,5	1,5	2,8	4,8	1,2	16,8
G-13	93,7	30,3	107,5	2,0	2,8	0,7	1,9	24,1
G-14	32,5	30,1	82,5	1,1	1,4	3,3	1,1	17,1
G-15	108,7	38,5	151,2	0,7	1,5	0,6	1,2	47,6
G-16	107,5	48,4	112,5	1,4	3,0	2,8	1,6	52,1
G-17	120,0	38,1	143,7	1,6	1,8	8,7	1,3	21,0
G-18	82,5	25,5	66,3	1,1	1,5	0,9	1,3	14,3
G-19	97,5	17,5	92,5	1,1	2,3	1,0	1,0	10,6
G-20	105	53,2	137,5	1,4	2,3	10,8	1,5	53,5
G-21	86,3	31,9	80,0	1,2	2,0	4,8	1,3	22,11
G-22	116,3	40,7	118,7	2,3	3,6	9,7	2,0	54,9
G-23	115,0	27,1	67,5	1,4	2,1	3,2	1,5	16,2
G-24	76,3	49,5	65,0	1,4	1,1	0,9	1,4	56,6
G-25	72,5	17,8	68,7	1,0	1,8	2,3	1,1	13,7
G-26	108,7	28,8	60,0	1,5	2,6	1,2	1,7	49,3

Na, K, Mg, en mg/100g
Fe, Mn, Cu, Zn y P en ppm

En la siguiente tabla aparecen representados los principales estadísticos descriptivos de los parámetros analizados. Se observa que los datos de Na y Mg de cambio tienen valores de desviación típica bastante elevados como consecuencia del amplio rango en el que fluctúan estos elementos en los suelos analizados.

Tabla 6.3. Estadísticos descriptivos de los elementos asimilables

	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Rango	203,7	36,4	165,5	1,6	2,5	10,2	1,0	46,0
Mínimo	32,5	17,5	60,0	0,7	1,1	0,6	1,0	10,6
Máximo	236,2	53,9	225,5	2,3	3,6	10,8	2,0	56,6
Media	10,7,3	36,8	105,6	1,3	2,1	4,0	1,4	30,4
Mediana	107,5	38,1	101,2	1,3	2,1	3,2	1,3	24,1
Desviación típica	42,6	10,7	39,4	0,4	0,6	3,1	0,3	16,4

Na, K, Mg, en mg/100g
Fe, Mn, Cu, Zn y P en ppm

Para evaluar el contenido de los diferentes elementos en el suelo se han tenido en cuenta las clasificaciones realizadas por varios autores u organismos: FAO (1980), Domínguez (1989), López (1990), Cobertera (1993).

6.1.1. Macronutrientes

Los principales macronutrientes para las plantas son: el nitrógeno, fósforo y potasio, aunque también hay otros importantes como el magnesio y calcio, que se requiere en menor cantidad. Nos centramos en evaluar la fertilidad de estos suelos en base a los macronutrientes que poseen. Estos elementos se pueden encontrar en los suelos tanto en forma inorgánica como en orgánica.

Uno de los mayores problemas que se da actualmente en la agricultura es la aplicación abusiva de fertilizantes. La fertilización de los suelos tiene como fin el incrementar la fertilidad natural del suelo para aumentar con ello el rendimiento de las cosechas. Para ello, la aplicación de fertilizantes se realiza para suplir los elementos nutritivos que faltan en el suelo y para restituir aquellos elementos que han sido extraídos por las plantas.

Hay que destacar que en los últimos años, se viene observando un aumento del impacto ambiental debido, sobre todo, a los excesos en fertilizantes nitrogenados y fosfatados, que tiene lugar en zonas con una agricultura intensiva. El aporte de otros nutrientes como potasio, calcio, magnesio, boro, hierro, etc. junto a los nitratos y fosfatos tiene una repercusión directa positiva en el desarrollo de los cultivos, pero también pueden afectar negativamente si el uso de éstos es poco racional. En efecto, en suelos salinos, el empleo de estos fertilizantes va a potenciar más aún los procesos de salinización e incluso de alcalinización si se acumula el sodio. A su vez, también pueden variar el pH del suelo y, por tanto, afectar a todas las reacciones químicas que van a tener lugar o a la asimilación de los diferentes elementos nutritivos. Uno de los problemas más importantes asociado a la agricultura y al empleo de fertilizantes, es la contaminación de los acuíferos por la lixiviación de nitratos y fosfatos principalmente, que puede afectar a la salud humana y al mantenimiento de los diferentes ecosistemas.

Nitrógeno (N)

El nitrógeno que hay en el suelo ya se ha valorado con los demás parámetros edáficos, ya que está muy relacionado con procesos como el de humificación, participando en la evolución del suelo. En general, estos suelos tienen elevados contenidos en nitrógeno, lo que hace que la relación C/N sea baja y, por tanto, se vea fomentada la mineralización de la materia orgánica frente la humificación.

El nitrógeno es un elemento esencial para las plantas, ya que forma parte de las proteínas y de otros compuestos orgánicos esenciales (enzimas, coenzimas, vitaminas, ácidos nucleicos, clorofila, etc). Las deficiencias de este elemento van a afectar al crecimiento de las plantas, dando lugar a plantas poco desarrolladas. En suelos con poco nitrógeno es preciso adicionar este macronutriente para mejorar el rendimiento de los cultivos.

Como se ha visto en el capítulo 4, el valor medio de N en estos suelos es de 1,6 g kg⁻¹ y el rango en el que varía va desde 0,5 hasta 2,6 g kg⁻¹. El contenido en N es bastante alto debido fundamentalmente al aporte de fertilizantes nitrogenados. A pesar de todo, las elevadas extracciones de este elemento por algunos cultivos como pueden ser la mayoría de hortalizas y frutales, tanto de hueso como de pepita, obligan a aportar cantidades más o menos importantes de este elemento, por ej. un cultivo de lechugas

necesita unos aportes de N próximos a 300 kg/ha, el brócoli entre 120 y 150 kg/ha, la alcachofa entre 150 y 200 kg/ha y los cítricos 250-350 kg/ha.

Potasio (K)

El potasio aunque no forma parte de los principios esenciales (glúcidos, lípidos y prótidos), es absorbido por la planta en cantidades importantes. Favorece el mejor aprovechamiento del agua por la planta, debido a que contribuye a mantener la turgencia celular, lo que trae como consecuencia una disminución de la transpiración cuando el agua escasea. También tiene efectos favorables en la resistencia de las plantas al frío y a las heladas e incrementa su resistencia a la salinidad y a los parásitos. (Fuentes, 1999). Además interviene en reacciones enzimáticas dentro de la fotosíntesis que conducen a la formación de carbohidratos.

La solubilidad de este elemento es bastante alta y comienza a tener problemas de insolubilidad a pHs superiores a 8. También es de destacar que existe un antagonismo entre el ión calcio y el potasio.

En estos suelos el contenido medio de potasio es de 36,8 mg/100, el mínimo de 17,5 mg/100 y el máximo de 53,9 mg/100. El valor mínimo se encuentra en la muestra nº 19, con cultivos de cítricos, mientras que el valor máximo aparece en la muestra nº 12 que se encontraba en barbecho. No hay una tendencia definida, pero, por lo general en esta zona, los valores más altos de potasio se encuentran en zonas de barbecho.

Analizando varias clasificaciones, vemos que estos suelos tienen un nivel alto en potasio. La fertilidad natural en este elemento es alta a consecuencia de la gran cantidad de minerales de la arcilla ricos en K existentes en estos suelos (illita, micas, etc). Así mismo, el empleo de fertilizantes potásicos como el cloruro potásico, sulfato potásico, nitrato potásico, contribuye al mantenimiento de estos elevados niveles en potasio. Generalmente estos fertilizantes se utilizan mucho en los cultivos, ya que las deficiencias en potasio causan un retraso en el crecimiento de la planta, siendo las partes más afectadas aquellas que acumulan sustancias de reserva como es el caso de frutos, semillas, tubérculos (Fuentes, 1999). Todo esto puede dar lugar a una reducción en el rendimiento de los cultivos. Esto puede explicar que los valores más altos en potasio se den en zonas donde no hay plantaciones de frutales y que vienen dedicándose al cultivo

de tubérculos como la patata, que necesita grandes cantidades de este macronutriente para asegurar un buen rendimiento de la cosecha.

Aunque, como se ha comentado, los niveles de K en estos suelos son altos, al igual que pasaba con el nitrógeno o incluso mayores, este elemento es fuertemente demandado por la mayoría de los cultivos predominantes en la zona, motivo por el cual es preciso reponerlo para mantener el potencial productivo del suelo. En términos generales, por cada unidad fertilizante de nitrógeno que absorben los cultivos, se necesita entre dos y cuatro de potasio. Por ej., el apio extrae 550-750 kg/ha de potasio, el brócoli y col entre 200 y 380 kg/ha, la patata entorno a 250 kg/ha y el pimiento y tomate entre 325 y 375, etc.

Magnesio (Mg)

El magnesio se encuentra dentro del grupo de los macroelementos, sin embargo, es menos importante como nutriente que el nitrógeno, fósforo y potasio, aunque es esencial ya que interviene en la formación de la clorofila de las plantas.

El contenido medio de Mg asimilable que hay en estos suelos es de 105,6 mg/100g, siendo el contenido mínimo que encontramos de 60,0 mg/100g y el máximo de 225,5 mg/100g, respectivamente. Los valores más altos de este elemento se encuentran en la zona más septentrional, coincidiendo con la zona de mayor CE. Sin embargo, en la parte más meridional y coincidiendo con la zona de menor salinidad los valores de Mg están dentro de la normalidad en un suelo, según los diferentes autores consultados.

La asimilación de este elemento por las plantas depende de la abundancia de otros iones como el potasio y el calcio. Cuando las plantas sufren las deficiencias en este elemento ha de ser compensado con fertilizantes.

Fósforo (P)

El fósforo, junto con el potasio, calcio y nitrógeno, es el elemento más extraído por los vegetales, ya que forma parte de los tejidos de las plantas (0,5-1% de la materia

seca). Además, forma parte de muchos coenzimas y participa, por tanto, en varias reacciones catalíticas vitales para las plantas.

El fósforo asimilable puede crear problemas ya que en suelos con pH de 5 a 6, parte del fósforo asimilable está en forma de fosfatos de aluminio y de hierro. A pH neutro, dichos fosfatos precipitan por lo que el fósforo asimilable procede de los fosfatos de calcio solubles en agua o ácidos débiles. A pH superiores a 7,5, los fosfatos cálcicos pasan progresivamente a tricálcicos (apatito), aumentando dichos fosfatos insolubles a medida que lo hace el pH, con lo que las fuentes de fósforo asimilable son muy precarias reduciéndose a las orgánicas (Cobertera, 1993).

El valor medio de P en estos suelos es de 30,4 ppm, siendo el valor de P más elevado el que aparece en la muestra nº 24, donde llega a ser de 56,60 ppm, bajo cultivo de limoneros y hortícolas. Hay que destacar que los mayores valores de P aparecen en los suelos cultivados, generalmente de cítricos y en algunos hortícolas.

La clasificación del contenido en fósforo en suelos básicos (valorado por el método de Olsen) sirve para estimar el fósforo que tienen estos suelos y, por tanto, evaluar su fertilidad. En la clasificación de Cobertera (1993), los suelos tienen un nivel muy alto de fósforo cuando sobrepasan los 10 ppm, por tanto, como el valor medio de P en estos suelos es de 30,4 ppm supera con creces dicho límite. Esto es debido, como ya hemos comentado anteriormente, a la fertilización que se lleva a cabo en los cultivos intensivos. El exceso de fósforo en el suelo puede provocar que otros elementos, como es el caso del hierro, se encuentren en forma no asimilable para las plantas, debido a que aumenta su insolubilidad.

5.1.2. Micronutrientes

El Fe, Cu, Zn y Mn, son considerados como micronutrientes para las plantas ya que son consumidos en pequeñas cantidades por éstas, pero muy necesarios para muchas de sus funciones vitales. Sus funciones generalmente dentro de las plantas son catalíticas interviniendo en múltiples reacciones enzimáticas vitales para la planta, como por ejemplo en la síntesis de la clorofila. Su deficiencia va a provocar la denominada clorosis. Sin embargo, el exceso de micronutrientes en estado asimilable para las plantas puede ser tóxico, a pequeñas concentraciones, ya que el rango entre el nivel óptimo y tóxico es muy estrecho.

Estos elementos son muy solubles con pH inferiores a 5,5 y a medida que aumenta el pH en el suelo disminuyen su solubilidad, de tal forma que en suelos con carácter básico su absorción por las plantas es muy escasa, encontrándose la mayoría como formas no asimilables para las plantas. Esto es debido a que las plantas captan estos elementos en su forma reducida y a pH elevados se van a encontrar oxidados que son menos solubles.

Estos elementos se pueden encontrar en el suelo: formando quelatos con otras formas orgánicas, asociados a hidroxidos disociados, en formas inorgánicas, etc.

Hierro (Fe)

De acuerdo con la clasificación de Cobertera (1993) las cantidades de Fe en estos suelos son muy bajas (0-2 ppm), ya que el contenido medio de Fe en estos suelos es de 1,3 ppm. Las deficiencias en Fe de estos suelos se deben a los altos valores de pH que hay en la zona. El pH alcalino hace que el Fe se encuentre en forma férrica (Fe^{+3}), que es muy poco soluble. Las plantas para poder captar el Fe excretan por las raíces una serie de ácidos que aumentan la solubilidad del Fe al bajar el pH.

La deficiencia de Fe puede dar lugar a las conocidas clorosis férricas que son muy comunes en los frutales, sobre todo en cítricos. Para prevenir este problema, además de añadir compuestos de Fe habría que disminuir el pH del suelo con aportaciones de azufre, estiércol u otros abonos que acidificarán el medio. Aunque en los análisis haya salido el fósforo en niveles altos o muy altos no hay que atribuirle mucha relación con el bajo nivel de hierro. En suelos con pH 8,0 es muy difícil mantener los niveles de fósforo al igual que Fe, Mn, Zn, etc.

Hay que tener especial cuidado con el empleo de abonos o fertilizantes fosfóricos porque pueden provocar la inmovilización de otros constituyentes y, por tanto, causar una carencia de nutrientes en el suelo.

Manganeso (Mn)

El manganeso en estos suelos alcanza un valor medio de 2,1 ppm, con una desviación típica de 0,6, no habiendo grandes diferencias en cuanto al contenido de este elemento. El valor mínimo de Mn es de 1,1 ppm y se observa en la muestra nº 24, mientras que 3,60 ppm es el máximo valor que aparece en la muestra nº 22.

Revisando varias clasificaciones, se puede decir que la cantidad de manganeso en esos suelos es deficiente, ya que la mayoría establecen el límite mínimo de Mn entorno a los 20-25 ppm y en este caso los valores de Mn son bastante inferiores.

El comportamiento de este elemento es muy similar al Fe, ya que se encuentra formando parte de diversos óxidos y en forma reducida en la solución del suelo y adsorbido al complejo de cambio. Con pH inferior a 5,5 predomina la forma reducida, mientras que con pH superiores a 8 predominan los óxidos insolubles. La proporción entre la forma iónica asimilable y los óxidos insolubles depende, además del pH, de todos aquellos factores que afectan a los procesos de oxidación-reducción: aireación, temperatura, humedad, contenido de calcio, etc, (Fuentes, 1999).

Zinc (Zn)

El contenido medio de Zn en estos suelos es de 1,4 ppm, siendo el valor mínimo que encontramos de 1,0 ppm y de 2,0 ppm el máximo. Atendiendo a la clasificación de Cobertera (1993) los contenidos en Zn asimilables mayores de 0,3 ppm en el suelo son suficientes para cubrir las necesidades nutritivas de las plantas. Al observar los resultados y compararlos con la clasificación de Cobertera, en estos suelos el nivel de Zn es superior a lo establecido, con lo cual no hay problemas de deficiencias en Zn. La asimilación del Zn está condicionada también por la concentración en el suelo de otros iones antagonistas, como es el caso del fósforo. La presencia de este elemento puede dar lugar a la formación de compuestos insolubles de Zn como son los fosfatos de zinc. Su deficiencia afecta principalmente a cultivos de cítricos y a la vid.

Cobre (Cu)

El valor de cobre en estos suelos varía desde 10,8 ppm que es el valor máximo hasta 0,6 ppm que es el valor mínimo, mientras que la media de cobre en estos suelos es de 4,0 ppm.

En la clasificación que hace Cobertera (1993) los valores de cobre por debajo de 0,5 ppm pueden provocar deficiencias importantes. En estos suelos todos los valores están por encima de este umbral, pero también se considera que a partir de 2 ppm de cobre pueden existir problemas de fitotoxicidad. Todos los datos obtenidos están

bastante por encima de este valor y esto puede ser como consecuencia de la adición de sales de cobre a los cultivos.

6.3. Gestión de los suelos estudiados

Cuando se ha hablado de la capacidad de uso agrícola de los suelos, se ha determinado que en la zona de estudio hay dos tipos principales de suelos en función de dicha capacidad. En los suelos con aptitud moderada o baja, se considera oportuno la realización de mejoras. Sin embargo, hay suelos considerados como no aptos desde el punto de vista agrícola, en las proximidades de la Laguna del Hondo, por los altos valores de CE que presentan, en los que se aconsejaba su conservación.

6.3.1. Zonas agrícolas

Cuando hemos hablado de la capacidad de uso, se ha visto que todos los suelos necesitaban mejoras para aumentar su rendimiento agrícola. Por lo tanto, hay que tener en cuenta qué técnicas podemos utilizar para evitar que estos suelos se sigan salinizando y pierdan el potencial agronómico que poseen. Para ello se suelen emplear las denominadas buenas prácticas agrícolas, que en este caso consisten en:

- Seleccionar cultivos tolerantes a la salinidad.
- Mejorar la resistencia de las plantas a las sales.
- Mejorar la fertilización.
- Adecuar los métodos y prácticas de riego.

Al tratarse de una zona con una gran tradición agrícola, hay que tener en cuenta el efecto de la salinidad en los suelos sobre el rendimiento de los cultivos predominantes en la zona. Para evaluar la tolerancia de los cultivos a la salinidad hay que considerar los trabajos realizados por Maas y Hoffman (1977), que establecieron una clasificación de la tolerancia a la salinidad de diversas especies de interés económico. Se ha encontrado que entre la salinidad del suelo y la producción de cultivos existe una relación lineal, que queda expresada por la siguiente fórmula:

$$P = 100 - b(CE - a)$$

donde P es la producción del cultivo en porcentaje al máximo, CE es la conductividad eléctrica en el extracto de saturación y “a y b” son parámetros constantes para cada cultivo (Pizarro, 1985).

Hay que tener en cuenta que las tablas de tolerancia a la salinidad son útiles para determinar la tolerancia relativa de los cultivos, sin embargo, deben utilizarse con precaución ya que los valores de las mismas vienen afectados por muchos factores edáficos, climáticos y agronómicos que es preciso conocer (Ayers y Westcot, 1985; Rhoades et al., 1992; Shalhevet, 1994). Es importante señalar que los resultados de estas tablas se han generado sin salinidad en el suelo en la fase de germinación-emergencia, por lo que aquellos cultivos más sensibles a la salinidad en dicha fase pueden mostrar descensos en rendimientos superiores a los que se derivan de las tablas (Aragües y Cerdá, 1998).

En la fórmula, el parámetro “a” es considerado como el umbral de salinidad para cada cultivo, a partir del cual puede haber una disminución en su rendimiento, por tanto, da una idea de la resistencia de ese cultivo a la salinidad. Siempre que los valores de CE se sitúen por debajo de éste no va haber problemas de resistencia por parte de los cultivos. El parámetro “b” nos da una idea de la sensibilidad del cultivo hacia los cambios en la salinidad, pues pequeños cambios de CE pueden afectar más ó menos a la producción. Cuanto más alto es este parámetro “b” más sensible es a las variaciones de la CE el cultivo.

En la Tabla 6.3 aparecen representados los cultivos mayoritarios en la zona, los distintos valores de a y b, así como los valores de P al 100, 90, 50, 0% para los distintos cultivos y su resistencia a la salinidad.

Analizando esta tabla se observa que, de los frutales que predominan en la zona, naranjos, limoneros y mandarinos, van a ser los más afectados por la salinidad. El valor crítico de CE a partir del cual comienza a disminuir su producción es de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ son, por tanto, cultivos muy sensibles que con pequeños cambios en la CE ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) experimentan una reducción de su productividad en un 10% y de un 100% con valores de CE entorno a 8 dS m^{-1} . La palmera datilera es el cultivo frutícola más resistente, limitando su producción hasta valores de 32 dS m^{-1} , seguida del granado y el olivo que muestran una resistencia media a la salinidad.

Tabla 6.4. Valores de CE que pueden afectar a los cultivos de la zona

<u>Cultivo</u>		<u>a</u>	<u>b</u>	Valores de CE (dS m ⁻¹) para la producción (%) de:					<u>R</u>
				<u>100</u>	<u>90</u>	<u>75</u>	<u>50</u>	<u>0</u>	
<u>Cultivos extensivos</u>									
Cebada	(<i>Hordeum vulgare</i>)	8,0	5,0	8,0	10,0	13,0	18,0	28,0	Alta
Habas	(<i>Vicia faba</i>)	1,6	9,62	1,6	2,6	4,2	6,8	12,2	Baja
Algodón	(<i>Gossypium hirsutum</i>)	7,7	5,38	7,7	9,6	13,0	17,0	27,0	Alta
<u>Hortalizas</u>									
Remolacha	(<i>Beta vulgaris</i>)	4,0	8,93	4,0	5,1	6,8	9,6	15,0	Alta
Brócoli	(<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2,8	9,26	2,8	3,9	5,5	8,2	13,5	Media
Tomate	(<i>Lycopersicon lycopersicum</i>)	2,5	9,80	2,5	3,5	5,0	7,6	12,5	Media
Espinaca	(<i>Spinacia oleracea</i>)	2,0	7,58	2,0	3,3	5,3	8,6	15,0	Media
Pepino	(<i>Cucumis sativus</i>)	2,5	13,2	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0	Media
Col	(<i>Brassica oleracea</i>)	1,8	9,62	1,8	2,8	4,4	7,0	12,0	Media
Patata	(<i>Solanum tuberosum</i>)	1,7	11,90	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0	Baja
Pimiento	(<i>Capsicum annum</i>)	1,5	13,89	1,5	2,2	3,3	5,1	8,5	Baja
Lechuga	(<i>Lactuca sativa</i>)	1,3	12,82	1,3	2,1	3,2	5,0	9,0	Baja
Zanahoria	(<i>Daucus carota</i>)	1,0	13,89	1,0	1,7	2,8	4,6	8,0	Baja
Cebolla	(<i>Allium cepa</i>)	1,2	16,13	1,2	1,8	2,8	4,3	7,5	Baja
Judías	(<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1,0	19,23	1,0	1,5	2,3	3,6	6,5	Baja
<u>Frutales</u>									
Palmera	(<i>Phoenix dactylifera</i>)	4,0	4,50	4,0	6,8	10,9	17,9	32,0	Alta
Granado	(<i>Punica granatum</i>)	2,7	8,77	2,7	3,8	5,5	8,4	14,0	Media
Olivo	(<i>Olea europaea</i>)	2,7	8,77	2,7	3,8	5,5	8,4	14,0	Media
Melocotonero	(<i>Prunus persica</i>)	1,7	20,83	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5	Baja
Naranja	(<i>Citrus sinensis</i>)	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0	Baja
Limonero	(<i>Citrus limon</i>)	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0	Baja
Mandarino	(<i>Citrus reticulata</i>)	1,7	16,13	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0	Baja

Los cultivos hortícolas más afectados por la salinidad son, entre otros, patatas, pimientos y lechugas, que tienen una baja resistencia en los que el rendimiento de su producción disminuye antes de llegar a 2 dS m^{-1} , mientras que otros como el brócoli, coles, tomates y espinacas son más resistentes.

En general, hay que destacar que las hortalizas no son los cultivos más resistentes a la salinidad, por tanto, pueden verse afectados seriamente por los cambios en este parámetro.

El cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus*) es de los más representados en la zona y según diversos estudios consultados es moderadamente tolerante a la salinidad (Francois, 1995). Sus rendimientos óptimos se producen entre 3 y 6 dS m^{-1} , y a partir de ahí disminuyen un 11,5% por cada unidad que aumente la CE. Por tanto, este cultivo es de los mejores adaptados a los suelos existentes en el área estudiada debido a su resistencia frente a la salinidad.

Dentro de los cultivos extensivos, cabe destacar la alta tolerancia a la salinidad que tienen la cebada y el algodón, pero en la comarca no suelen predominar estos cultivos, sino los hortícolas.

Se puede observar que los cultivos que predominan en el área no son de los más resistentes a la salinidad, con excepción de la palmera datilera y el granado. Por tanto, sus rendimientos pueden verse afectados seriamente por la salinidad.

Como consecuencia de esta baja resistencia, puede ocurrir que estos cultivos dejen de ser rentables económicamente para su explotación y que tengan que ser sustituidos por otros más competitivos y productivos en suelos medianamente salinos.

El uso de fertilizantes, también puede provocar un incremento en la salinización secundaria de los suelos debido a que están sometidos a un cultivo intensivo, donde se suele emplear grandes concentraciones de estos compuestos. Por ello, se recomienda aplicar los de bajo índice salino y utilizar dosis óptimas que no eleven la CE del suelo.

También sería necesario realizar mejoras en las técnicas de riego. En la zona es habitual el riego a manta o gravedad de forma casi general, aunque debido a las características de la zona: clima, tipo de suelo y calidad de las aguas de riego, podría emplearse el riego por goteo con más frecuencia. Es una técnica que permite mantener niveles muy altos de humedad en el suelo, prácticamente a nivel de capacidad de

campo. Así, en condiciones salinas, se mantiene dicha salinidad diluida, con lo que la concentración salina se reduce. Este sistema de riego es el que parece más adecuado para utilizar en la zona, ya que se pueden emplear aguas salinas dando mejores resultados que si se aplican con riego a manta. También se debería mejorar las calidades del agua de riego, que como se ha comentado anteriormente (Capítulo IV), resultan ser generalmente de mala calidad, por el riesgo de sodicidad y salinidad que conlleva su empleo.

En la recuperación de los suelos salinos lo que se pretende es reducir la concentración de sales, el porcentaje de sodio de cambio o ambos. Tradicionalmente, se han empleado los métodos de lavado, que tienen dos finalidades (Pizarro, 1985): reducir la salinidad inicial del suelo (lavados de recuperación) e impedir que el suelo se resalinee como consecuencia de las aportaciones del agua de riego y agua freática (lavados de mantenimiento), realizando repetidos lavados. Las sales se dirigen hacia los horizontes más profundos, no perjudicando a la zona radicular de las plantas. Para la utilización de este tratamiento es necesario tener un buen sistema de drenaje en profundidad para impedir que las sales vuelvan a superficie por capilaridad, así como disminuir la evapotranspiración por medio de la adición en superficie de estiércol o paja, o mejorando la cobertura vegetal.

La recuperación de los suelos sódicos consiste en la liberación del Na^+ del complejo de cambio sustituyéndolo por Ca^{+2} . Para ello se emplean enmendantes, llamados mejoradores químicos, que actúan como intercambiadores. Los más utilizados son:

- Sales solubles de calcio (yeso, cloruro cálcico).
- Ácidos o precursores de ácidos (azufre, polisulfuro de calcio, sulfato de hierro y aluminio, etc).
- Sales de calcio poco solubles (caliza).
- Residuos industriales (espumas de azucarería, cales residuales del acetileno).

Una vez producido este intercambio de cationes, es necesario eliminar el Na^+ liberado mediante un drenaje adecuado.

Otro método utilizado consiste en hacer lavados sucesivos con aguas de diferentes concentraciones salinas o en mezclar los horizontes superficiales del perfil con los más profundos cuando éstos son calcáreos.

Una combinación de los dos tratamientos anteriormente comentados es el que se emplea en la recuperación de suelos salino-sódicos. Primero se realiza una adición de Ca^{+2} para expulsar el Na^+ del complejo de cambio y luego un lavado, ya que si fuera al revés, la disminución de la concentración de sales facilitaría el efecto dispersante del Na^+ .

En general, ninguno de estos métodos podría ser aplicable en la actualidad para recuperar los suelos existentes en la zona. Para realizar los lavados de sales sería necesario contar con grandes volúmenes de agua, sin embargo, es un bien escaso en la zona, y su calidad no es la adecuada por el exceso de sales. Además, destaca la existencia de una capa freática salina que puede aportar sales al suelo por ascensión capilar. El agua de lavado que se obtiene puede causar problemas ambientales sobre las aguas subterráneas y suelos de alrededor, ya que contiene altas concentraciones de sales, residuos de fertilizantes, plaguicidas, etc.

También hay técnicas auxiliares, que se centran en mejorar la permeabilidad y estructura del suelo. Dentro de las técnicas mecánicas se encontrarían el arado profundo, los subsolados, mezclas con arena y la inversión de perfiles, que tienden a mejorar la permeabilidad del perfil. Mientras, que la adición de compuestos orgánicos sirve para mejorar la estructura del suelo y la introducción de cultivos de alta evapotranspiración potencial, que evitan el ascenso de la capa freática y el aporte capilar de sales, técnicas biológicas empleadas en el tratamiento de suelos salinos. También cabe destacar la existencia de técnicas eléctricas y de mejora del drenaje.

Otra opción sería emplear especies vegetales en los cultivos con mejoras genéticas, que las hacen más tolerantes a las sales, por lo que se debería de potenciar su implantación en la zona.

6.3.2. Zonas halomorfás

En esta zona es donde podemos encontrar los suelos catalogados como Solonchaks, no son aptos para el cultivo como anteriormente hemos podido comprobar.

La vegetación que aparece en estos suelos es fundamentalmente de tipo halófito, y en el programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP, 1993) se destaca el uso de plantas halófilas para recuperar suelos degradados y resalta la importancia que tienen estos ecosistemas antropizados salinos en el secuestro del carbono atmosférico.

La tolerancia de las plantas a la elevada concentración de sales se basa en diversos mecanismos de tipo fisiológico y morfológico que han sido estudiados, tradicionalmente, en numerosas ocasiones (Por ejemplo, Adams y Bate, 1994). La selectividad al paso de ciertos iones en las paredes celulares, la disminución del tamaño foliar para reducir la transpiración, la aparición de succulencia o la excreción del exceso de sales, se encuentran entre los más conocidos. El estudio de las plantas halófitas nativas que crecen en los saladares puede ayudar a comprender estos mecanismos a fin de aplicarlos en los cultivos (Alvarez-Rogel, 2009).

El incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes en el siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos, por lo que es esencial que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa terrestre. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques. A partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación (LULUCF) y concierne a los artículos 1.3 y 1.4 de dicho Protocolo (IPPC, 2000).

Las principales aportaciones de CO₂ a la atmósfera son debidas, principalmente, a la quema de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte, pero también hay que destacar las suministradas por los cambios de uso de la tierra (deforestación, pastoreo intensivo y tierras cultivadas inadecuadamente).

Los suelos son la mayor reserva de carbono en el ciclo terrestre del carbono. La cantidad de carbono almacenada en los suelos es significativamente alta; los suelos contienen tres veces más carbono que la vegetación y dos veces más que la atmósfera (Batjes y Sombroek, 1997). Las reservas de carbono en el suelo resultan fundamentalmente del balance entre la entrada de material de plantas muertas y su salida por los procesos de mineralización y descomposición. En general, solo el 1% del

carbono que entra en los suelos se acumula en fracciones orgánicas más estables, con tiempo de residencia medios y largos.

La captura de carbono por los suelos, se produce como consecuencia de un incremento de su contenido en materia orgánica, lo que supone cambios favorables en sus propiedades físicas y químicas y, por tanto, en su calidad. Como consecuencia de este incremento se produce un aumento de la estabilidad de la estructura edáfica, lo que hace que disminuya el riesgo de erosión eólica e hídrica, a la vez que aumenta el poder de retención de agua del suelo. Además, puede fijar elementos contaminantes como pesticidas o metales pesados y mejora la biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Se ha comprobado (Lal *et al.*, 1999) que la restauración de suelos degradados puede ser un método adecuado para frenar los procesos de desertificación y aumentar su capacidad de secuestro de carbono.

En zonas áridas y semiáridas degradadas que no están en uso agrícola, se propone la recuperación de suelos y estrategias para minimizar o revertir los procesos de desertificación, como métodos eficientes para disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera, así como aumentar su secuestro. Las mayores posibilidades, en potencia, están en descubrir y aplicar técnicas innovadoras para incrementar la acumulación de carbono en el suelo en forma inorgánica (Ortiz y Albaladejo, 2005). Según Mermut (2002), algunas de las técnicas que se pueden utilizar son:

a) Control de la desertificación y restauración de suelos degradados mediante prácticas mejoradas de manejo del suelo.

b) Explotar recursos infrautilizados en zonas áridas y semiáridas para fomentar la creación de humedales en áreas salinas.

c) Usar los recursos vegetales y microbiológicos existentes, junto a la biotecnología y a la ingeniería genética:

- Seleccionar, identificar y adaptar plantas C4 y CAM.

- Emplear la ingeniería genética para incrementar el uso eficiente del agua, tolerancia a la salinidad y tolerancia a pH elevado en especies seleccionadas de regiones con acusado déficit hídrico.

Las plantas halófilas presentes en suelos afectados por sales tienen un gran potencial para el secuestro del carbono en estos inhóspitos ambientes (FAO, 2004). Se estima que 130 millones de ha pueden ser ocupadas por estas plantas, las cuales se pueden usar también como forraje para el ganado, y para la extracción del aceite de sus semillas. Según Glenn *et al.*, (1993) las plantas halófilas pueden asimilar anualmente de 0,6 a 1,2 gigatoneladas de C a nivel mundial.

En áreas que han sufrido salinización antrópica, el uso de estas plantas puede ser de gran valor. En cualquier caso, el establecimiento y conservación de estas comunidades protegerá al suelo de procesos erosivos, ya que se desarrollará en él una densa cobertura vegetal, que además le mejorará la estructura, favoreciendo el drenaje frente al ascenso capilar (UNEP, 1993).

7. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados para el presente trabajo y la información obtenida y descrita a lo largo de los capítulos de esta memoria, es posible concluir que:

1. El área estudiada es una zona con gran vocación agrícola, constituida fundamentalmente por materiales cuaternarios aportados por el Río. El clima es típico mediterráneo, en el que existe un importante déficit hídrico en el suelo la mayor parte de los meses del año con excepción de los meses del invierno y comienzos de primavera, donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración. El régimen de humedad de los suelos debería ser arídico, pero se considera xérico al encontrarse en las proximidades del Río y ser suelos de cultivo en regadío.

2. Los suelos más cercanos al río presentan una morfología muy sencilla, con un perfil de tipo Ap-C, A-Cz, Ap-Cgyz, donde es muy frecuente que el horizonte A esté más o menos fuertemente perturbado por la actividad agrícola. Se han descrito horizontes C afectados por acumulación de sales solubles que, en ocasiones, pueden ascender por capilaridad hasta el horizonte A superficial. En otros casos, pueden presentar acumulaciones de yeso así como una capa freática próxima a la superficie que confiere características o rasgos de hidromorfía. En las zonas más alejadas del lecho del río se pueden observar procesos de segregación o de alteración de constituyentes que dan lugar a suelos de tipo Ap-Ck-C ó Ap-Bw(Bwk)-C(Ck), en los que los horizontes pueden tener o no carácter diagnóstico, en función de la intensidad del proceso.

3. Los valores de materia orgánica en los suelos estudiados son bajos, mientras que los de nitrógeno son bastante elevados, como consecuencia de la adición de compuestos nitrogenados. La relación C/N, en sintonía con lo anterior es anormalmente baja, lo que hace que exista una tendencia a la mineralización del humus. Son muy calcáreos, con pHs básicos, capacidad de cambio media y en los que la arcilla y el limo son las fracciones granulométricas predominantes.

4. La salinización es el proceso de edafogénesis más importante, aunque también hay otros como la humificación, meteorización/deposición, gipsificación e hidromorfía. Las causas que originan la salinización en el área de estudio son tanto naturales como antrópicas. La presencia de una capa freática próxima a superficie, la topografía, el clima y el material original son los principales factores naturales que están contribuyendo a la dinámica de las sales. Mientras, la calidad de las aguas de riego y el

uso abusivo de fertilizante, plaguicidas y pesticidas son los factores antrópicos que están provocando el incremento de la salinidad y la degradación en estos suelos.

5. La fracción arcilla muestra una mineralogía muy sencilla a base sobre todo de illita y en menor proporción caolinita, pudiendo observarse en algunos casos minerales 2:1 del tipo de las esmectitas o cloritas e interstratificados entre la Illita y éstos.

6. Taxonómicamente (IUSS-WRB-2014), los suelos más abundantes son Fluvisoles, que se encuentran homogéneamente distribuidos en toda el área de estudio, junto a ellos se han descrito Solonchaks en el extremo septentrional y próximos a la Laguna del Hondo. Los Solonchaks son fundamentalmente Gléyicos, Sódicos y Calcáricos, mientras que los Fluvisoles, son todos Calcáricos y Áricos., también pueden ser Sódicos y Gipsíricos.

7. Respecto a la variación espacio de la salinidad, no existen diferencias estadísticamente significativas de CE entre superficie y profundidad a lo largo de los tres muestreos, por lo tanto, no podemos afirmar que durante el periodo estudiado exista un flujo de sales ascendente o descendente que origine una concentración significativamente diferente en superficie o profundidad.

8. En cuanto a las variaciones temporales de CE, se ha visto como en Solonchaks se ha producido un incremento de la CE, aunque no estadísticamente significativo, mientras que en Fluvisoles la CE apenas ha sufrido cambios.

9. Atendiendo a la velocidad de salinización, los Fluvisoles presentan predominantemente valores negativos, ya que se ha producido una disminución de la CE a lo largo del periodo de estudio, aunque también aparecen otros donde ha sido ligera o grave. En Solonchaks sucede todo lo contrario y se observa que la velocidad de salinización es grave o muy grave.

10. En cuanto al grado salino, los Solonchaks siguen considerándose como extremadamente salinos y fuertemente salinos y en los Fluvisoles el 48% de las muestras son ligeramente salinas, 43% salinas y el 9% fuertemente salinas.

11. La secuencia de iones que determinan la salinidad de estos suelos es: en Solonchaks: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$ y $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ y en los Fluvisoles: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ y $\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$.

12. En Solonchaks, los valores de Na^+ , Ca^{+2} , Cl^- y SO_4^{-2} experimentan un incremento a lo largo del periodo de estudio, aunque en 2004 se produce una disminución de los valores con respecto a 2006. Sin embargo, en Fluvisoles se producen descensos en los valores medios, excepto en el K^+ y SO_4^{-2} . Los NO_3^- aparecen en niveles muy bajos en Solonchaks, llegando incluso a no detectarse en algunas muestras, mientras que en Fluvisoles son mayores, sobre todo en 2004. Se aprecia un aumento significativo del ión SO_4^{-2} en todos los suelos de la zona y el K^+ en Fluvisoles.

13. En Solonchaks, Na^+ , K^+ y Mg muestran valores aparentemente más elevados en profundidad. Entre los aniones, los Cl^- y SO_4^{-2} aparentemente tienden también a acumularse en profundidad, mientras que los NO_3^- parece que se concentran en la superficie.

14. En Fluvisoles no se han encontrado diferencias significativas entre los niveles de iones en los horizontes de superficie y de profundidad, aunque las concentraciones de K^+ y Ca^{+2} en 2002 son significativamente más altas en superficie, las de Na^+ en 2004 ocurre lo contrario y, finalmente las de SO_4^{-2} en 2006 también son superiores las de la superficie que las de profundidad.

15. El par Na^+/Cl^- es el que mayor correlación presenta tanto en superficie como en profundidad durante la mayor parte del periodo de muestreo, salvo en 2004, donde los pares $\text{Mg}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ y $\text{Na}^+/\text{SO}_4^{-2}$ tienen valores más altos. El par K^+/Cl^- , en los horizontes de profundidad y los muestreos de 2002 y 2004, alcanza valores también muy altos (superiores a 0.90), al igual que $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$, esta vez en superficie. Por otro lado, el Ca^{+2} siempre está mejor correlacionado con los SO_4^{-2} que con los Cl^- . Con respecto a la CE, el Mg^{+2} en la mayoría de los casos es el ion mejor correlacionado con la CE inmediatamente por delante del Na^+ , y entre los aniones los sulfatos mejor que los cloruros.

16. Los valores medios de RAS en Solonchaks no han variado a lo largo de los 4 años de estudio, aunque sí se han detectado aumentos significativos en Fluvisoles.

17. En el 2002, el 46% de las muestras son no sódicas, 35% ligeramente sódicas, 8% fuertemente sódicas y un 11% extremadamente sódicas. Mientras que en 2006, el 27% son no sódicas, 54% ligeramente sódicas, 4% moderadamente sódicas, 4 fuertemente sódicas y 11% extremadamente sódicas.

18. En un 35% de las muestras la velocidad de alcalinización es moderada, 31% ligera, 27% negativa y 7% grave.

19. En cuanto la capacidad de uso agrícola, un 42% de los suelos estudiados tienen una aptitud agrícola no apta (N), en un 23% es apta moderada (S2) y en un 35% es baja (S3). En todas las muestras existe un factor limitante, sobresaliendo por orden de importancia la salinidad, granulometría, toxicidad y drenaje. Los cambios ocurridos en la capacidad de uso durante el intervalo de estudio se han debido fundamentalmente a las variaciones en el grado salino de los suelos.

20. Los contenidos en N, P, K, P, Cu y Zn son bastante elevados, debido sobre todo al empleo excesivo de fertilizantes, mientras que el Fe y Mn se encuentran en bajas concentraciones, lo que puede ser debido al pH básico de los suelos que hace que se encuentren inmovilizados y, por tanto, no asimilables para las plantas.

21. Los cultivos predominantes en la zona no resultan ser los más resistentes a la salinidad, con la excepción de la palmera y el granado, por lo que pueden verse afectados sus rendimientos por los altos valores de CE de los suelos.

22. Como medidas para mejorar el aprovechamiento agrícola destacan las destinadas a disminuir la salinidad y a mejorar la estructura del suelo. Por otro lado, es necesario el empleo de aguas de riego con menor salinidad y fertilizantes de bajo índice salino, para que no aumenten las sales retenidas en el suelo. También se debería potenciar en los cultivos de la zona la selección de especies vegetales tolerantes a la salinidad y el fomento de técnicas más adecuadas, como son el riego por goteo, la fertilización orgánica, rotación de cultivos, etc.

23. Es muy recomendable poder disponer de mayor volumen y, sobre todo, mejor calidad de agua para el riego, con el fin de intentar recuperar, parte de los suelos salinizados antropicamente y que tienen mejor aptitud agrícola.

24. Es aconsejable promover la conservación de las zonas marginales próximas a la Laguna del Hondo favoreciendo la implantación de vegetación de tipo halófilo, que protegerá al suelo de los procesos erosivos, mejorará su estructura y contribuirá al secuestro de carbono atmosférico en el medio edáfico.

8. ANEXOS

Muestra: G-1		
Coordenadas UTM: 30SXH900290	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: junto al Azarbe de Patricio y a 500 m al oeste de la línea férrea Murcia-Elche.	
Municipio: San Isidro de Albaterra (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a granados y palmeras.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: se ha realizado un labrado profundo. Hidromorfía y presencia de yeso en profundidad. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Solonchack Gléyico Flúvico (Arcilloso, Calcárico, Gipsírico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,2	pH (KCl): 7,8	CE (dS m⁻¹): 28,90
MO (g kg⁻¹): 12,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 409,2	T (cmol(+) kg⁻¹): 18,5
Granulometría y textura: no dispersa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	13,45	20,90	9,70	27,50	28,90	31,40
% sales	0,62	0,95	0,50	0,85	1,18	1,84
RAS	19,14	25,30	17,20	33,49	36,67	37,74

Muestra: G-2		
Coordenadas UTM: 30SXH930290	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: a 1 km al noroeste del km 5 de la N-3221.	
Municipio: Crevillente (Alicante).	
Profundidad: +120 cm.	
Cultivo actual: vegetación natural: <i>Salicornia fruticosa</i> , <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Atriplex glauca</i> , <i>Sarcocornia sp.</i> junto a cultivo palmeras.	
Tipo de riego: no existe.	
Impactos: cultivo abandonado.	
Observaciones: a 50 cm aparece una capa negra que podría ser fango procedente de la antigua laguna. Hidromorfía y manchas rojas. Grietas y presencia de salinidad en superficie. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Solonchack Gléyico Flúvico (Calcárico, Gipsírico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,2	pH (KCl): 7,8	CE (dS m⁻¹): 28,90
MO (g kg⁻¹): 12,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 409,2	T (cmol(+) kg⁻¹): 18,5
Granulometría y textura: no dispersa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	13,45	20,90	9,70	27,50	28,90	31,40
% sales	0,62	0,95	0,50	0,85	1,18	1,84
RAS	19,14	25,30	17,20	33,49	36,67	37,74

Muestra: G-3		
Coordenadas UTM: 30SXH990290	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: junto al embalse de Levante.	
Municipio: Elche (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: <i>Limonium sp.</i> , <i>Tamarix canariensis</i> , <i>Salicornia fruticosa</i> , <i>Inula crithmoides</i> .	
Tipo de riego: no existe.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: en la superficie el material es limoso y farináceo, posiblemente por la existencia de yeso, mientras que en profundidad resulta ser arenoso. Bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Solonchack Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico, Hipersálico, Limoso)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,1	pH (KCl): 8,0	CE (dS m⁻¹): 29,20
MO (g kg⁻¹): 7,1	CaCO₃ (g kg⁻¹): 304,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 9,3
Granulometría y textura: no dispersa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	31,20	40,89	33,80	31,10	29,20	51,70
% sales	0,91	0,98	1,10	0,92	0,89	0,96
RAS	48,86	60,08	45,10	49,76	46,42	60,70

Muestra: G-4		
Coordenadas UTM: 30SYH020290	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: junto a la Casa del Inglés.	
Municipio: Elche (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: granados, próximos a palmeras y olivos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: poca presencia de salinidad, pero sí de hidromorfía en profundidad.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,6	pH (KCl): 8,0	CE (dS m⁻¹): 6,23	
MO (g kg⁻¹): 25,1	CaCO₃ (g kg⁻¹): 440,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 14,7	
Arena (%): 23,4	Limo (%): 42,7	Arcilla (%): 33,9	Textura: franco arcillosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	3,25	4,10	0,60	5,78	6,23	4,14
% sales	0,11	0,16	0,0	0,22	0,25	0,17
RAS	7,51	8,45	3,85	9,29	6,85	10,61

Muestra: G-5		
Coordenadas UTM: 30SXH900270	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: a 400 m de San Isidro de Albalera.	
Municipio: San Isidro de Albalera (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: <i>Salicornia fruticosa</i> , <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Atriplex glauca</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i> , junto a cultivo de palmeras y granados.	
Tipo de riego: no existe.	
Impactos: cultivo abandonado de palmeras.	
Observaciones: aparece salinidad localizada entre los 30-60 cm e hidromorfía. Imperfectamente drenado. Manchas de yeso en profundidad.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Solonchack Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,0	pH (KCl): 7,7	CE (dS m⁻¹): 15,41
MO (g kg⁻¹): 21,5	CaCO₃ (g kg⁻¹): 453,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 24,5
Granulometría y textura: no dispersa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	24,80	12,49	11,50	14,18	15,41	17,26
% sales	0,69	0,27	0,50	0,61	0,57	0,74
RAS	35,75	16,80	19,30	16,56	20,04	23,20

Muestra: G-6		
Coordenadas UTM: 30SXH930270	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: junto al polígono industrial de Catral.	
Municipio: Catral (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: olivos junto a cultivo de alfalfa y palmeras.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: se encuentra junto a un polígono industrial.	
Observaciones: no presenta hidromorfía ni salinidad pese a situarse junto a una acequia. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,5	pH (KCl): 7,8	CE (dS m⁻¹): 2,04
MO (g kg⁻¹): 19,6	CaCO₃ (g kg⁻¹): 351,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 16,4
Arena (%): 17,1	Limo (%): 55,2	Arcilla (%): 27,7
Textura: franco limoso		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	60-30 cm	0-30 cm	60-30 cm
CE	2,5	5,10	1,30	9,15	2,04	4,35
% sales	0,08	0,15	0,04	0,32	0,06	0,13
RAS	6,64	6,89	5,30	9,73	7,14	5,40

Muestra: G-7		
Coordenadas UTM: 30SXH960270	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: junto al Azarbe de la Partición y próximo al Embalse de Poniente.	
Municipio: Catral (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Salicornia sp.</i> , <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> .	
Tipo de riego: no existe.	
Impactos: algo alterado por la presencia de un transformador en las inmediaciones.	
Observaciones: indicios de salinidad entre los 30-60 cm por medio de manchas blanquecinas. Hidromorfía superficial y presencia de diferentes materiales, lo que puede ser debido a la construcción de los drenajes próximos. Imperfectamente drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Solonchack Gléyico Sódico Flúvico (Calcárico, Gipsírico, Hipersálico).	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,5	pH (KCl): 7,9	CE (dS m⁻¹): 39,02
MO (g kg⁻¹): 17,7	CaCO₃ (g kg⁻¹): 295,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 15,8
Granulometría y textura: no dispersa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	42,34	52,58	40,50	57,90	39,02	57,00
% sales	1,32	2,20	1,20	2,35	1,67	2,43
RAS	58,08	52,00	61,6	54,20	51,53	54,13

Muestra: G-8		
Coordenadas UTM: 30SYH020270	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 893

Descripción de la Parcela

Situación de la parcela: en el paraje del Carrizal, a 600 m al este de la Charca Sur.	
Municipio: Elche (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a palmeras. Presencia de carrizos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: presencia de una explotación ganadera y urbanizaciones cercanas.	
Observaciones: aparecen manchas de salinidad sobre los 40 cm aproximadamente e hidromorfía sobre los 60 cm de profundidad.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,2	pH (KCl): 7,7	CE (dS m⁻¹): 4,90	
MO (g kg⁻¹): 18,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 518,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 28,5	
Arena (%): 2,5	Limo (%): 58,3	Arcilla (%): 39,3	Textura: franco arcillo-limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	60-30 cm
CE	6,34	3,79	3,65	7,96	4,90	3,10
% sales	0,21	0,14	0,14	0,35	0,21	0,12
RAS	7,44	10,81	5,46	10,30	8,77	5,88

Muestra: G-9		
Coordenadas UTM: 30SXH900255	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: en el barrio de los Dolores.	
Municipio: Callosa del Segura (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a olivos y cebada. En las proximidades hay varios huertos de naranjos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual debido a la presencia de una industria y población cercana.	
Observaciones: agrietamiento superficial y posible salinidad por evidentes manchas blanquecinas. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Arcilloso, Árico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,3	pH (KCl): 7,6	CE (dS m⁻¹): 1,95
MO (g kg⁻¹): 25,5	CaCO₃ (g kg⁻¹): 549,3	T (cmol(+) kg⁻¹): 19,6
Arena (%): 7,3	Limo (%): 50,3	Arcilla (%): 42,4
Textura: arcillo limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,48	1,44	2,55	9,14	1,95	2,18
% sales	0,08	0,05	0,10	0,13	0,08	0,08
RAS	3,71	3,68	4,84	7,67	4,25	5,96

Muestra: G-10		
Coordenadas UTM: 30SXH930255	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a 500 m de Catral junto al Azarbe de la Palmera.	
Municipio: Catral (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a higueras y a parcelas con alfalfa.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual debido a la presencia de urbanizaciones próximas.	
Observaciones: no hay indicios de salinidad en profundidad. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,1		pH (KCl): 7,7		C.E (dS m⁻¹): 9,25	
MO (g kg⁻¹): 27,8		CaCO₃ (g kg⁻¹): 478,8		T (cmol(+) kg⁻¹): 17,2	
Arena (%): 16,1	Limo (%): 54,3	Arcilla (%): 29,6	Textura: franco-arcillo-limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,96	3,55	5,08	3,05	9,25	5,35
% sales	0,10	0,11	0,16	0,11	0,35	0,28
RAS	7,06	5,27	7,11	6,91	10,24	10,13

Muestra: G-11		
Coordenadas UTM: 30SXH960255	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: en el paraje del Hondito, a 750 m del Azarbe de Cebada.	
Municipio: Dolores (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a cultivo de trigo, narajos y limoneros.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: aparece yeso en profundidad y agrietamiento superficial. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gipsírico Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,1	pH (KCl): 7,6	CE (dS m⁻¹): 2,70	
MO (g kg⁻¹): 18,8	CaCO₃ (g kg⁻¹): 434,5	T (cmol(+) kg⁻¹): 17,4	
Arena (%): 8,0	Limo (%): 59,0	Arcilla (%): 33,0	Textura: franco-arcillo-limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	4,55	3,59	1,50	7,00	2,70	4,75
% sales	0,14	0,13	0,06	0,29	0,11	0,21
RAS	5,84	6,00	6,08	9,31	5,40	7,26

Muestra: G-12		
Coordenadas UTM: 30SXH990255	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: en el paraje de los Carrizales y a 500 m del Azarbe del Riacho.	
Municipio: Elche (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho de cebada junto a palmeras.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: en las proximidades hay depósitos de lodos de depuradora.	
Observaciones: indicios de salinidad y presencia de una fuerte hidromorfía. Aparece en profundidad lo que podría ser el fondo de la antigua laguna. Imperfectamente drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,1		pH (KCl): 7,6		CE (dS m⁻¹): 12,16	
MO (g kg⁻¹): 32,7		CaCO₃ (g kg⁻¹): 433,9		T (cmol(+) kg⁻¹): 21,0	
Arena (%): 3,3	Limo (%): 61,6	Arcilla (%): 35,1		Textura: franco arcillo-limoso	

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	3,03	6,49	5,63	9,23	12,16	9,25
% sales	0,11	0,27	0,23	0,38	0,51	0,37
RAS	4,47	9,84	5,81	10,53	12,38	10,37

Muestra: G-13		
Coordenadas UTM: 30SXH900240	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto al Brazal del Perlen.	
Municipio: Callosa del Segura (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: palmeras y rastrojo de cereal junto a cultivo de naranjos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: indicios de yeso en profundidad. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gipsífero Calcárico (Arcilloso, Árico, Ócrico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 7,9	pH (KCl): 7,4	CE (dS m⁻¹): 1,82
MO (g kg⁻¹): 8,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 415,7	T (cmol(+) kg⁻¹): 19,9
Arena (%): 6,6	Limo (%): 52,1	Arcilla (%): 41,3
Textura: arcillo limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,95	8,37	3,77	3,84	1,82	4,75
% sales	0,08	0,32	0,50	0,14	0,07	0,18
RAS	4,09	24,46	4,55	7,90	4,29	4,59

Muestra: G-14		
Coordenadas UTM: 30SXH930240	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: en el paraje Los Manueles, a 2 km al oeste de Dolores.	
Municipio: Catral (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a limoneros y naranjos y alcachofas.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: según su dueño esta parcela era un huerto de limoneros anteriormente y el agua de riego de los cultivos de la zona procede de Callosa del Segura. Se observa salinidad en superficie y en profundidad. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,7	pH (KCl): 7,6	CE (dS m⁻¹): 2,95	
MO (g kg⁻¹): 17,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 352,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 17,0	
Arena (%): 10,6	Limo (%): 55,4	Arcilla (%): 34,0	Textura: franco arcillo-limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	1,90	2,77	5,55	2,22	2,95	3,18
% sales	0,06	0,09	0,19	0,07	0,11	0,11
RAS	3,13	3,60	3,08	4,08	4,89	4,94

Muestra: G-15		
Coordenadas UTM: 30SXH960240	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a las afueras del casco urbano de Dolores.	
Municipio: Dolores (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: cultivo de brócoli.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual, debido a la presencia de urbanizaciones y de una industria papelera.	
Observaciones: indicios de salinidad en superficie. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Arcilloso, Árico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,2	pH (KCl): 7,4	CE (dS m⁻¹): 2,82
MO (g kg⁻¹): 29,2	CaCO₃ (g kg⁻¹): 247,1	T (cmol(+) kg⁻¹): 20,6
Arena (%): 4,0	Limo (%): 48,2	Arcilla (%): 47,8
Textura: arcillo limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	4,61	3,62	2,32	3,77	2,82	2,90
% sales	0,16	1,13	0,09	0,16	0,12	0,13
RAS	6,31	6,47	5,57	6,04	6,64	8,16

Muestra: G-16		
Coordenadas UTM: 30SXH990240	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: en el paraje los Cenales en las proximidades del Azarbe del Mayayo.	
Municipio: Dolores (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho junto a huertos de cítricos, palmeras y alcachofas.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no se aprecian.	
Observaciones: presencia de grietas en superficie. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Arcilloso, Árico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,4	pH (KCl): 7,5	CE (dS m⁻¹): 4,13	
MO (g kg⁻¹): 25,8	CaCO₃ (g kg⁻¹): 297,3	T (cmol(+) kg⁻¹): 21,6	
Arena (%): 7,4	Limo (%): 46,2	Arcilla (%): 46,4	Textura: arcillo limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	4,86	1,24	1,03	2,61	4,13	2,82
% sales	0,17	-	0,11	0,10	0,17	0,12
RAS	3,93	3,17	3,43	6,53	6,34	4,27

Muestra: G-17		
Coordenadas UTM: 30SXH900210	Altitud (m): < 10 m	Hoja Nº: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto a la Casa de la Era Alta en las inmediaciones de la Acequia del Mudamiento.	
Municipio: Orihuela (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: plantación reciente de limoneros.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual, al situarse junto a una fabrica.	
Observaciones: se observa salinidad en superficie junto con surcos y grietas. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Arcilloso, Árico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,29	pH (KCl): 7,57	CE (dS m⁻¹): 2,53
MO (g kg⁻¹): 10,8	CaCO₃ (g kg⁻¹): 437,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 18,2
Arena (%): 9,4	Limo (%): 48,8	Arcilla (%): 41,8
Textura: arcillo limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 m	0-30 cm	30-60 cm
CE	5,13	2,55	1,86	2,00	2,53	2,32
% sales	0,17	0,08	0,06	0,07	0,08	0,07
RAS	5,84	3,84	3,26	4,38	3,69	4,72

Muestra: G-18		
Coordenadas UTM: 30SXH930210	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: dentro del casco urbano de Almoradí, junto al camino de Catral.	
Municipio: Almoradí (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual, debido al excesivo crecimiento de las urbanización circundantes.	
Observaciones: hace años que no se ha cultivado. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,0	pH (KCl): 7,6	C.E (dS m⁻¹): 2,35
MO (g kg⁻¹): 17,5	CaCO₃ (g kg⁻¹): 444,2	T (cmol(+) kg⁻¹): 15,8
Arena (%): 32,1	Limo (%): 43,5	Arcilla (%): 24,4
Textura: franca		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	4,56	5,90	1,98	1,48	2,35	4,66
% sales	0,11	0,16	0,07	0,05	0,07	0,14
RAS	5,03	5,70	2,80	2,96	6,25	9,56

Muestra: G-19		
Coordenadas UTM: 30SXH960210	Altitud (m): < 20 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a 200 m al oeste de Daya Nueva.	
Municipio: Daya Nueva (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: naranjos junto a alcachofas y brócoli.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: todo cubierto con malas hierbas. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,3	pH (KCl): 7,6	CE (dS m⁻¹): 2,49	
MO (g kg⁻¹): 6,1	CaCO₃ (g kg⁻¹): 443,3	T (cmol(+) kg⁻¹): 18,6	
Arena (%): 12,3	Limo (%): 49,0	Arcilla (%): 38,7	Textura: franco arcillo-limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	3,39	3,18	3,20	3,48	2,49	4,70
% sales	0,11	0,10	0,12	0,12	0,09	0,16
RAS	3,48	4,82	3,53	4,75	3,85	5,36

Muestra: G-20		
Coordenadas UTM: 30SXH990210	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a 200 m al este del km 4 de la carretera de Dolores a San Fulgencio.	
Municipio: Daya Vieja (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: alcachofas junto a cultivo de brocolí.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: salinidad superficial e hidromorfía. Recientemente regado. Imperfectamente drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcilloso, Árico, Ócrico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,0	pH (KCl): 7,4	CE (dS m⁻¹): 2,29
MO (g kg⁻¹): 5,8	CaCO₃ (g kg⁻¹): 488,1	T (cmol(+) kg⁻¹): 19,8
Arena (%): 7,3	Limo (%): 48,7	Arcilla (%): 44,0
Textura: arcillo limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,29	2,20	5,31	3,21	2,90	2,32
% sales	0,08	0,09	0,19	0,11	0,14	0,11
RAS	4,24	6,22	4,93	5,65	4,62	5,97

Muestra: G-21		
Coordenadas UTM: 30SYH020210	Altitud (m): < 10 m	Hoja Nº: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a 250 m al sur del km 2 de la carretera Dolores a Guardamar del Segura.	
Municipio: Guardamar del Segura (Alicante).	
Profundidad: +120 cm.	
Cultivo actual: naranjos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: grietas y salinidad superficial.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Órico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,1	pH (KCl): 7,7	CE (dS m⁻¹): 3,97
MO (g kg⁻¹): 1,7	CaCO₃ (g kg⁻¹): 501,8	T (cmol(+) kg⁻¹): 13,7
Arena (%): 25,7	Limo (%): 57,1	Arcilla (%): 17,2
Textura: franca-limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,71	2,86	4,36	3,54	3,97	3,85
% sales	0,07	0,08	0,12	0,11	0,13	0,13
RAS	2,20	2,89	1,96	3,71	6,29	6,29

Muestra: G-22		
Coordenadas UTM: 30SYH050210	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto a la carretera de Dolores a Guardamar del Segura al lado de la fábrica de baterías Varta.	
Municipio: Guardamar del Segura (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: barbecho, junto a brócoli, pimientos y patatas.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visuales, debido a la existencia de urbanizaciones próximas, canteras de áridos e industria de baterías.	
Observaciones: el terreno se encuentra preparado para el cultivo. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,0	pH (KCl): 7,6	CE (dS m⁻¹): 3,30	
MO (g kg⁻¹): 9,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 428,7	T (cmol(+) kg⁻¹): 17,8	
Arena (%): 13,1	Limo (%): 59,5	Arcilla (%): 27,4	Textura: franca limosa

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	5,32	3,14	9,10	4,46	3,30	2,95
% sales	0,16	0,11	0,34	0,16	0,13	0,12
RAS	4,50	4,83	6,63	4,64	4,73	5,18

Muestra: G-23		
Coordenadas UTM: 30SYH900180	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: a 150 m al sur de la carretera de Orihuela a Almoradí.	
Municipio: Benejuzar (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: limoneros.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: no existen.	
Observaciones: abundantes caracoles. Moderadamente bien drenado.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Órico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,2	pH (KCl): 7,5	CE (dS m⁻¹): 1,86
MO (g kg⁻¹): 3,4	CaCO₃ (g kg⁻¹): 467,4	T (cmol(+) kg⁻¹): 13,7
Arena (%): 79,2	Limo (%): 63,0	Arcilla (%): 16,2
Textura: franca limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	3,30	1,32	2,11	2,75	1,86	2,69
% sales	0,09	0,04	0,10	0,09	0,06	0,08
RAS	3,24	1,45	2,35	5,90	4,10	4,90

Muestra: 24		
Coordenadas UTM: 30SXH930180	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto al km 5 de la carretera N-3323, en el paraje las Bóvedas.	
Municipio: Algorfa (Alicante).	
Profundidad: +120 cm.	
Cultivo actual: limoneros, alcachofas, habas y olivos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: a 800 m de un transformador y a 500 m de una fábrica de áridos.	
Observaciones: Preparación del suelo para el cultivo con abono orgánico.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Órico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,4	pH (KCl): 7,7	CE (dS m⁻¹): 3,95
MO (g kg⁻¹): 9,2	CaCO₃ (g kg⁻¹): 417,8	T (cmol(+) kg⁻¹): 13,7
Arena (%): 23,2	Limo (%): 58,1	Arcilla (%): 18,7
Textura: franco limosa		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60
CE	2,68	2,12	1,67	1,22	3,95	4,29
% sales	0,07	0,06	0,07	0,04	0,14	0,15
RAS	2,78	2,05	3,98	2,70	4,16	5,46

Muestra: G-25		
Coordenadas UTM: 30SXH960180	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto al cauce del río, al norte del km 18 de la carretera N-3323.	
Municipio: Rojales (Alicante).	
Profundidad: + 120 cm.	
Cultivo actual: naranjos.	
Tipo de riego: a manta.	
Impactos: visual, debido a la proximidad de la autovía y a las canalizaciones del río, así como a la existencia de urbanizaciones en construcción al noreste.	
Observaciones: Aparece hidromorfía debido a la proximidad a una acequia y al cauce del río.	
Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Gléyico Calcárico (Árico, Franco, Ócrico)	

Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,6	pH (KCl): 7,8	CE (dS m⁻¹): 2,38
MO (g kg⁻¹): 4,3	CaCO₃ (g kg⁻¹): 428,0	T (cmol(+) kg⁻¹): 11,7
Arena (%): 35,6	Limo (%): 45,6	Arcilla (%): 18,8
Textura: franca		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,20	3,16	2,86	3,08	2,38	2,58
% sales	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
RAS	2,87	2,82	3,36	3,85	4,66	7,01

Muestra: G-26		
Coordenadas UTM: 30SXH990180	Altitud (m): < 10 m	Hoja N°: 914

Descripción de la parcela

Situación de la parcela: junto al cauce del río, a 200 m al sur del km 21 de la N-3323.

Municipio: Guardamar del Segura (Alicante).

Profundidad: + 120 cm.

Cultivo actual: limoneros de 1 año.

Tipo de riego: posiblemente riego a manta.

Impactos: visual, debido a la existencia de urbanizaciones próximas.

Observaciones: Moderadamente bien drenado.

Clasificación (IUSS-WRB, 2014). Fluvisol Calcárico (Árico, Franco, Ócrico)



Propiedades edáficas generales

pH (agua): 8,3		pH (KCl): 7,7		CE (dS m⁻¹): 2,28	
MO (g kg⁻¹): 2,0		CaCO₃ (g kg⁻¹): 478,6		T (cmol(+) kg⁻¹): 11,7	
Arena (%): 35,6	Limo (%): 46,4	Arcilla (%): 18,0	Textura: franca		

Evolución de la salinidad

	2002		2004		2006	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
CE	2,11	1,05	1,62	2,00	2,28	3,49
% sales	0,05	0,03	0,06	0,07	0,07	0,09
RAS	1,01	2,26	1,60	2,82	3,83	3,78

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J.A., Faz, A., Jansen, B., Kalbitz, K., Martínez-Martínez, S. (2011). Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Environments*, 75: 1056-1066.
- Aguilar, J. y Ortiz, R. (1992). Metodología de capacidad de uso agrícola de suelos. *Actas del III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, 281-287, Pamplona.
- Al-Jaloud, A. 1994. Water requirements for reclamation of salt-affected soils in Al-Qasseem, Saudi Arabia. *Arid Soil and Rehabilitation*. 8: 187-194.
- Alcaraz, F., Diaz, T., Rivas-Martínez, S. y Sánchez-Gómez, P. (1989). Datos sobre la vegetación del sureste de España: provincia biogeográfica Murciano-Almeriense. *Itinerarios Geobotánicos* 2: 5-133.
- Alcaraz, F. (1996). Fitosociología integrada, paisaje y biogeografía, In Loidi, J. (De), *Advances in Phytosociology*: 59-94. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. Bilbao.
- Alexandratos, N. (1995). *World Agriculture: Towards 2010. A FAO Study*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. John Wiley & Sons, Roma.
- Álvarez, J. (2009). Salinización de suelos y salinidad: una moneda de dos caras que incluye degradación pero también preservación de los recursos naturales. IV Simposio Nacional Control de la Degradación de los suelos y cambio global. Valencia.
- Álvarez, J. (1997). *Relaciones Suelo-Vegetación en saladares del sureste de España*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia.
- Álvarez Rogel, J., Alcaraz, F. y Ortiz, R. (1995a). Some soil features influencing plants zonation in a non coastal salt marsh in SE Spain. Comunicación presentada al International Symposium on salt affected lagoon ecosystems. Valencia.
- Álvarez Rogel, J., Alcaraz, F. y Ortiz, R. (1995b). Soil tipology and vascular plant zonation in a non coastal salt marsh in SE Spain. Comunicación presentada al International Symposium on salt affected lagoon ecosystems. Valencia.
- Amezketta, E. (2005). Evolución espacio-temporal de la salinidad en una parcela de regadío. XIII Congreso de Nacional de Riegos. Elche.

- Andrades, M. (1996). Prácticas de edafología y climatología. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. La Rioja. 79 pp.
- Anne. (1945). Ann., Agro. 2, 161-172.
- Aragües, R. y Cerdá, A. (1998). Salinidad de aguas y suelos en la agricultura de regadío. En: Agricultura sostenible. Eds.: Instituto de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- Arnaldos, R. (2001). Estudio de la salinidad de los suelos del sector centrorienta del campo de Cartagena. Tesina de Licenciatura. Universidad de Murcia. 250 pp.
- Ayers, R. y Wescott, D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. N° 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 174 pp.
- Batjes, N.H. y Sombroek, W.G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. Glob. Change Biol., 3: 161-173.
- Blanco Bernardeau, M.A. (2015). Estudio de la distribución espacial y cartografía digital de algunas propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas de suelos de la Cuenca del Segura. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 217pp.
- Bower, C.A. y Wilcox, L.V. (1965). Soluble salts. En C.A., Black, Ed. Methods of soil Analysis, Part. 2, 933-949. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Braun-Blanquet, J. y Bolòs, O. (1958). Les groupements vegetaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme. Anales. Estac. Exper. Aula Dei, 5 (1-4), 1-266. Zaragoza.
- Bresler, E. (1981). Irrigation and Soil Salinity. En D. Yaron (Ed) Salinity in Irrigation and Water Resources. Marcel Dekker, New York.
- Bridges, E.M. & Oldeman, L.R. 1999. Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **13**, 319-325.
- Brindley, G.W. 1966. Ethilenglicol and glicerol complexes of smectites and vermiculites. Clay Min., 6: 119 pp.
- Canales, G. y Vera, J.F. (1985). Colonización del Cardenal Belluga en las tierras donadas por Guardamar del Segura: Creación de un paisaje agrario y situación actual. Investigaciones geográficas nº 3, 143-161. Universidad de Alicante.
- Cánovas, J. (1986). Calidad agronómica de las aguas de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Caro, M. (1970). Suelos salinos y procesos de salinización en el S.E. español. Tesis doctoral. CEBAS-CSIC. Murcia.
- Cerdá, A., Caro, M y Fernández, F.G. (1980). Criterios básicos para evaluar la calidad de las aguas de riego. *Anales de Edafología y Agrobiología*.
- Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. En C.A., Black, Ed. *Methods of soil Analysis. Part. 2*, 933-940. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Chhabra, R. (1996). *Soil salinity and water quality*. A.A. Publishers. Rotterdam. 284 pp.
- Cobertera, E. (1993). *Edafología aplicada. Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales*. Ediciones Cátedra. Madrid. 326 pp.
- De Paz, J.M., Visconti, F. y Rubio, J. L. (2011). Special evaluation of soil salinity using the WET sensor in the irrigated area of the Segura river lowland. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, 174: 103-112.
- Domínguez, A. (1989). *Tratado de fertilización*. Segunda edición, Mundi-Prensa. 601 pp.
- Duchaufour, Ph. (1970). *Pedalogie*. Masson. París.
- Duchaufour, Ph. y Souchier, B. (1984). *Edafogénesis y clasificación*. Editorial Masson S.A. Paris. 493 pp.
- FAO. (1976). *Prognosis of salinity and alkalinity*. FAO Soils Bulletin 31. Roma.
- FAO. (1977). *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. Ed. FAO. Roma
- FAO-PNUMA. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 86 pp.
- FAO. (1988). *World Agriculture Toward 2000: An FAO. Study*. Bellhaven Press.
- FAO-ISRIC. (1990). *Guidelines for soil description*. 3rd Edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 70 pp.
- FAO-ISRIC-SICS. (1998). *Base Referencial Mundial del Recurso suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 93 pp.

- FAO-ISRIC-IUSS. (2006). World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resource Reports* n° 103. FAO. Roma. 145 pp.
- FAO. (2004). Carbon sequestration in dryland soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 108 pp.
- Felipó, M.T. y Garau, M.A. (1987). La contaminació del sòl; procés de degradació del medi edàfic de l'entorn. *Quaderns d'Ecologia aplicada*, 12, Diputació de Barcelona, Server del Medi Ambient, 85 pp.
- Fina-Ibérica (1978). Mapa geológico y memoria explicativa. Hoja n° 914 (Guardamar del Segura). Escala 1:50.000, Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Francois, L.E. (1995). Salinity effects on bud yield and vegetative growth of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Hortscience* 30(1): 69-71.
- Fuentes, J.L. (1999). El suelo y los fertilizantes. Ediciones Mundi-prensa y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 352 pp.
- Gardner, W.H. (1965). Water content. En: *Methods of soils Analysis*. Part. 2, 82-125. Eds. C.A. Black. Amer. Soc. of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Giménez, J.M. (2000). Evolución y tendencias en el uso y gestión territorial del sistema dunar de Guardamar y Elche (Alicante). *Investigaciones geográficas* n° 23, 131-150. Universidad de Alicante.
- Gisbert, J.M. Desertification and Salinity Europea Parliament Scientific and Technological Assessment-STOA. 133-158. 1991. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- Glenn, E., Squires, V., Olsen, M. y Frye, R. (1993). Potencial for carbon sequestration in drylands. *Wat. Air Soil Poll.*, 70: 341-355.
- Grande Covián, R. (1956). Los suelos salinos: su rescate y aplicación a las Marismas del Guadalquivir. Ed. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Grattan, S.R., y Grieve, C.M. (1992). Mineral element acquisition and growth responses of plant grown in saline environments. *Agric. Ecosystems and Envir.* 38: 275-300.
- Green Kelly, R. (1953). Identification of montmorillonoids. *J. Soil Sci.*, 4, 233-237.

- Hernández, J., Faz, A., Marín, P., Vela, N., and Ortiz, I. L. Salt affected Fluvisol in the Guadalentín Valley (Murcia, SE Spain). Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., 1573-1584. 2002. Logroño. Geoforma Ediciones.
- IPCC. (2000). Land use, land use change, and forestry special report. Cambridge University Press. 337 pp.
- ITGE y DPA. (1996). Estudio de los recursos de agua salobre en la zona Sur de la provincia de Alicante. Previabilidad de Gestión de la salmuera de rechazo, mediante ISP. Tomo Memoria. 309 pp.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Advanced course. Depart. of soils. Univ. of Wisconsin. Madison.
- Kamphorst, A. y Bolt, G.H. (1976). Saline and sodic soils. En: Soil Chemistry. A basic elements. Eds.; G.H. Bolt y M.G.M. Bruggenwert. Elsevier.
- Kunze, G.W. 1965. Pretreatment for mineralogical studies analysis. En "Methods of Soil Analysis". Parte. 1. C.A. Black (Ed.). Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wis. 573-574.
- Lal, R. y Stewart, B.A. (1990). Soil degradation: a global threat. In: Soil Degradation. Advances in Soils Science, vol. 11, xiii-xvii pp.
- Lal, R., Follet, R.F., Kimble, J.M. y Cole, V.R. (1999). Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. J. Soil Water Conservation. 54:374-381.
- Lindsay, W.L. y Norwell, W.A. (1969). Development of a DTPA micronutrient soil test. Agron. Abstr., 84 pp.
- López, L. (1998). Agricultura y Medio ambiente. En: Agricultura Sostenible. Capítulo II: 15-41. Ediciones Mundi-Prensa y Agrofuturo-Life.
- López, J. (1990). El Diagnostico de suelos y plantas: métodos de campo y laboratorio. Ediciones Mundi-Prensa. 363 pp.
- López, F. (2001). El riesgo de desertificación. En: Agricultura y Desertificación. Capítulo I: 15-38. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Castilla la Mancha e Instituto de Desarrollo Regional. Agricultura y Desertificación. Madrid.
- Maianu, A. (1964). Salinizarea secundara a solului. Ed. Academiei Republicii Populare Romine. Bucharest.

- Marín Sanleandro, P. (1992). Características generales y aspectos mineralógicos de la fertilidad en potasio de los suelos del sector meridional de la Vega Alta del Segura (Murcia). Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 199 pp.
- Martín de Santa Olalla, F. y de Juan, J.A. (1993). Agronomía de riego. Mundi-prensa-UCLM. Madrid. 732 pp.
- Martín de Santa Olalla, F. y de Juan, J.A. (2001 b). El uso del agua en una agricultura sostenible. En: Agricultura y desertificación. Capítulo V: 109-131. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Castilla la Mancha e Instituto de Desarrollo Regional. Agricultura y Desertificación. Madrid
- Martín de Santa Olalla, F. y de Juan, J.A. (2001 a). La utilización del agua por el hombre. En: Agricultura y desertificación. Capítulo VI: 134-161. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Castilla la Mancha e Instituto de Desarrollo Regional. Agricultura y Desertificación. Madrid.
- Martín, J.M. 1968. Análisis cuantitativo de los filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Martín, J.M., Martín, J.L. y Rodríguez, M. (1969). Análisis cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. An. Real Soc. Esp. Fis. y Quim., Serie B.L.V.: 109-112.
- Martín, J.L. y Rodríguez, M (1961). Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X- ray diffraction. I. Chlorite-kaolinite mixtures. Clay Min. Bull., nº 26: 288-292.
- Martínez, M.A. (2006). Estudio de la calidad del agua de riego en la zona norte de la Vega Baja de río Segura. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Murcia. 196 pp.
- Martínez-Álvarez, V., García-Bastida, P.A., Martín-Gorriz, B. y Soto-García, M. (2014). Adaptive strategies of on-farm water management under water supply constraints in south-eastern Spain. Agricultural Water Management. Vol 136: 59-67.
- Martínez, M.J.; Pérez, C; Tudela, M.L.. Molina, J., Linares, P., Navarro Hervás, M. C., Vidal, J., Barberán, R., Mantilla, W., Tovar, P., Solano, A., Marimón, J., Agudo, I. y Hernández, C (2005). Desertificación: monitorización mediante indicadores

- de degradación química. Programa de iniciativa comunitaria INTERREG III ESPACIO MEDOC. Proyecto Desernet: Acción Piloto Región de Murcia.
- Mass, E.V., y Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. ASCE J. Irrigation and Drainage Div. 103 (IR2): 115-134.
- Massoud, F.I. (1971). A note on the need for accepted definitions and methods of characterization of salt-affected soils. IRYDA: Información International Society of Soils Science. Reunión de la subcomisión de suelos salinos, Sevilla.
- Mehra, O.P. y Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clay Min. Bull., 7: 317-327.
- Mermut, A.R. (2002). Carbon Sequestration and its importance for Arid and Desert Environments. A.R. (Eds) Faz, A., Ortiz, R., y Mermut, In: Sustainable use and management of soil in arid and semiarid regions (Vol. 1): 210-220. Quaderma Editorial.
- Micó, C. (2005). Estudio de metales pesados en suelos con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. (Memoria de Tesis Doctoral). Universidad de Valencia. Valencia.
- Montenat, Ch. (1973). Les formations néogènes et quaternaires du Levant espagnol (Provinces d'Alicante et de Murcia). Thesis.Univ. París, 1170 pp.
- Moreno, L., Sánchez, E., Ramos, G. y Rodríguez, L. (2001). Propuesta de una red para el control de salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos cuaternarios profundos de la Vega Baja del Segura (Alicante). VII Simposio de Hidrogeología, Asociación Española de Hidrología Subterránea. Tomo XXIII. Murcia.
- Murphy, J. y Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27, 31-36.
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. En A.L. Page, Ed. Methods of Soil Analysis, part. 2, 181-196. Am. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Nieves, M. (1995). Estudio de la contaminación por salinidad de las aguas de riego y los suelos de la Vega Baja del Segura. EUITA. Universidad Politécnica de Valencia, Orihuela (Spain).

- Nieves, M. (2005). Evaluación de la salinidad en la Vega Baja del Segura y de los cultivos sostenibles, XXIII Congreso Nacional de riegos. Elche (Alicante)
- NRC. (1989). National Research Council. Irrigation-Induced Water Quality Problems: What Can Be Learned from San Joaquin Valley Experience. Nat. Acad. Press. Washington DC.
- Oldeman, L. R.; Hakkeling, R. T. A. and Sombroek, W. G. (1991). World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note, Second revised edition ISRIC/UNEP. 35 pp
- Olsen, S.R. y Dean, L.A. (1965): Phosphorus. En C.A. Black, Ed. Methods of Soil Analysis. part. 2, 1044-1045. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Omar, S.A.S.; Madouth, T.; El-Bagouri, I.; El-Mussalem, Z.; Al-Telaihi, H. 1998. Land degradation factors in arid irrigated areas : The case of Wafra in Kuwait. Land Degradation and Development. 9: 283-294.
- Ortiz, R. y Caselles, E. (1982). Estudio de los suelos salinos situados al norte de San Felipe de Neri (Alicante). Anales de Edafología y Agrobiología. Vol. XLI, 833-850.
- Ortiz, R., Hernandez, S. y Alcaraz, F. (1985). Caracterización edafogenética de los suelos halomorfos de un sector meridional de la albufera de Elche (Alicante). Anales de Edafología y Agrobiología. Vol XLIV, 93-117.
- Ortiz, R., Alcaraz, F. y Hernández, S. (1987). Contribución al conocimiento de las relaciones suelo-agua-vegetación en un sector de las salinas de Santa Pola (Alicante, España). Anales de Edafología y Agrobiología. Vol. XLVI, 273-283.
- Ortiz, R., Hernández, J., de la Torre, A. y Franco, I. (1993). Evaluación y cartografía de la capacidad de uso agrícola de suelos en la zona norte de Lorca (Murcia). Problemática geoambiental y desarrollo. Tomo II. 595-603.
- Ortiz, R., Álvarez Rogel, J. y Alcaraz, F. (1995). Soil plant relationships in two coastal salt marshes in southeastern Spain. Arid Soil Research and Rehabilitation, 9: 481-493.
- Ortiz, R., Sánchez, A., Hernández, J., Marín, P., Delgado, M.J., García, A., Carricondo, J.L. (2003). Proyecto LUCDME. Mapa de suelos. Escala 1:100.000. Guardamar

- del Segura (914). Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Murcia. (En prensa).
- Ortiz, R., Sánchez, A., Hernández, J., Marín, P., Delgado, M.J., García, A., Carricondo, J.L. (2004). Proyecto LUCDME. Mapa de suelos. Escala 1:100.000. Elche (893). Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Murcia. (En prensa).
- Ortiz, R. y Albaladejo, J. (2005). Secuestro del carbono y su importancia en la recuperación de suelos degradados en ambientes áridos y semiáridos. II Simposio Nacional: control de la degradación de suelos. 127-141.
- Ostrom, M.E. 1961. The separation of clay minerals from carbonate rocks by using acids. Jour. Sed. Petr., 31: 123-129.
- Palmer, G. y Troeh, F. (1977). Introductory Soil Science. Laboratory manual. Iowa State University Press. Ames. Iowa. USA.
- Pedrero, F., Alarcón, J.J., Nicolás, E. y Mounzar, O. (2013). Influence of irrigation with saline reclaimed water on young grapefruits. Desalination and water treatment. Volumen 51: 10-12.
- Peech, M. (1965). Hydrogen-ion activity. En C.A., Black, Ed. Methods of soil Analysis. Part. 2, 914-916. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Pizarro, F. (1985). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Segunda edición. Editorial agrícola española S.A. Madrid. 542 pp.
- Plá, I. (1991). Salinización del suelo y desertificación. Ponencias del seminario. Procesos de Desertificación en Condiciones Ambientales Semiáridas, Tomo II 704/10: 1-36. Universidad Menéndez Pelayo. Valencia.
- Plaster, E.J. (2000). La ciencia del suelo y su manejo. Ediciones Paraninfo. Madrid. 419 pp.
- Porta, J., López-Acebedo, M. y Roquero, C. (2003). Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. 849 pp.
- Porta, J., López-Acebedo, M y Poch, R. (2014). Edafología. Uso y protección de suelos. Ediciones Mundi-Prensa.607pp.

- Pratt, M. (1965): Potassium and sodium. En C.A. Black, Ed. *Methods of Soil Analysis*, part. 2, 1022-1030. Amer. Soc. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Ramírez Díaz, L., Vidal Abarca, M.R., Suárez, N.L., Esteve, M.A., Velasco, J., Robledano, F., Calvo, J.F., Millán, A., Giménez, A., Ortega, M., Gómez, R., González, G. y Hernández Gil, V. (1989). *Inventario abierto de los humedales de la Región de Murcia*. Agencia Regional para el Medio Ambiente y la Naturaleza de la Región de Murcia. Murcia.
- Richards. (1947). Pressure-Membrana apparatus construction and use. *Agr. Engin* 28: 451-54.
- Richards, L.A. (1974). *Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Ediciones Limusa. México.
- Rhoades, J.D., y Loveday, J. (1990). Salinity in irrigated agriculture. Capítulo 36 en: B.A. Stewart y D.R. Nielsen, eds. *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy 30. ASA, New York.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M. (1992). The use of saline water for crop production. *FAO.Irrigation and Drainage Paper 48*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- Riquier, Bramao y Cornet. (1970). El sistema de evaluación agraria de los suelos de la FAO. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*, CEOTMA (1982), 197-206.
- Robledano, F., Calvo, J.F., Esteve, M.A., Mas, J., Palazón, J.A., Suárez, M.L., Torres, A., Vidal-Abarca, M.R. y Ramírez-Díaz, L. (1991a). Estudios ecológicos de los humedales costeros del Sudeste español II. Evolución histórica, situación actual y perspectivas de conservación. *Anales de Biología (17) Biología Ambiental*, 6: 165-176.
- Robledano, F., Calvo, J.F., Esteve, M.A., Mas, J., Palazón, J.A., Suárez, M.L., Torres, A., Vidal-Abarca, M.R. y Ramírez-Díaz, L. (1991b). Estudios ecológicos de los humedales costeros del Sudeste español I. Inventario y tipificación. *Anales de Biología (17) Biología Ambiental*, 6: 153-163.

- Rodríguez, A. (2009). Degradación de Tierras y Desertificación: Aspectos éticos y sociales. IV Simposio Nacional. Control de la degradación de los suelos y cambio global. Valencia.
- Romero Díaz, M.A. (2015). La desertificación amenaza casi la mitad del suelo fértil. La Opinión digital. Disponible en:
<http://www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2015/02/16/desertificacion-amenaza-mitad-suelo-fertil/625973.html>. Fecha de consulta: 16/02/2015
- Shainberg, I. (1975). Salinity of soils. Effects of salinity on the physics and chemistry of soils. En *Ecological studies 15. Plant in Saline Environments*, editado por A. Poljakoff-Mayber and J. Gale. Springer-Verlag. Berlin.
- Shainberg, I. y Shalhevet, J. (1984). *Soils salinity Under irrigation*. 331 pp.
- Shalhevet, J. (1994). Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water manag.* 25: 233-269.
- Simón, M. (1978). Estudio de los suelos salinos de la provincia de Granada. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Simón, M., Cabezas, O., García, I. y Martínez, P. (1994). A new method for the estimation of total dissolved salt in saturation extracts of soil from electrical conductivity. *European Journal of Soil Science.* 45: 153-157.
- Smedena, L.K. (1990). Natural Salinity hazards of irrigation development in (semi) arid regions. En: *Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semiarid Regions*. 1: 22-35. Cairo. Egypt.
- SSSA. (1987). *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America. Madison Wisconsin, EE.UU. 44 pp.
- Szabolcs, I. 1996. An Overview on Soil Salinity and Alkalinity in Europe. En: *Soil Salinization and Alkalinization in Europe* (eds N.Misopolinos & I.Szabolcs), pp. 1-12. ESSC Editions, Thessaloniki (Greece).
- Szabolcs, I. (1989). *Salt-affected soils*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- UNEP. (1993). Halophytes for livestock, rehabilitation of degraded land and sequestering atmospheric carbon. En *United Nations Environment Programme, Environment Management Guidelines*. Ed. A.T. Ayoub y C.V. Malcom. Nairobi, Kenia.

- U.N.C.E.D. 1992. Report of the United Nations Conference on Environment and Development at Rio de Janeiro. Managing Fragile Ecosystems. Combating Desertification and Drought. UN, New York. Chapter 12.
- USDA. (1999). Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for Making and interpreting Soil Survey. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture Printing Office, Washington, DC. 869 pp.
- Vela de Oro, N. (2002). Estudio de los procesos de salinización en suelos del Valle del Guadalentín (Murcia). Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 431 pp.
- Vidal Otón, J. 2002. Evaluación de los principales procesos de degradación en Fluvisoles Calcáricos de la huerta de Murcia. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 310 pp.
- Visconti, F., de Paz, J.M., Zapata, R y Sánchez, J. (2004). Development of an equation to relate electrical conductivity to soil and water salinity in a Mediterranean agricultural environment. Australian Journal of Soil Research, 42, 381-388
- Visconti, F. (2009). Elaboración de un modelo predictivo de la acumulación de sales en suelos agrícolas de regadío bajo clima mediterráneo, aplicación a la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó (Alicante). Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. 308pp
- Watanabe, F. S. y Olsen, S.R. (1965). Test of ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 677-678.
- Whitting, L.D. (1965). X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. En "Methods of Soil Analysis". Parte 1. C.A. Black (Ed.). Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wis. 671-698.

Páginas Web consultadas:

www.convega.com

www.dip-alicante.es

www.edafologia.ugr.es

www.fao.org

www.gva.es

www.infoagro.com

www.isric.nl

www.mma.es

www.unep.org

www.vegabaja21.com

www.sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf. Fecha de consulta: Febrero 2014.

www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2015/02/16/desertificacion-amenaza-mitad-suelo-fertil/625973.html. Fecha de consulta: 16/02/2015.

www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/296677/. Fecha de consulta: 15 abril 2015.

www.fao.org/soils-2015/blog/la-importancia-de-los-suelos/es/. Fecha de consulta: 28 abril 2015.

[www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31821&IDTIPO=11&RASTRO=c217\\$m45758,45759](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=31821&IDTIPO=11&RASTRO=c217$m45758,45759). Fecha de consulta: 13 de Agosto 2015.

www.comunidadism.es/actualidad/ya-en-vigor-el-vii-programa-general-de-accion-de-la-union-en-materia-de-medio-ambiente. Fecha de consulta: 20 de abril 2015.

**ÍNDICES DE TABLAS, GRÁFICOS, MAPAS,
FIGURAS Y FOTOS**

ÍNDICE DE TABLAS

	Pg
Tabla 2.1. Relación de muestras de agua analizadas	28
Tabla 2.2. Calidad del agua de riego en la zona de estudio Primer muestreo: noviembre-diciembre 2005	29
Tabla 2.3. Calidad del agua de riego en la zona de estudio Primer muestreo: noviembre-diciembre 2005	30
Tabla 2.4. Valores medios mensuales de temperatura y precipitación.....	35
Tabla 2.5. Balance hídrico de Guardamar del Segura	36
Tabla 2.6. Balance hídrico de San Miguel de Salinas	37
Tabla 2.7. Balance hídrico de Elche	38
Tabla 2.8. Distribución de las tierras según su tamaño	43
Tabla 3.1. Coordenadas de los puntos de muestreo.....	47
Tabla 3.2. Poder reflectante de la principal reflexión basal para cada filosilicato	60
Tabla 4.1. Descripción macromorfológica (I)	94
Tabla 4.2. Descripción macromorfológica (II).....	96
Tabla 4.3. Analíticos generales.....	102
Tabla 4.4. Parámetros relacionados con la salinidad.....	107
Tabla 4.5. Granulometría.....	111
Tabla 4.6. Elementos asimilables	115
Tabla 4.7. Estadísticos descriptivos de la capa arable.....	129
Tabla 4.8. Resultados de las determinaciones analíticas de capa arable	138
Tabla 4.9. Análisis granulométrico y clase textural	141
Tabla 4.10. Estadística descriptiva del análisis granulométrico.....	140
Tabla 5.1. Grado salino del suelo en función de su CE.....	152

	Pg
Tabla 5.2. Conductividad eléctrica 2002, 2004 y 2006	155
Tabla 5.3. Estadísticos descriptivos de la CE	153
Tabla 5.4. Estadísticos descriptivos de la CE 2002	156
Tabla 5.5. Estadísticos descriptivos de la CE 2004	160
Tabla 5.6. Estadísticos descriptivos de la CE 2006	163
Tabla 5.7. Estadísticos descriptivos de la CE en superficie y profundidad en Solonchaks	169
Tabla 5.8. Estadísticos descriptivos de la CE en superficie y profundidad en Fluvisoles	169
Tabla 5.9. Estadísticos descriptivos de la CE durante el periodo de estudio	170
Tabla 5.10. Evolución del grado salino 2002-2006	178
Tabla 5.11. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC medidos en el extracto de saturación 2002	187
Tabla 5.12. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación 2004	190
Tabla 5.13. Conductividad eléctrica, sales solubles, cationes y aniones, RAS, PSC y PSS medidos en el extracto de saturación 2006	193
Tabla 5.14. Estadísticos descriptivos de los cationes en Solonchaks	181
Tabla 5.15. Estadísticos descriptivos de los cationes en Fluvisoles	181
Tabla 5.16. Estadísticos descriptivos de los aniones en Solonchaks	182
Tabla 5.17. Estadísticos descriptivos de los aniones en Fluvisoles	182
Tabla 5.18. Estadísticos descriptivos de cationes 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Solonchaks	199

	Pg
Tabla 5.19. Estadísticos descriptivos de cationes 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Fluvisoles.....	200
Tabla 5.20. Estadísticos descriptivos de aniones 2002, 2004 y 2006 en superficie y profundidad en Solonchaks.....	201
Tabla 5.21. Estadísticos descriptivos de aniones 2002, 2004 y 2006 en Superficie y profundidad en Fluvisoles	202
Tabla 5.22. Correlaciones cationes/aniones 2002, 2004 y 2006	205
Tabla 5.23. Estadísticos descriptivos del RAS durante el periodo de estudio.....	208
Tabla 5.24. Evolución del PSC durante el periodo comprendido entre 2002 y 2006	211
Tabla 6.1. Parámetros indicadores de las subclases y clasificación de las muestras en el 2006	225
Tabla 6.2. Elementos asimilables de la capa arabl	230
Tabla 6.3. Estadísticos descriptivos de los elementos asimilables	231
Tabla 6.4. Valores de CE que pueden afectar a los cultivos de la zona	240

INDICE DE FIGURAS

	Pg
Figura 2.1. Zona de estudio	15
Figura 3.1. Toma de muestras compuestas en cada punto seleccionado.....	49
Figura 4.1. Difractograma A.O. III-Ap1	118
Fig. 4.2. Difractograma A.O. III-3C2.....	118
Figura 4.3. Difractograma A.O. III-C3.....	119
Figura 4.4. Difractograma A.O. IX-Ap1	119
Figura 4.5. Difractograma A.O. VI-Ayz	121
Figura 4.6. Difractograma A.O. VI-Cgyz1.....	122
Figura 4.7. Difractograma A.O. VI-Cgyz4.....	123
Figura 4.8. Difractograma A.O. I-Ap1	123
Figura 4.9. Difractograma A.O. I-Cgyz3	124
Figura 5.1. Diagramas de cajas CE 2002, 2004 y 2006	154
Figura 5.2. Diagramas de cajas CE 2002, Solonchaks y Fluvisoles.....	157
Figura 5.3. Diagramas de cajas CE 2004, Solonchaks y Fluvisoles.....	161
Figura 5.4. Diagramas de cajas CE 2006, Solonchaks y Fluvisoels	164

INDICE DE FOTOS

	Pg
Foto 1. Redes de canalización de agua.....	17
Foto 2. Frentes de dunas repobladas en Guardamar del segura.....	19
Foto 3. Dunas en Guardamar del Segura.....	20
Foto 4. Río Segura a su paso por la zona de estudio.....	27
Foto 5. Solonchaks.....	31
Foto 6. Vegetación de ribera.....	40
Foto 7. Vegetación de la zona salina.....	42
Foto 8. Pala excavadora realizando la calicata de un perfil.....	50
Foto 9. Determinación del color según las claves MUNSELL (1954).....	52
Foto 10. Determinación analítica de la materia orgánica.....	53
Foto 11. Determinación analítica de la CE.....	54
Foto 12 y 13. Determinación de pFs.....	56
Foto 14. Determinación de la granulometría.....	56
Foto 15. Determinación de la capacidad de cambio catiónico.....	57
Foto 16. Determinación del fósforo asimilable.....	58
Foto 17 y 18. Panorámica y macromorfología del perfil I.....	67
Foto 19 y 20. Panorámica y macromorfología del perfil II.....	70
Foto 21 y 22. Panorámica y macromorfología del perfil III.....	73
Foto 23 y 24. Panorámica y macromorfología del perfil IV.....	76
Foto 25 y 26. Panorámica y macromorfología del perfil V.....	79
Foto 27 y 28. Panorámica y macromorfología del perfil VI.....	82

Foto 29 y 30. Panorámica y macromorfología del perfil VII	85
Foto 31 y 32. Panorámica y macromorfología del perfil VIII.....	88
Foto 33 y 34. Panorámica y macromorfología del perfil IX	91
Foto 35. Acumulación de sales en el suelo.....	150
Foto 36. Riego a manta en cultivos hortícolas.....	18

INDICE DE MAPAS

	Pg
Mapa 1. Mapa de suelos del Bajo Segura.....	33
Mapa 2. Localización de los puntos de muestreo y perfiles	48
Mapa 3. Materia orgánica.....	131
Mapa 4. Nitrógeno	132
Mapa 5. Carbonato cálcico	135
Mapa 6. pH en H ₂ O	136
Mapa 7. pH en KCl.....	137
Mapa 8. Arena	144
Mapa 9. Limo	145
Mapa 10. Arcilla.....	146
Mapa 11. Conductividad eléctrica capa arable 2002.....	159
Mapa 12. Conductividad eléctrica capa arable 2004.....	162
Mapa 13. Conductividad eléctrica capa arable 2006.....	165
Mapa 14. Velocidad de salinización 2002-2006	175
Mapa 15. Grado salino 2006	177
Mapa 16. Distribución espacial del sodio 2006.....	196
Mapa 17. Distribución espacial de los cloruros 2006.....	197
Mapa 18. Porcentaje de sodio de cambio	213
Mapa 19. Velocidad de alcalinización.....	215

INDICE DE GRÁFICOS

	Pg
Gráfico 4.1. Granulometría perfil III.....	110
Gráfico 4.2. Distribución de las distintas fracciones granulométricas	143
Gráfico 5.1. Grado salino 2002	158
Gráfico 5.2. Grado salino 2004	161
Gráfico 5.3. Grado salino 2006	164
Gráficos 5.4. y 5.5. CE en superficie y profundidad en Solonchaks.....	166
Gráficos 5.6 y 5.7. CE en superficie y profundidad en Fluvisoles.....	168
Gráficos 5.8, 5.9 y 5.10. Evolución de la CE durante los años 2002, 2004 y 2006	172
Gráfico 5.11. Evolución del grado salino	178
Gráfico 5.12. Evolución del catión Na^+ 2002-2006	184
Gráfico 5.13. Evolución del catión K^+ 2002-2006	184
Gráfico 5.14. Evolución del catión Mg^{+2} 2002-2006	185
Gráfico 5.15. Evolución del catión Ca^{+2} 2002-2006	185
Gráfico 5.16. Evolución del anión Cl^{-1} 2002-2006	185
Gráfico 5.17. Evolución del anión SO_4^{-2} 2002-2006.....	185
Gráfico 5.18, 5.19 y 5.20 Evolución del RAS durante los años 2002, 2004 y 2006.	210
Gráfico 5.21. Evolución del porcentaje de sodio de cambio 2002-2006.....	211
Gráfico 6.1. Porcentaje de clases de capacidad de uso agrícola en el 2006	224

