

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS
AGROFORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SANIDAD Y PRODUCCIÓN VEGETAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

“EVOLUCIÓN DE LA APTITUD PARA EL RIEGO DE LOS
SUELOS DE LA PEDRERA (PROVINCIA DE ALICANTE)”

CURSO ACADÉMICO: 2018/2019

ALUMNO: Ing. Javier Zuzunaga Rosas

TUTOR: Dra. Sara Ibáñez Asensio

COTUTOR: Dr. Héctor Moreno Ramón

Valencia, Septiembre de 2019

DATOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER (TFM):

Título del TFM: Evolución de la aptitud para el riego de los suelos de la Pedrera (Provincia de Alicante).

Autor: D. Javier Gerardo Zuzunaga Rosas

Tutor Académico: Dña. Sara Ibáñez Asensio

Cotutor: D. Héctor Moreno Ramón

Lugar y fecha: Valencia, septiembre de 2019

Resumen:

Existen necesidades tan fundamentales como la necesidad de producir alimentos, necesidad de un lugar en donde vivir, etc., pero también la necesidad de la preservación del medio natural, debido a que los recursos podrían dejar de ser renovables si no son utilizados de manera razonable y equilibrada, atentando contra el desarrollo sostenible; sin embargo, a pesar de la importancia para la vida, tanto el suelo como los recursos hídricos no han recibido de la sociedad la atención que merecen. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad, los cuales podrían estar destinados a ser el principal problema para el presente siglo.

Por esta razón, el presente trabajo de investigación está orientado a realizar un análisis riguroso de la evolución de la aptitud para el riego de los suelos de la Pedrera, situado en una zona semiárida al sur de la provincia de Alicante (España), tomando como referencia o punto de partida diversas evaluaciones de los suelos de la comarca iniciadas en 1974, año en donde se recomendó poner en desarrollo alrededor de 7.500 hectáreas en respuesta a la calidad y disponibilidad de agua para riego procedente del trasvase del Tajo. Sin embargo, en el estudio del año 1997 se evidenció que la calidad de los suelos había sido afectada por importantes procesos de degradación como la salinidad y la sodicidad, producto de haber recurrido a fuentes de agua para riego con alto contenido en sales y por ende de baja calidad, para poder suplir la nueva superficie de regadío que pasó a ser de 13.000 has. Por éste motivo se recomendó utilizar recursos con menor conductividad eléctrica, utilizándose aguas procedentes en su mayoría de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARS). Ya en el año 2007, en una nueva evaluación de la calidad de los suelos se comprobó que la sodicidad se había reducido en un 28% respecto a los resultados de 1997. No obstante, el estudio reveló que el 21.5% de las muestras deterioró su calidad, el 64.3% logro conservarla y el 14.5% mejoró, evidenciando así mismo que el principal factor limitante para el uso de los suelos era la salinidad seguido del porcentaje de caliza.

El presente trabajo contempla realizar una nueva evaluación para identificar si la aptitud para el riego de los suelos ha mejorado o ha sufrido deterioro. Para ello se ha planteado el muestreo y análisis de 144 horizontes de suelos procedentes de 28 calicatas realizadas en las mismas zonas de control, aplicando la misma metodología utilizada desde el año 1974: evaluación mediante el sistema de clasificación de tierras según su aptitud para riego (USBR) y el análisis de diversos parámetros edáficos como textura, conductividad eléctrica del extracto, pH, cationes, aniones, contenido de materia orgánica, carbonatos y bicarbonatos, etc.

Palabras clave:

Preservación, Degradación, Alicante, Zona Semiárida, Salinidad, Sodicidad, Evaluación de Suelos, USBR.

Abstract:

There are such fundamental needs as the need to produce food, the need for a place to live, etc., but also the need for the preservation of the natural environment, because the resources could no longer be renewable if they are not used in a reasonable manner and balanced, undermining sustainable development; However, despite the importance for life, both soil and water resources have not received from society the attention they deserve. Its degradation is a serious threat to the future of humanity, which could be destined to be the main problem for the present century.

For this reason, the present research pretend to carry out a rigorous analysis of the evolution of irrigation aptitudes of Pedrera's area. It is located in a semi-arid zone to the south of the province of Alicante (Spain), taking as reference or point of Various land evaluations started in 1974, year in which it was recommended to put into development around 7,500 hectares in response to the quality and availability of irrigation water from Tajo's transfer. However, the results of the year 1997 showed that the quality of the soils had been affected by important degradation processes such as salinity and sodicity, as a result of having used water sources for irrigation with high salt content and therefore of low quality, to be able to replace the new irrigated area that went from being 7,500 hectares to 13,000 hectares. For this reason, it was recommended to use resources with lower electrical conductivity, applying water mostly from wastewater treatment plants (EDARS). Already in 2007, in a new evaluation of the quality of soils of *La Pedrera*, it was found that sodicity had been reduced by 28% compared to the 1997 results, however, this research revealed that 21.5% of samples deteriorated its quality, 64.3% managed to preserve it and 14.5% improved, also showing that the main limiting factor for the use of soils was salinity followed by the percentage of limestone.

A new evaluation is currently being carried out to identify whether the suitability for soil irrigation has improved or suffered deterioration. For this, it has been proposed to perform the sampling and analysis of 144 soil horizons from 28 soil pits, carried out in the same control areas and with the same methodology used since 1974, also using the land classification system according to their ability to irrigation (USBR), and various edaphic parameters for its determination, such as texture, electrical conductivity of the extract, pH, cations, anions, organic matter content, carbonates and bicarbonates, etc.

Keywords:

Preservation, Degradation, Alicante, Semi-Arid Zone, Salinity, Sodicity, Soil Evaluation, USBR.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar, a Dios, porque suyo son el conocimiento, la sabiduría, la ciencia, y en sus manos están los tiempos.

Agradecer también a mi Madre, por esa fuerza y coraje que la caracteriza, por enseñarme a confiar en Dios y a ser perseverante para lograr alcanzar nuestras metas.

A mi padre, que está en el cielo, pero sé que disfrutaría este momento conmigo.

A mi esposa, una mujer muy valiente, por ese respaldo, porque a pesar de la distancia me mostró su apoyo a cada momento.

A mi hijo Shmuel, que tuve que dejar en casa antes que cumpla su primer año de nacido, lo cual, por cierto, no fue fácil. “Espero que algún día puedas leer estas líneas y logres comprender que hay decisiones difíciles de tomar por el bienestar de la familia, pero que todo sacrificio tiene su recompensa”. Me diste fuerza hijo.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento, de ánimo, por sus apreciables consejos.

A mis suegros, por su aprecio y apoyo.

A mis directores de Trabajo Final de Máster Sara y Héctor, por esa disposición que muestran cuando se requiere su apoyo, además de sus valiosas enseñanzas y recomendaciones a lo largo del proceso, las cuales me han sido de mucho provecho.

A Javi, por su apoyo y enseñanza en el laboratorio.

A mis profesores, por compartir sus experiencias y su vasto conocimiento.

A mis amigos, por cada momento compartido.

A PRONABEC, por identificarse con la juventud de mi país y ayudar al cumplimiento de nuestras metas.

A todos ellos les digo gracias, valió la pena el esfuerzo y sacrificio.

Índice

	Pág.
<u>1. Introducción</u>	1
1.1. Evaluación de la aptitud de suelos.....	1
1.2. Métodos de evaluación de tierras.....	2
1.3. Clasificación de tierras según su aptitud para riego (USBR,1953/1973).....	3
1.3.1. Principios de la metodología USBR.....	3
1.4 Parámetros de Evaluación en suelos de zonas áridas y semiáridas.....	4
1.4.1. Suelos salinos y sódicos.....	5
1.4.2. Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos.....	5
1.4.3. Factores que pueden incidir en la formación de los suelos salinos y sódicos.....	6
1.5. Justificación y objetivos.....	6
<u>2. Materiales y métodos</u>	8
2.1. Caracterización de la zona.....	8
2.2. Metodología.....	9
2.2.1. Fase de planificación del estudio.....	9
2.2.2. Fase de muestreo y campo.....	9
2.2.3. Fase de Laboratorio.....	9
2.2.3.1 pH del suelo.....	10
2.2.3.2 Materia orgánica del suelo.....	10
2.2.3.3 Conductividad eléctrica del extracto.....	10
2.2.3.4 Relación de adsorción de sodio.....	11
2.2.3.5 Porcentaje de sodio intercambiable.....	11
2.2.3.6 Carbonatos.....	11
2.2.4. Fase de gabinete.....	12

2.2.4.1. Cálculo de la RAS y el PSI.....	12
2.2.4.2. Estadística.....	12
2.2.4.3. Cartografía.....	12
2.2.4.4. Evaluación de suelos.....	13
<u>3. Resultados y discusión</u>	13
3.1. Caracterización de suelos (2019).....	13
3.2. Evolución de los parámetros edáficos de los suelos (1974-2019).....	19
3.2.1. Evolución del pH del suelo.....	19
3.2.2. Evolución de la Materia orgánica del suelo (%).....	19
3.2.3. Evolución de la Conductividad eléctrica del extracto (CEe).....	20
3.2.4. Evolución de la Relación de adsorción de sodio (RAS).....	23
3.2.5. Evolución del Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).....	26
3.2.6. Evolución de los carbonatos del suelo (%).....	28
3.3. Clases de suelo según su aptitud para riego del Embalse de la Pedrera, año 2019 (clasificación USBR,1953).....	28
3.4. Evolución de las clases de suelos del Embalse de la Pedrera (1974-2019), según factores de suelo (salinidad, sodio y porcentaje de caliza).....	30
3.5. Evolución de la aptitud para el riego de los suelos de la Pedrera (1974-2019).....	32
3.6. Distribución temporal de las clases de los suelos de la Pedrera (2007-2019).....	34
<u>4. Conclusiones</u>	35
<u>5. Bibliografía</u>	37

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cambio de usos de suelos en los municipios que comprende la zona de la Pedrera.....	7
Figura 2. Situación geográfica a nivel provincial y Ubicación de la zona de muestreo.....	8
Figura 3. pH en el perfil de los suelos de estudio 2019.....	14
Figura 4. Concentración de los principales iones el perfil del suelo según profundidad.....	15
Figura 5. Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio 2019.....	16
Figura 6. Distribución de los suelos en estudio según CEe en el perfil.....	16
Figura 7. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio 2019.....	17
Figura 8. Distribución de los suelos en estudio según PSI, año 2019.....	17
Figura 9. Porcentaje de saturación de sodio (PSI) el perfil de los suelos de estudio 2019.....	18
Figura 10. Carbonatos o Caliza en el perfil de los suelos de estudio 2019.....	19
Figura 11. Distribución temporal de la media de pH del extracto de saturación.....	19
Figura 12. Distribución temporal del contenido de Materia orgánica.....	20
Figura 13. Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio.....	20
Figura 14. Distribución temporal de la media de Conductividad Eléctrica del extracto de saturación.....	21
Figura 15. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio.....	22
Figura 16. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio.....	22
Figura 17. Presencia de sales en calicata 1-c-46, Año 2019.....	23
Figura 18. Distribución temporal de la media de CEe en perfiles coincidentes/año.....	23
Figura 19. Distribución temporal de la Relación de absorción de sodio (RAS).....	24
Figura 20. Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio.....	25
Figura 21. Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio.....	26
Figura 22. Distribución temporal del Porcentaje de Saturación de Sodio (PSI).....	26
Figura 23. Porcentaje de saturación de sodio (PSI) el perfil de los suelos de estudio.....	27
Figura 24. Distribución temporal del porcentaje de carbonatos.....	28
Figura 25. Carbonatos en el perfil de los suelos de estudio.....	28

Figura 26. Distribución en % de los suelos en estudio, según USBR.....	30
Figura 27. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su CEe.	30
Figura 28. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su PSI (%).	31
Figura 29. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su % de Caliza.....	32
Figura 30. Evolución temporal de los suelos en estudio (%), según su aptitud para riego (USBR).....	33
Figura 31. Distribución de los suelos en estudio del año 2019 con respecto al año 2017, según cambio de clases o categorías (USBR).....	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos.....	13
Tabla 2. Distribución de Textura (%) de 28 calicatas según profundidad de horizontes (2019).....	14

ÍNDICE DE ANEJOS

1.	Evaluación temporal de tierras agrícolas en España y el Mundo	1
2.	Sistemas de evaluación de tierras	4
3.	Clasificación de suelos según USBR	11
4.	Denominación de suelos según parámetros de evaluación	14
5.	Suelos salinos y sódicos	17
6.	Climatología y usos de tierras en las zonas de estudio	22
7.	Proceso de la metodología de trabajo	25
8.	Fase de planificación del estudio	27
9.	Fase de muestreo y campo	30
10.	Fase de Laboratorio	35
11.	Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos	40
12.	Mapas de parámetros edáficos	44
13.	Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio	126
14.	Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio	132
15.	Distribución temporal de parámetros evaluados en los suelos de estudio	138
16.	Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio	140
17.	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio	146
18.	Carbonatos o caliza (%) en el perfil de los suelos de estudio	152
19.	Resultados de la evaluación de suelos 2019, según su aptitud para el riego (USBR)	158
20.	Resultados de la evolución temporal de los suelos en estudio, según USBR	160

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Evaluación de la aptitud de suelos

Lo suelos son uno de los pilares de la agricultura pues sustentan el crecimiento vegetal y por tanto su evaluación es esencial. Según Stewart (1968), la evaluación de la tierra es "la valoración de la aptitud de la tierra para el uso del hombre en la agricultura, silvicultura, ingeniería, hidrología, planificación regional, recreación, etc.". Hoy en día, el ritmo de evolución y progreso de la sociedad ha generado una ocupación de la tierra de forma indiscriminada y a veces descontrolada. Ante la necesidad de conocer la extensión y localización de las mejores tierras para producir alimentos e insumos para la industria, y la preocupación de que terrenos agrícolas puedan ser sustituidos por usos urbanos o industriales, surge la evaluación de tierras orientada a identificar la aptitud del suelo, la cual se sustenta en los rendimientos que los cultivos que se desarrollen en la zona, puedan ofrecer en base a la calidad del suelo.

“Aptitud”, ha sido un concepto extensamente utilizado desde el enfoque pedológico para la evaluación de tierras en áreas rurales. Esta perspectiva plantea que la planeación del uso de la tierra es una estimación sistemática del potencial del agua y de la tierra, y se basa en: análisis muy detallados, superficies pequeñas, y variables más importantes a considerar para una buena práctica agrológica, es decir que, para establecer la aptitud territorial, es necesario conocer primeramente qué suelos hay, cómo están distribuidos, y cuál es su potencialidad.

Desde 1950, la evaluación de tierras ha evolucionado hacia valoraciones más cuantificadas y precisas, con una mayor repercusión de los factores no edafológicos (Van Diepen *et al.*, 1991). Sin embargo, actualmente son ampliamente aplicados modelos como la clasificación de la Capacidad de la Tierra del USDA (Klingebiel y Montgomery, 1961), que ha sido adaptado a las condiciones específicas de numerosos países (Condon, 1968; McCormack, 1971; Ministerio de Agricultura, 1974), o la Clasificación de la Aptitud de Tierra para Regadío del USBR, diseñada hace más de cuarenta años y que pretende también evaluar los impactos negativos provocados por el uso de algunas tecnologías que modifican radicalmente la productividad del suelo.

Otro enfoque para la evaluación de tierras agrícolas de alta calidad es el sistema Riquier-Bramao-Cornet (Riquier *et al.*, 1970), utilizado para medir la productividad potencial de un suelo, en función de un índice de productividad (capacidad del suelo expresada en volumen anual cosechado por hectárea). Dicho proceso testea en la zona de estudio, unas condiciones de productividad –LEU– asignadas a diversos proyectos agrícolas –LUT–.

Los modelos para evaluación de suelos se apoyan, generalmente, en información georreferenciada y han sido perfeccionados en virtud del intento por identificar el mecanismo actuante de la aptitud, a través de la denominada “agricultura de precisión”.

Desde esta perspectiva, la aptitud se refiere a lo adecuado de un tipo de tierra para un uso específico, a las libertades y restricciones de ese uso, correlacionando una especificación de uso con unas condiciones particulares de suelo. Esta corriente ha generado otros instrumentos metodológicos vinculados a las disciplinas agrológicas y ambientales, entre las cuales vale la pena reseñar la zonificación agroecológica (FAO, 1997), las zonas de vida (Holdridge, 1967), la zonificación ecológica (Andrade y Etter, 1998) y las unidades del paisaje (Cervantes, 1983). Estas metodologías son potenciadas con simulaciones geoestadísticas que permiten predecir cambios en los patrones de uso del suelo (Martí *et al.*, 2004).

La orientación ecológica de la aptitud del suelo implica otros conceptos asociados a la magnitud de las actividades que pueden desarrollarse, tales como la capacidad de carga y la capacidad de acogida; los cuales han sido tratados en numerosos estudios de estimación de impactos ambientales o efectos culturales de los proyectos de desarrollo.

Gracias al estudio del uso del suelo, es posible obtener un registro de su evolución y distribución en el tiempo, lo cual puede ayudar a los gobiernos a optimizar sus recursos, y priorizar las áreas a conservar o mejorar. En el caso de España en la tabla 1 del Anejo 1 se observa una reducción respecto al año 1974 del 18% de la superficie agrícola.

1.2. Métodos de evaluación de tierras

Mundialmente se han desarrollado un gran número de sistemas para la evaluación de tierras que van desde muy generales a muy específicos; dirigidos a orientar acciones de seguimiento o dirigidos a la administración y labores de planificación. Todos los sistemas de evaluación se clasifican en tres grandes grupos: i) métodos de evaluación cualitativa, ii) métodos paramétricos y iii) métodos de evaluación cuantitativa. Varios autores proponen el uso de una evaluación cualitativa combinada con modelos de simulación, de manera que mediante un análisis rápido con el primer método se identifican las áreas aptas y luego, el uso de modelos de simulación facilita un estudio más detallado. (Bouma, 1989, Van Lanen *et al.*, 1992, Stoorvogel, 1995).

El primer método que se desarrolló fue el de Clasificación de tierras por su capacidad de uso (Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)) en los años 50, el cual es un método que ha sido clasificado dentro de los de evaluación cualitativa. Su principal objetivo es calificar los suelos en base a su capacidad de ser utilizados sin sufrir degradación o posibles efectos secundarios (Rossiter, 1994). Otros métodos cualitativos que nacieron posteriormente fueron el método de Esquema de evaluación de tierras propuesto por la FAO en los años 70. Este valora la aptitud de las tierras para usos específicos, alternativos, ecológicamente sostenibles y económicamente viables. A esta lista se suma la Clasificación de tierra para usos con riego propuesta en el año 1953 por la Oficina de Reclamación de los Estados Unidos (USBR) y actualizada en 1973 por la misma entidad. Esta metodología tiene como objetivo principal seleccionar tierras para su conversión en riego, y caracterizar asimismo sus factores principales de manejo. Otras metodologías cualitativas son el Sistema de clasificación de tierras de Australia (que identifica y evalúa áreas similares en cuanto a patrones de vegetación, suelos, usos, geología, etc. mediante fotografías aéreas), y el Sistema de clasificación de suelos para la capacidad de fertilidad (FCC) pretende ser un nexo o facilitador entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos. El USDA desarrolló dos sistemas de evaluación cualitativa en los años 80. El Sistema LESA proviene de agrupar dos componentes (LE: evaluación de tierras y SA: evaluación de sitio), e intenta determinar si la tierra es viable para un desarrollo específico y como puede ser protegida. El segundo método (Sistema de Ponderación Potencial de Suelos) está orientado específicamente a la planificación según las áreas de evaluación.

Los métodos de evaluación paramétricos fueron desarrollados en los años 70 y consisten en relacionar la productividad con las características de las tierras. Entre los métodos paramétricos encontramos dos. El Índice de *Storie* o índice de tierra, y el Índice de productividad de Riquier.

Por último, las metodologías más recientes realizan estimaciones cuantitativas de la relación entre los suelos y uso, por lo general basados en el concepto de sistemas analíticos por requerir mucha información, siendo su ventaja principal la posibilidad de estimar la producción de cualquier

cultivo en cualquier lugar, previa calibración y validación. Este grupo está conformado por seis modelos: Modelos de evaluación de tierras (ALES), Modelos de balance hídrico (CROPWAT), Modelos de erosión (EPIC), y 3 Modelos de crecimiento de cultivos (WOFOST, CROPSYST y CERES-maíz). En el Anejo 2 se pueden encontrar mucho más desarrollados todos los modelos y metodologías descritos en este apartado.

1.3. Clasificación de tierras según su aptitud para riego (USBR, 1953/1973)

El sistema de clasificación USBR (*The Irrigation Suitability Classification of the United States Bureau of Reclamation*), es un sistema clásico y muy empleado, que se basa en la existencia de correlaciones entre los diferentes factores que afectan a la productividad bajo riego. La consideración de condicionantes económicos, como base de partida, dan lugar a unas clases de capacidad más realistas (Landon, 1984). Tiene como fin seleccionar tierras para el desarrollo de riego, y caracterizar sus factores principales de manejo. Los mapas de aptitud se usan para planear la ubicación de los trabajos de riego y drenaje, y para tomar decisiones de financiación a nivel de proyecto. Considera la tierra como un recurso que se puede modificar, pero cuya modificación debe ser sostenible y efectiva de costo. La estimación de la capacidad de la tierra para el riego es por tanto básica en los planes de desarrollo de los países, al ser los cultivos de regadío la forma de uso más productiva, y especialmente interesante y necesaria en zonas áridas y semiáridas en las que el agua de calidad es un bien caro y escaso.

Las características y cualidades de la tierra necesarias para la evaluación con fines de riego, son de carácter climático, edáfico, de drenaje, hidrológicas, topográficas, de vegetación, técnicas, económicas, sociales y políticas. La viabilidad de la transformación se mide por la capacidad de pago potencial con vistas a la amortización del proyecto, el mantenimiento a largo plazo de la productividad de la tierra previniendo la erosión, la degradación de la estructura, la salinidad y el anegamiento continuado. La capacidad de pago compara los costes de transformación y producción, frente a la capacidad productiva potencial. Esta última es función del clima, suelo, topografía (inclinación, relieve y posición), cantidad y calidad del agua de riego y drenaje del sistema.

1.3.1 Principios de la Metodología USBR

La metodología USBR considera las alteraciones que se pueden presentar a consecuencia de un riego constante, y para ello, considera cuatro principios:

- **Predicción:** El sistema mira hacia el futuro y hace predicciones sobre las consecuencias de regar y/o drenar, incluyendo cambios en la capa freática, la salinidad o sodicidad.
- **Correlación económica:** los factores físicos están relacionados con el valor económico, medido por la capacidad de reembolso. El residual disponible para pagar el agua después que todos los otros costes se hayan reunido. Otra manera de expresarlo sería el retorno de agua al tipo de utilización de tierra. El planificador entonces puede poner un umbral de reembolso para determinar que tierras se deben incluir en un proyecto de riego.
- **Factores permanentes y cambiables:** debemos identificar los factores que pueden cambiar cuando se realiza el proyecto, y los que no. Por ejemplo, pH versus la textura del suelo. Uno de los objetivos de la evaluación es decidir qué factores pueden cambiar económicamente. Dependiendo del alcance del proyecto, casi todo se puede cambiar. Por ejemplo, se puede transportar suelo de otras zonas y cambiar la textura, si esto fuera rentable y necesario.

- **Arabilidad y regabilidad:** El sistema USBR establece seis clases de idoneidad de los suelos para soportar regadío (tabla 1 del anejo 3: “Clasificación de suelos según USBR”):
 - ✓ **Clase 1: "Arable":** Alta capacidad de restitución; permite generalmente una gran variedad de cultivos y un rendimiento alto y sostenido; el agua es usada generalmente de forma eficiente y las tierras requieren de poca inversión para el desarrollo de cultivos.
 - ✓ **Clase 2: "Arable":** Capacidad intermedia de restitución; permite generalmente un rango algo restringido de cultivos, y sus rendimientos son moderados; el agua se usa generalmente de manera moderadamente eficiente; el riego puede ser más costoso para algunos cultivos que la clase I.
 - ✓ **Clase 3: "Arable":** Semejante en su capacidad de restitución y productividad a la clase 2, pero mayor riesgo de cultivo a causa de una sola grave deficiencia, o una combinación de varias deficiencias moderadas. Esto se debe corregir para poner la tierra en producción.
 - ✓ **Clase 4: "Arable Limitada o de Uso Especial":** Apta sólo para un rango muy limitado de cultivos (por lo tanto, hay mayor riesgo en términos físicos y de mercado, ya que sólo puede producirse un solo tipo de cultivos. Su capacidad de restitución puede ser más alta que las clases 2 o 3.
 - ✓ **Clase 5: "Temporalmente No-Arable":** No arable a causa de una deficiencia específica que se podría resolver. En este caso, estudios adicionales de ingeniería, agronomía, o económicos, son necesarios para colocarlo en clase 6 o en una clase arable.
 - ✓ **Clase 6: "No Arable":** Imposible o no factible para desarrollar bajo las consideraciones económicas existentes o proyectadas. Incluye las tierras que a primera vista no son desarrollables tales como tierras abruptas y fragmentadas, así como también tierras que se podría desarrollar, pero las cuales no reunirían criterios de reembolso.

1.4. Parámetros de Evaluación en suelos de zonas áridas y semiáridas

Los suelos “en regiones áridas y semiáridas generalmente contienen sales solubles en diversas concentraciones. El valor de estas sales puede exceder los límites que los cultivos toleran, provocando descensos en la productividad (USBR, 1953). Dierickx (2015) señala que, aun utilizando agua de buena calidad en los suelos agrícolas de zonas áridas y semiáridas, estos pueden padecer riesgo de salinización. Razón por cual la salinidad, alcalinidad y sodicidad son los que se monitorean con mayor frecuencia en éstas zonas. Su control es de vital importancia no solo para un proyecto agrícola sino para todo estudio relacionado con el suelo, e implica realizar un seguimiento temporal mediante evaluaciones frecuentes debido a que pueden sufrir alteraciones derivadas del manejo de los cultivos y los cambios en el clima.

El principal objetivo de este seguimiento es poder identificar las limitaciones del suelo y estimar el grado en que se encuentran para de esta manera considerar una posible intervención (la cual debe ser económicamente factible [anejo 4: “Denominación de suelos según parámetros de evaluación”]). Se pretende evitar riesgos en el uso del suelo y evitar costes futuros realizando un manejo razonable y sostenible de las prácticas agrícolas. Se expresan mediante indicadores químicos como la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), el pH; y relación de adsorción de sodio (RAS) (Raj *et al.*, 2016).

La USBR considera por un lado que los suelos salinos requieren de una adecuada permeabilidad para posibilitar el lavado de sales de la zona radicular. A su vez, los suelos sódicos tienden a disgregar y afectar la estructura de suelo afectando la permeabilidad. Evaluar la sodicidad de suelos para la USBR (1953) tiene por objetivo determinar la posibilidad de reemplazar el sodio intercambiable y mejorar la permeabilidad de suelo a niveles adecuados para soportar un riego sostenido. La corrección de suelos sódicos se evalúa a través de procedimientos de laboratorio

mediante la Capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes y aniones solubles, relación de absorción de sodio (RAS) y tipo de minerales en arcilla.

1.4.1. Suelos Salinos y Sódicos

Los suelos denominados salinos son aquellos que presentan conductividad eléctrica del extracto (CEe) mayor a 4 dS/m, PSI menor de 15%, y por lo general un pH menor de 8,5. En cambio los suelos sódicos presentan principalmente un PSI mayor del 15%, CEe menor de 4 dS/m, y pH mayor de 8,5. Los suelos salino-sódicos reflejan una combinación de ambos términos (figuras 1 y 2 del anejo 5: “Suelos salinos y sódicos”), mientras que los suelos normales son aquellos que presentan una CEe inferior a 4 dS/m y PSI < 15%. En este sentido, es importante conocer los procesos de acumulación de sales en el perfil del suelo y poder clasificar estos según sus limitantes para la producción agraria, debido a que las sales inciden tanto sobre las propiedades del suelo, como, de forma indirecta, sobre el desarrollo de las plantas. (Hervé *et al.*, 2002).

Arvensisagro (2014) indica que en el suelo pueden existir diferentes tipos de sales: las principales son las formadas por calcio, magnesio y sodio, que aportan unas características específicas al suelo dependiendo de su concentración. Cuando las acumulaciones en el suelo son predominantemente de calcio o de magnesio, se produce un fenómeno de salinización del suelo; sin embargo, si lo que se acumula en el suelo es el sodio, el suelo evoluciona de muy distinta manera, desarrollándose un proceso de sodificación, con resultados completamente distintos. En este sentido, dos son las condiciones necesarias para que se produzca la acumulación de sales en los suelos: aporte de sales y su posible eliminación ha de estar impedida.

Es importante distinguir entre dos conceptos que con frecuencia se dan como sinónimos, sodificación y alcalinización (tabla 1 de anejo 5). Sodificación es el proceso en el cual aumenta el contenido de Na⁺ intercambiable pero no necesariamente se produce un incremento de pH (Pizarro, 1978; Porta *et al.*, 1994), mientras que la alcalinización es el proceso en el cual se incrementa el Na⁺ intercambiable y se acumula como Na₂CO₃. El anión acompañante de las sales determina la elevación del pH puesto que la hidrólisis del Na⁺ intercambiable o del Na₂CO₃ produce un incremento del pH a valores cercanos a 10, caracterizando por tanto los suelos alcalinos. (Porta *et al.*, 1994, Pla-Sentis, 2014).

1.4.2. Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos

Según Hervé *et al.*, (2002), la presencia de sales en el suelo tiene que ver, en primer lugar, con los procesos naturales de meteorización de las rocas durante la formación de los suelos (salinización primaria); y, en segundo lugar, con la intervención del hombre mediante el riego al producir acumulación de sales solubles en el perfil (salinidad secundaria) ya que se aplica agua de riego con alto contenido de sales y problemas de drenaje (Guida *et al.*, 2017). Los principales cationes y aniones son: sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, sulfato, bicarbonato y carbonato. La acumulación ocurre debido a un desbalance entre los aportes y las salidas de estos iones, influyendo en ello la composición y concentración iónica de las aguas de riego, las prácticas de riego, las prácticas de fertilización, la efectividad de las lluvias en el lavado (lixiviación) y las propiedades hidráulicas del perfil del suelo (Aguirre, 1993). Altos contenidos en sodio o bajos en calcio, reducen la velocidad de infiltración, disminuyendo la disponibilidad de agua para los cultivos. Por otra parte, los iones sodio, cloro y boro se acumulan en concentraciones suficientemente altas para causar toxicidad. Estos efectos pueden actuar de forma independiente y frecuentemente en forma sinérgica, lo cual complica los diagnósticos (Sánchez *et al.*, 2016),

Terrazas (2019), manifiesta que, en condiciones naturales, existe una relación entre la ocurrencia y presencia de suelos salinos/sódicos con condiciones climáticas áridas y semiáridas, debido a que, en estos climas la evapotranspiración potencial (ETP) en la mayoría de los meses del año es mayor a la precipitación (P). Por consiguiente, bajo estas condiciones, las escasas precipitaciones no permiten el lavado de sales desde las capas superficiales del suelo y los movimientos ascendentes del agua del subsuelo facilitan su acumulación en los horizontes superficiales.

Ya en la década de los 90 de siglo XX se estimaba que la proporción de suelos afectados por salinidad estaba alrededor de un 10% del total mundial (Rhoades *et al.*, 1992), sin embargo, según lo manifestado por Meloni *et al.*, (2008) este problema afectó para la primera década del 2000 aproximadamente el 25% de los 230 millones de hectáreas irrigadas del planeta.

1.4.3. Factores que pueden incidir en la formación de los suelos salinos y sódicos

De forma general, pueden destacarse los siguientes factores:

- **Material original:** Principalmente aquellos materiales que formados en condiciones marinas que aparecen en superficie o cerca del subsuelo, los cuales son lentamente permeables (loess y aluviones) (Imbellone *et al.*, 2010), como ocurre en las regiones semiáridas y áridas del mundo (1980; Tanji, 1996).
- **Clima** (ETP > precipitación): Generalmente el suelo salino se da en climas áridos y semiáridos, mientras que los suelos sódicos principalmente aparecen en climas húmedos (Terrazas, 2019).
- **Topografía:** relieve deprimido y cóncavo donde se acumule el agua de escorrentía, y principalmente en zonas de descarga de flujos de agua subterránea de diferente recorrido con superficies freáticas próximas son aquellas en las que la sodicidad y salinidad aparecen principalmente.
- **Suelo:** La presencia de capas impermeables a escasa profundidad (arcilla compactada, horizontes petrogypsicos o petrocálcicos) así como capas freáticas.
- **Antrópica:** Producto del manejo inadecuado del suelo al utilizar fuentes de agua con alto contenido de sales para regadío (Szabolcs, 1979). A ello se suma la sobreexplotación de acuíferos, además del uso de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles. Finalmente, la actividad industrial con vertidos ilegales.

1.5. Justificación y Objetivos

La puesta en regadío de una zona, sin un estudio previo de planificación del suelo, del agua, de la geomorfología e hidrología ha sido la responsable de la salinización de extensas áreas agrícolas en todo el mundo, especialmente en las regiones áridas y semiáridas (FAO, 2002). Sin embargo, a pesar de que también se realizan estudios, estos problemas continúan manifestándose debido a que muchas veces no se toman en cuenta las recomendaciones que presentan dichos estudios. Es muy importante indicar que la salinización es una de las principales causas del deterioro de los suelos en este tipo de regiones bajo regadío (Pla Sentis, 2014), ya sea por elevación de la capa freática, disolución de las sales presentes en el perfil del suelo regado o agregado al suelo en la aplicación del agua de riego. El principal problema que genera es una disminución de la disponibilidad del agua al punto tal de reducir los rendimientos.

En la zona de estudio del presente trabajo, La Pedrera, se realizó una evaluación de las tierras previa a la puesta en regadío. En el año de 1973 el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) realizó la evaluación de los suelos de la zona para identificar las superficies útiles para desarrollo agrícola con su puesta en regadío. Finalizado en 1974 (IRYDA, 1974),

delimitó el área que cumplía los criterios para ser categorizada como arable, específicamente las clases II y III según la metodología USBR. Se calculó que aprovechando el trasvase del Río Tajo al Segura había suficiente agua de riego para unas 7.044 ha de las 29.070 ha evaluadas. De ellas se localizaron 6.755 ha por debajo de la cota de 100 m, por lo que, además de ser aptas para el riego, no necesitaban estación de bombeo que encareciera los costos del proyecto.

En su momento se identificó, mediante análisis de agua, que el río Segura tenía buena calidad de agua para riego en cabecera, pero a medida que avanzaba su curso se salinizaba. Se detectó asimismo que, tras cruzar Murcia, la calidad del agua disminuía considerablemente alcanzando valores de 1,2 dS/m y algunas muestras llegarían a un máximo de 2,3 dS/m. Estos parámetros descartaron el uso del agua del río, a menos que fuera mezclada con otra de mejor calidad. De igual manera sucedió con el embalse de La Pedrera que por su formación geológica le aportaba salinidad al agua, así como al 51.4% de los pozos de la zona.

Uno de los problemas de la zona fue que, de la superficie inicial establecida para el cultivo, en el año de 1997 se había extendido hasta alcanzar las 13.000 Ha, reduciendo con ello tanto la disponibilidad, como la calidad del agua utilizada. Por un lado, las diluciones no eran suficientes y por otro, la fracción de lavado no se llegaba a cubrir. A esta problemática, se sumó la sequía ocurrida entre 1992 y 1997, lo cual redujo aún más la disponibilidad de agua que años atrás ya había comenzado a mermar, reduciendo con ello los rendimientos de los cultivos de la zona. Esta situación causó que en 1997 se realizará una nueva evaluación de los suelos, en un total de 39 puntos, con 28 sondeos y 11 calicatas (Preciado, 2003). Se pudo determinar que en 22 perfiles la conductividad eléctrica (CE) superaba los 4 dS/m en la zona radicular y nueve muestras se catalogaron como ligeramente salinas con rangos de entre 2 y 4 dS/m. La mayor concentración de sales se obtuvo en seis perfiles donde la CE se presentó entre 8 y 16 dS/m. Asimismo, el estudio no mostró altos niveles de sodicidad. Como resultado del trabajo se recomendó utilizar para el riego agua depurada procedente de plantas de tratamiento, lo cual contribuyó a que diez años más tardes, en los resultados obtenidos de la evaluación realizada en el 2007 se comprobara que los suelos habían mejorado en un 62.15% respecto al problema de salinidad. Sin embargo, la superficie agrícola en regadío ha seguido en aumento hasta la actualidad. Esto se puede observar en la figura 1, en donde los municipios que comprende la zona Regable de la Pedrera han manifestado un notable incremento de dicha superficie durante la década del 2000-2010 (28.817 ha) con respecto a la década de 1980-1990 (22.345 ha). Específicamente, los mayores incrementos se localizaron en los Montesinos, Orihuela, Rojales y San Miguel de Salinas. Durante este periodo de tiempo también se realizaron obras para aumentar los cuerpos de agua hasta un total de 1,534.70 ha de superficie de agua (SIGA, 2019).

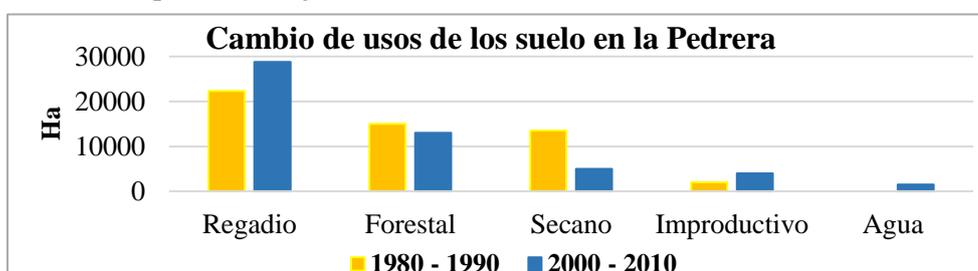


Figura 1. Cambio de usos de suelos en los municipios que comprende la zona de la Pedrera.

Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo principal realizar la evaluación de la Aptitud para el Riego de los suelos de la Pedrera del año 2019, siguiendo la metodología USBR empleada en los estudios previos de la zona.

Asimismo, los objetivos secundarios son:

- 1.3 Determinar la evolución de la Aptitud para el Riego de los suelos de la Pedrera a través de la comparación de una serie de analíticas, con evaluaciones desde el año 1994 hasta la actualidad.
- 2.3 Determinar los principales factores limitantes, así como el deterioro o recuperación de la calidad de los suelos desde 1974 hasta 2019.
- 3.3 Caracterizar y cartografiar los suelos de la zona de la Pedrera en 2019

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización de la zona

La comarca de la Pedrera, situada en la Vega Baja del Segura, se encuentra al sureste de la Provincia de Alicante, extremo meridional de la Comunidad Valenciana (Figura 2a) abarcando los términos municipales de Algorfa, Almoradí, Benejuzar, Benijófar, Bigastro, Jacarilla, Los Montesinos, Orihuela, Rojales y San Miguel de Salinas. La superficie aproximada es de 29.070 Has de las cuales unas 13.000 son de tierras regadas. Siendo la superficie sobre la que se ha desarrollado el estudio espacial de los diferentes parámetros edáficos desde el año 1974 hasta la actualidad de 120 km² (Figura 2b).

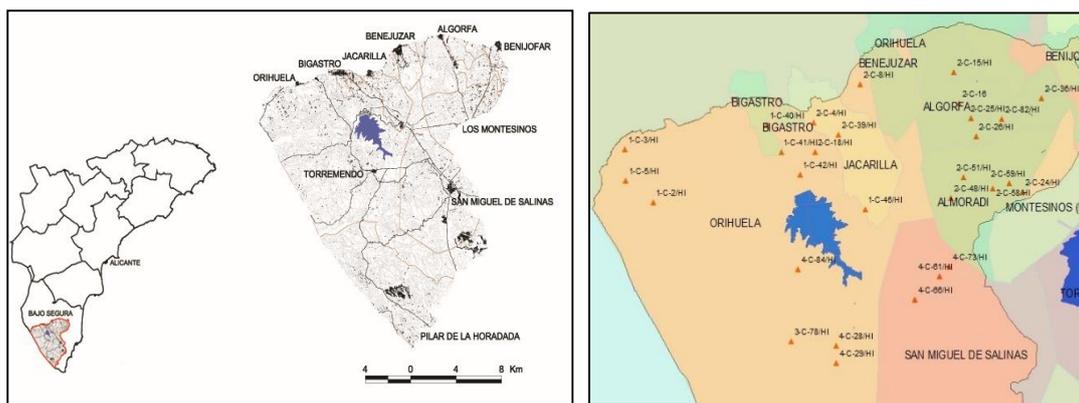


Figura 2a. Situación geográfica a nivel provincial y Figura 2b: Ubicación de la zona de muestreo.

El clima de la zona de estudio presenta escasas precipitaciones (alrededor de 300 mm anuales) y una evapotranspiración potencial elevada en torno a 900 mm/año (tabla 1 del anejo 6: “Climatología y usos de tierras en las zonas de estudio”), lo que se traduce en temperaturas elevadas durante largos periodos secos que provocan un déficit hídrico que da lugar al aspecto climático más relevante de la comarca, la aridez (IRYDA, 1974).

La fisiografía de la zona viene definida por la sierra de Escalona al suroeste con elevaciones de 347 m, la sierra del Cristo al noroeste con altitudes que oscilan entre 220 y 270 m, y la sierra de Pujálvarez junto a otras elevaciones que configuran un paisaje montañoso destacado entre los cuales aparecen dos planicies; una en la zona de los Montesinos y otra en la zona norte de la comarca. La geología de la zona viene determinada por materiales del Cuaternario (aluviones de arcilla con arena y tierras calcáreas, y calizas) y del Terciario (conglomerados y areniscas, calizas silíceas, arcillas, margas y yesos) dando lugar al desarrollo de Aridisoles y Entisoles según la clasificación de la Soil Taxonomy (IRYDA, 1974). Los horizontes cálcicos con presencia de nódulos calizos u horizontes petrocálcicos junto a los horizontes argílicos y los cámbicos dan lugar a la amplia gama de Aridisoles: Argids, Calcids, Cambids y Salids (según la taxonomía de la Soil Taxonomy). Por lo que respecta a los Entisoles, estos son los suelos más jóvenes en los

que los procesos pedogenéticos no se han desarrollado. Fluvents y Orthents son los subórdenes encontrados en la zona.

La vegetación desarrollada sobre estos suelos se agrupan en las siguientes comunidades vegetales: clase *Ononido-Rosmarinetea* abundante en la zona mediterránea con la presencia de *Thymus Serpyllum* y *Helianthemum pilosum*; clase *Salicornietea fruticosae* que se desarrollan en los suelos salinos con ejemplares de *Salicornia fruticosae* L., *Plantago coronopus*, etc., reconocibles por sus características salinas; clase *Parientarion-Galium murale* con *Tamarix gallica* L. y la clase *Rulero-Chenopodium* que suele desarrollarse en linderos de parcelas y caminos con ejemplares de *Thymus vulgaris*, *Avena fatua*, *Heliptropium europeae*, etc. Con respecto al actual uso de las tierras para los municipios incluidos dentro de la zona de estudio (tabla 2 del anejo 6), se puede observar que el principal uso de la tierra es el de cultivo (64.25% incluyendo olivar y viñedo de Orihuela, y viñedo de San Miguel de Salinas) y más concretamente los de regadío (56.88%), donde los cítricos (naranjos, limoneros y en menor medida mandarinos) ocupan el 90% de la superficie irrigada. Otros frutales como olivos o las hortalizas (lechuga iceberg, alcachofa, etc.) en menor grado completan la superficie total de regadío.

2.2 Metodología

La metodología de trabajo se dividió en 4 fases (esquema en la figura 1 del anejo 7: “Proceso de la metodología de trabajo”), las cuales se describen a continuación:

2.2.1. Fase de planificación del estudio

En esta fase, se buscaron estudios ya realizados sobre suelos de la zona, encontrando datos de 1974 del estudio del IRYDA, así como también datos de los años 1995, 1997 y 2007 sobre los mismos puntos de muestreo ejecutados por la Unidad Docente de Suelos de la Universitat Politècnica de València (IRYDA., 1974; Preciado, 2003; Moreno, 2007; Bellanger, 2018). También en esta fase recopilamos mapas y planos de la zona de la Pedrera según lo observado en las figuras 1 y 2 del anejo 8 (“Fase de planificación del estudio”).

2.2.2. Fase de muestreo y campo

En esta fase, se realizaron dos visitas a campo durante los meses de febrero y marzo de 2019 en las que se muestrearon y geoposicionaron los puntos con la ayuda de un dispositivo GPS. Posterior a ello, se realizó el registro de datos de la zona (tipo de sistema de riego, tipo de vegetación y/o cultivo, factores de topografía, etc.) en una ficha previamente elaborada (anejo 9), y se procedió a extraer las muestras tomadas de forma alterada según se observa en las figuras 1 y 3 del anejo 9, con una barrena *Eijelkamp* para suelos arcillosos a distintas profundidades (0-20, 20-40, 40-60 y 80-100 cm). Las muestras fueron recolectadas en bandejas con ayuda de una espátula para posteriormente ser colocadas en bolsas rotuladas. Los sondeos fueron nombrados de acuerdo a la nomenclatura utilizada en los estudios anteriores para su posterior comparación, siendo el número de calicatas un total de 28, las cuales dan lugar a un total de 144 horizontes o muestras. En la figura 3 del anejo 8 se muestra el mapa de localización de los puntos de muestreo.

2.2.3 Fase de Laboratorio

Una vez tomadas las muestras, fueron llevadas al laboratorio en donde se realizaron diversos análisis como se observa en el anejo 10, con la finalidad de determinar la categoría de suelo a la que pertenecía cada muestra, para lo cual fue necesario preparar el extracto de saturación utilizando la metodología propuesta por Richards (1954), llevando cada muestra a punto de

saturación con agua destilada y posteriormente realizando succión al vacío para extraer las sales. Con el extracto obtenido, se procedió a determinar los cationes y aniones, además de la salinidad del suelo. También se definieron otros parámetros edáficos como la determinación de la textura mediante el método de Bouyoucos, conductividad eléctrica de la solución del suelo 1/5, pH, humedad gravimétrica, carbonatos y bicarbonatos, etc., de acuerdo a las siguientes metodologías que se exponen en la tabla 1 del anejo 4. A continuación, se detallan los parámetros algunos de los parámetros evaluados en el suelo.

2.2.3.1. El pH del Suelo

La reacción de solución del suelo generalmente se expresa en términos de pH, (Richards 1954: Raj *et al.*, 2016), en donde éste es definido como el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones de hidrogeno. La reacción del suelo puede ser ácida, neutra o alcalina, conforme la concentración de iones de hidrogeno (H^+) o hidroxilo (OH^-). Cuando hay predominio de iones de H^+ sobre los iones OH^- la relación es ácida, y en caso contrario es alcalina. Cuando las concentraciones de H^+ y OH^- son iguales, el pH es neutro (tabla 2 del anejo 4).

2.2.3.2. La Materia orgánica del suelo (%)

La materia orgánica (M.O.) se expresa en porcentaje. Se refiere a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que por lo tanto pueden dar lugar a aumentar el contenido en nutrientes del suelo. La materia orgánica tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, además de favorecer la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de los suelos. También favorece el desarrollo de micro fauna edáfica mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua. Todos estos factores hacen que este parámetro sea muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad de un suelo. El contenido en M.O. es más elevado, por lo general, en los primeros 5-10 centímetros del suelo, disminuyendo en profundidad hasta llegar casi a desaparecer a los 30-60 cm (aunque hay muchas excepciones).

Los suelos agrícolas españoles tienen en general contenidos bajos en materia orgánica a excepción de los que se encuentran en las zonas húmedas. En general es conveniente elevar el contenido en materia orgánica, sobre todo si la productividad es baja o existe riesgo de erosión. Sin embargo, un abuso de ésta puede conducir también a situaciones de desequilibrio nutricional (Garrido, 1994). Asimismo, según manifiestan Martínez y Andrades (2014), la cantidad de materia orgánica de un suelo depende del material vegetal, de la textura del suelo y del pH. En la tabla 6 del anejo 4 se detallan los niveles de materia orgánica (%) según el tipo de textura del suelo, para suelos con cultivo en regadío.

2.2.3.3. Conductividad eléctrica del extracto (CEe)

El contenido de sales se estima por medio de la conductividad eléctrica (CE); cantidades elevadas originan disminución en la disponibilidad de agua en la zona radical con la consiguiente reducción de rendimientos debida a su efecto osmótico. La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y a los gases, y conduce consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aireación (Levy, *et al.*, 2005).

El uso de agua con un alto contenido salino genera una acumulación en el perfil de suelo, lo que depende de las características físicas de este como lo es la textura, la condición de drenaje, entre otros (El-Swaify, S., 2000). Por ello se debe conocer, de forma detallada, la concentración de

sales en el agua que se utiliza para riego, ya que esta concentración condiciona el manejo del mismo (tabla 3 del anejo 4). Un manejo correcto del riego puede reducir la salinidad y el posible efecto tóxico de estas sales.

2.2.3.4 Relación de absorción de sodio (RAS)

La mayoría de las aguas de riego contienen bases intercambiables que pueden incrementar la alcalinidad de los suelos. En este sentido, el sodio (Na^+) provoca la separación de los coloides del suelo cuando interacciona y desplaza los cationes divalentes presentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}), reduciendo así, el acceso y flujo de agua y oxígeno en el perfil del suelo. Las aplicaciones de agua con elevadas concentraciones de sodio al suelo disminuyen la fertilidad del mismo debido a la reducción de la aireación, aumento del pH y baja disponibilidad de hierro (Fe^{2+}) y cinc (Zn^{2+}) (Castellanos y Ojodeagua, 2011). Por lo tanto, la sodicidad se expresa como la concentración relativa de sodio comparada con el calcio y magnesio (relación de absorción de sodio (RAS)).

2.2.3.5. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El porcentaje que el sodio del suelo representa en relación con los cationes adsorbidos constituye un factor de gran importancia principalmente en el estudio de suelos con problemas de sales, siendo denominada por la literatura porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Los suelos presentan problemas de sodificación cuando el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor o igual a 15%. Marshall *et al.*, (1996), mencionan que muchos suelos son afectados con valores tan bajos como 6% de PSI; para el caso de estudios de riego se ha propuesto la utilización de la RAS del extracto de saturación como un buen índice para estimar el deterioro por sodificación del suelo. Cook y Muller, (1997) en una amplia revisión de estos criterios encuentran que el PSI y la RAS son de escasa sensibilidad y que a su vez varían ampliamente con el tipo de suelo. Proponen en definitiva la utilización del contenido de sodio intercambiable (CSI). Este elemento tiene efectos sobre la física de los suelos, dispersa los agregados, lo cual se traduce en una disminución de la cantidad de agua disponible para los cultivos (El-Swaify, 2000) asociada a una pérdida de la estructura, lo que se asemeja al efecto de bajos contenidos de materia orgánica (Tarkiewicz, y Nosalewicz, 2005); el efecto finalmente se traduce en una disminución en la velocidad de infiltración dificultando los procesos de lavado, necesarios cuando se utiliza agua con un alto contenido salino. El contenido de sodio en el suelo expresado en porcentaje de sodio intercambiable puede ser estimado a través de la RAS del agua de riego, la cual será detallada en la fase de gabinete. Según Otero *et al.* (2007), un suelo es sódico cuando el porcentaje de saturación de sodio (PSI) es mayor a 15 %, sin embargo, Raj *et al.*, (2010), realiza una denominación de suelos más detallada en cuanto al PSI, considerando suelos no sódicos cuando el PSI es menor a 7%, poniendo de manifiesto que aquellos que superen este valor son denominados suelos sódicos, desde ligeramente sódicos (7-10%), medianamente sódicos (11-20%), fuertemente sódicos (21-30%) hasta excesivamente sódicos (>30%), según se indica en la tabla 4 del anejo 4.

2.2.3.6. Carbonatos (%)

El carbonato cálcico (CO_3Ca) se mide normalmente por el método del Calcímetro de Bernard y su resultado se da en porcentaje de caliza en el suelo. Es un método sencillo y presenta resultados bastante fiables. Sin embargo, debido a que los suelos calizos por lo general son muy poco homogéneos, sobre todo si la caliza no se presenta en forma pulverulenta mezclada con el suelo, sino que está en forma de nódulos, láminas o enrejados, puede ocurrir que el resultado

corresponda a mayor o menor porcentaje que el que en realidad hay en el suelo. Por ello es imprescindible conocer cómo se ha efectuado el muestreo y cómo era el horizonte en el suelo natural. (Garrido, 1994).

Los porcentajes de caliza total en los suelos se muestran en la tabla 5 del anejo 4, por lo que porcentajes superiores a 35% pueden ocasionar problemas de productividad en los cultivos, sobre todo si se trata de plantas anuales o árboles jóvenes y estos niveles se encuentran en el horizonte superficial. Pero no toda la caliza que hay en un suelo afecta a las plantas, sino que solamente aquella que es «activa», es decir, aquella que puede interponerse evitando la retención de otros cationes. Cuando el contenido en «caliza total» es superior al 15 % se recomienda analizar lo que se llama la «caliza activa», que es la verdadera medida de la caliza que puede afectar a los cultivos.

2.2.4. Fase de gabinete

Tras los datos obtenidos de los análisis, se pasó a la fase de gabinete, en donde se realizó el cálculo y evaluación de los resultados, estadística, realización de cartografía, así como la comparación de los mismos con los años 1974, 1995, 1997 y 2007 respectivamente. Asimismo, en esta fase se realizó la “Clasificación de los suelos según su aptitud para riego - USBR del año 2019, y un comparativo de clase de suelos con énfasis en C_{Ee}, %PSI, y % de Caliza con los resultados de los años anteriormente mencionados. Tal como se ha mencionado, en esta fase se describe el Cálculo del RAS y PSI, la Estadística, la Cartografía y la Evaluación de suelos.

2.2.4.1. Cálculo de la RAS y el PSI

La RAS se calculó posteriormente a la medición de las concentraciones de los iones de Mg⁺², Ca⁺² y Na⁺ (en meq/L). Para ello se empleó la ecuación 1 (Essington, 2003):

$$\text{Ecuación 1} \quad RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

Partiendo de dicho resultado se obtuvo el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) para lograr clasificar los suelos con los mismos parámetros establecidos y utilizados en estudios previos.

La ecuación se obtuvo del manual de Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos Richards (1954) y se detalla a continuación:

$$\text{Ecuación 2} \quad PSI = \frac{100 \times (-0,0126 + 0,01475 \times RAS)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times RAS)}$$

Donde RAS es el valor previamente calculado en la ecuación 1.

2.2.4.2. Estadística

Para realizar los cálculos estadísticos se utilizó el software estadístico SPSS donde se obtuvieron los resultados descriptivos de medias, mínimos y máximos, desviación estándar, etc.

2.2.4.3. Cartografía

La cartografía se realizó mediante el software *ArcGis 10.1*. Todos los mapas se realizaron mediante *Kriging Bayesiano empírico*, en el que se interpolaron los datos de puntos muestreados para cartografiar las variables en las zonas no muestreadas. El cartografiado de la evaluación de las clases de suelo se realizó utilizando unidades homogéneas de suelos definidas en los anteriores estudios y asignándoles la clase, de acuerdo a los criterios definidos en cada una de las calicatas analizadas. También se representó cartográficamente todos los parámetros analizados.

2.2.4.4. Evaluación de suelos

Mediante las visitas de campo y habiendo obtenido los resultados de las analíticas, se procedió a evaluar cada una de las calicatas. Para ello se ordenaron los resultados según los factores (suelo, drenaje y topografía) propuestos en la metodología de Evaluación de suelos según su aptitud para riego de la USBR (USBR, 1953). Posteriormente el resultado de cada parámetro fue contrastado con los rangos establecidos y que se indican en la tabla 2 del anejo 3. Se emplearon rangos establecidos y adaptados al medio en el estudio de la Evaluación de suelos de la zona regable de La Pedrera (1974) y posteriormente en la caracterización edáfica, evaluación de tierras y evolución de la salinidad en la zona regable de La Pedrera (Preciado, 2003).

En el presente estudio se evaluó el suelo con las analíticas de los primeros 40 cm de profundidad de suelo. Esta consideración se tomó en cuenta para poder contrastar los resultados con los que se obtuvieron en 1974, 1995, 1997 y 2007, los cuales utilizaron la misma profundidad. La elección de dicha profundidad se debe a que es la zona de mayor actividad radicular para los cítricos y hortalizas, siendo estos los principales cultivos en la zona. La región efectiva de actividad radicular también se considera hasta los 60 cm de profundidad en otros estudios (Cox. *et al.*, 2018). Así pues, de cada calicata se tomó el factor más limitante a lo largo de su perfil para luego poder evaluar el suelo en una de las seis categorías o clases que emplea la metodología.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de los suelos (2019)

Los resultados obtenidos de los análisis, se muestran resumidos en la tabla 1 para las 144 muestras analizadas. En el anejo 11 se expresan detallados en profundidad (0-20,20-40,40-60 y 80-100 cm).

Tabla 1. Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos

PARÁMETROS EVALUADOS	SUELOS EN ESTUDIO (PERFIL) , AÑO 2019					
	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACION	MAX	MIN
Elementos gruesos (%)	1.1	0.4	1.7	1.6	9.1	0
Materia orgánica (%)	1.8	1.7	0.7	04	4.9	0.6
Carbonatos (%)	43.9	43.6	7.3	0.2	58.6	23.2
Arcilla %	31.3	31.5	7.9	0.3	48.0	14.0
Limo %	35.4	35.5	10.9	0.3	59.0	11.0
Arena %	33.2	32.0	17.2	0.5	71.0	1.0
CE 1:5 (dS/m)	0.8	0.6	0.6	0.7	3.2	0.3
pH (1/2.5)	8.7	8.7	0.2	0.03	9.2	7.9
CEe (dS/m)	4.5	3.3	4.3	0.9	30.8	0.6
pHe	7.6	7.6	0.3	0.04	8.1	6.2
K ⁺ (meq/l)	0.9	0.7	1.2	1.3	8.98	0.02
Na ⁺ (meq/l)	24.9	16.4	29.6	1.2	229.3	1.33
Ca ⁺² (meq/l)	9.2	4.3	8.1	0.9	31.6	0.9
Mg ⁺² (meq/l)	17.2	13.2	14.6	0.8	96.5	0.04
HCO ₃ ⁻¹ (meq/l)	7.5	7.1	4.2	0.6	33.3	0.2
Cl ⁻ (meq/l)	26.9	14.7	37.7	1.4	302.2	2.6
SO ₄ ⁻² (meq/l)	17.7	17.7	11.7	0.7	50.6	1.3
RAS	6.5	4.8	5.4	0.8	31.0	0.4
PSI %	7.3	5.5	6.1	0.8	30.8	0

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las principales características físicas de los suelos en estudio, se puede mencionar que cuentan con una textura franco arcillosa (tabla 2), por lo que los suelos tienden a tener un mayor porcentaje de partículas de limo (35.4%). Sin embargo, el contenido en promedio de arcilla y arena es bastante próximo (31.3% y 33.2 % respectivamente). La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. Por lo tanto, este tipo de textura suele ser equilibrada y óptima para el cultivo, y está relacionado con una permeabilidad y retención de agua media, una buena aireación, y disponibilidad de nutrientes medio – alto.

Tabla 2. Distribución de Textura (%) de 28 calicatas según profundidad de horizontes (2019)

TEXTURA	Profundidad de Horizontes (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Arcillo limosa	13.8%	6.9%	13.8%	17.2%	17.9%
Arcillosa	-	3.4%	3.4%	3.4%	7.1%
Franca	20.7%	6.9%	3.4%	3.4%	3.6%
Franco arcillo - arenosa	13.8%	20.7%	13.8%	13.8%	10.7%
Franco arcillo - limosa	13.8%	10.3%	20.7%	6.9%	17.9%
Franco arcillosa	34.5%	44.8%	31.0%	41.4%	28.6%
Franco arenosa	3.4%	6.9%	10.3%	13.8%	14.3%
Franco limosa	-	-	3.4%	-	-

Fuente: Elaboración propia. (Límites utilizados del triángulo textural, USDA).

En cuanto a las principales características químicas, el promedio de pH (pHe) en el perfil del suelo es de 8.7 (según se muestra en la tabla 1), presentando asimismo valores mínimos de 7.9 y máximos de 9.2. Los valores son favorables para cítricos, cuyos cultivos se sitúan en suelos carbonatados con pH neutros y básicos (Agustí, 2010).

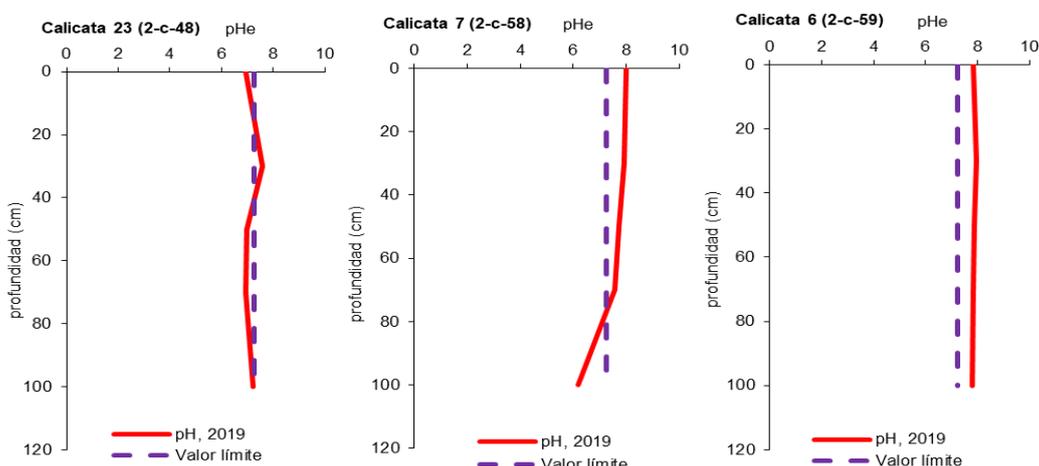


Figura 3. pH en el perfil de los suelos de estudio 2019

Actualmente el 96% de los suelos en estudio, manifiestan ser suelos básicos o alcalinos, debido a que su valor promedio en el perfil se encuentra comprendido entre 7.25 a 8.5. Por lo que sólo el 4% de las muestras se clasifican como neutros, ejemplo: calicata 2-c-48, cuyo valor promedio de pHe en el perfil es de 7.13, como se muestra en la figura 3, o el caso de la calicata 2-c-58, en el que alrededor de los 80 cm de profundidad manifiesta un cambio favorable de pHe llegando a hasta el valor de 6.2 en los 100cm. Casos similares presentan las calicatas 2-c-36, 1-c-41, 1-c-42,

2-c-18, 2-c-82, 1-c-2, 4-c-28 y 2-c-28. Además, también existe una tercera situación que está representada por la calicata 2-c-59, que se corresponde con 68% de las muestras, donde el pH en el perfil del suelo es muy homogéneo manteniendo un promedio alrededor de 8 como se muestra en la figura 3.

En la figura 4 se muestran las principales sales que se forman cada 20 cm de profundidad del suelo, siendo las sales de mayor predominancia el Cloruro de sodio (NaCl), seguido del Sulfato de magnesio (MgSO₄). Con respecto al ClNa, tanto el ion Na⁺ como el ion Cl⁻, muestran mayor concentración en la superficie del suelo. En el caso del Na⁺ presenta 32.9 meq/l en los veinte primeros centímetros de profundidad, disminuyendo más del 36% de su valor entre los 20 y 40 cm y manteniéndose casi constante hasta los 100 cm (tabla 1). Del mismo modo sucede con el Cl⁻, cuya media en la superficie es de 39.1 meq/l, pero este disminuye cerca del 42% entre los 20 y 40 cm, y también se mantiene en un valor casi constante hasta los 100 cm. En el caso del MgSO₄, presenta un promedio de 17 meq/l manteniéndose casi constante hasta los 60 cm de profundidad, donde luego incrementa hasta un 20% respecto a su valor inicial. La distribución de la concentración de cationes y aniones se puede observar en el anejo 12, siguiendo éste el mismo patrón que la salinidad tanto espacial como en profundidad.

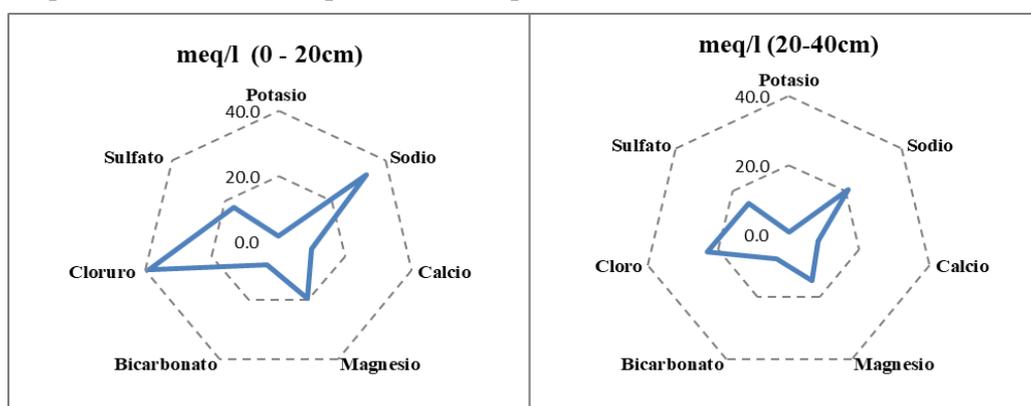


Figura 4. Concentración de los principales iones el perfil del suelo según profundidad.

El promedio de Materia orgánica en el perfil los suelos (tabla 1), es del 4.9% como valor máximo mientras que el valor más bajo es 0.6%. Sin embargo, en el anejo 11, se puede observar que el promedio en los 20 primeros cm del suelo es de 2.6%, el valor máximo es de 4.9% y el mínimo de 1.5%. Por lo que actualmente el 50% de los suelos en estudio presentan un contenido alto de M.O (%) en base a la clasificación según su textura franco arcillosa.

Además, en los mapas de materia orgánica del anejo 12, podemos observar que espacialmente el contenido de M.O presenta de manera general valores más altos en los primeros 20 cm, disminuyendo estos contenidos en profundidad. Espacialmente destacar que la zona Sur Oeste es la que mayores concentraciones de M.O. presenta.

La figura 5, demuestra lo mencionado anteriormente, donde tanto la calicata 4-c-28, como la calicata 2-c-4 presentan promedios de 2.4% y 2.5% respectivamente. Respecto a la calicata 2-c-4, esta presenta un alto contenido de M.O en la superficie (cerca del 5%), lo cual puede ser producto de la cubierta vegetal existente en estos campos de cultivo de mandarina como se muestra en la figura 5 del anejo 9. Sin embargo, este porcentaje disminuye drásticamente hasta los 40 cm de profundidad, para luego disminuir gradualmente hasta llegar a su pico más bajo a los 100 cm (1.2%). Esta es la misma tendencia que presentan cerca del 82% de los suelos en el presente estudio, como se puede observar también en la calicata 1-c-42, la cual a pesar de que tenga el promedio más bajo de M.O (1.27%), en su superficie llega a tener hasta 2%. Sin embargo,

hay excepciones como la calicata 2-c-25, donde presenta esta misma tendencia hasta los 60 cm de profundidad, para luego aumentar hasta un 1.7% de M.O, lo que representa un aumento del 13% de su valor inicial. No obstante, este valor sigue siendo bajo en M.O. (ver anejo 13).

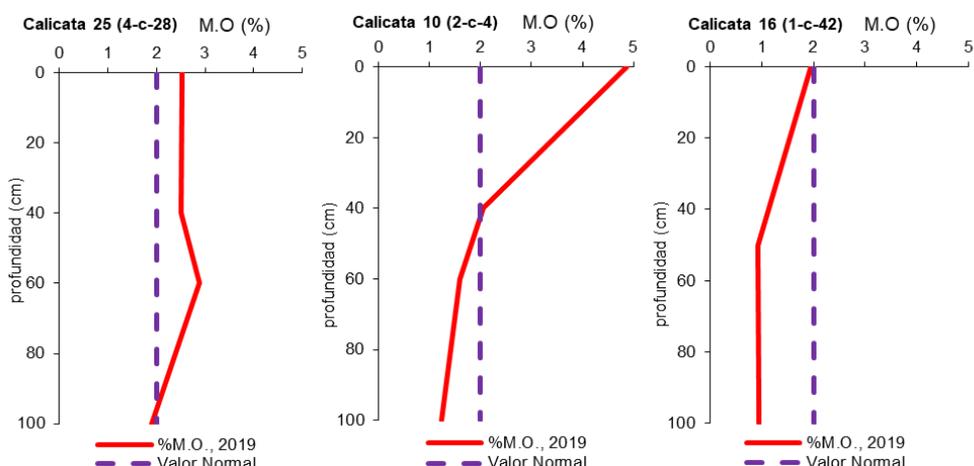


Figura 5. Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio 2019

Una situación diferente sucede en la calicata 4-c-28, la cual mantiene un porcentaje constante de M.O (2.5%) hasta los 40 cm de profundidad, para luego aumentar hasta cerca del 3% en los 60 cm, siendo este su pico más alto, por lo que luego empieza a disminuir hasta 2.1% a los 100 cm de profundidad. (Caso similares se presentan en las calicatas 4-c-28, 3-c-78 y 2-c-82). Un caso particular es el de la calicata 2-c-59, la cual mantiene un valor constante de 1.6% de M.O a lo largo de todo el perfil (ver anejo 13).

La conductividad eléctrica del extracto (CEe), se muestra en la tabla 1 con un valor promedio de 4.5 dS/m, lo cual, según Porta *et al.*, (2003) son clasificados como medianamente salinos. Cabe resaltar que la media de dicho parámetro se ve fuertemente influenciada por los valores que presentan principalmente las calicatas 2-c-24, 2-c-15 y 2-c-82, representando al 11% del total de los suelos evaluados, siendo clasificados como suelos fuertemente salinos.

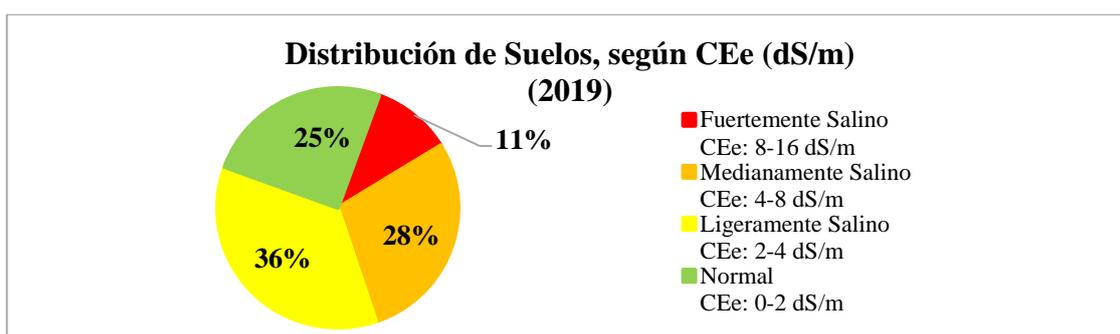


Figura 6. Distribución de los suelos en estudio según CEe en el perfil.

Según se muestra en la figura 6, en donde también se puede observar que el mayor porcentaje (36%) de los suelos según su CEe, han sido clasificados como ligeramente salinos por presentar valores comprendidos entre 2 dS/m a 4 dS/m. Por lo que el 52% restante está comprendido por suelos con CEe normal y medianamente salinos. Especialmente podemos observar que la salinidad presenta los valores más altos en los primeros 20cm, así como también entre los 80 a

100cm de profundidad (como se puede ver en los mapas de salinidad en el anejo 12), siendo la zona Nord-este la que presenta mayores concentraciones de sales.

En la figura 7 se pueden observar 3 tipos de tendencias fuertemente marcadas en los suelos del presente estudio, la primera está representada por la calicata 2-c-8 y es el caso de más del 43% de los suelos, en el que en los primeros 30cm de profundidad presentan valores bajos de CEE, sin embargo, este valor va en aumento hasta llegar incluso a superar los 4 dS/m a profundidades mayores. La segunda tendencia se presenta en la calicata 2-c-4 al igual que el 32% de los suelos evaluados, en el que la CEE la superficie manifiesta valores altos muy por encima de los 4 dS/m hasta los 15 dS/m, y muy particularmente alcanzando valores cerca de los 32 dS/m solo en la calicata 2-c-24. Un tercer caso es el de la calicata 4-c-24 así como también ocurre con el resto de los suelos del estudio, manteniendo cierta uniformidad en el perfil del suelo, por lo general con valores cercanos a los 2 dS/m (ver anejo 14).

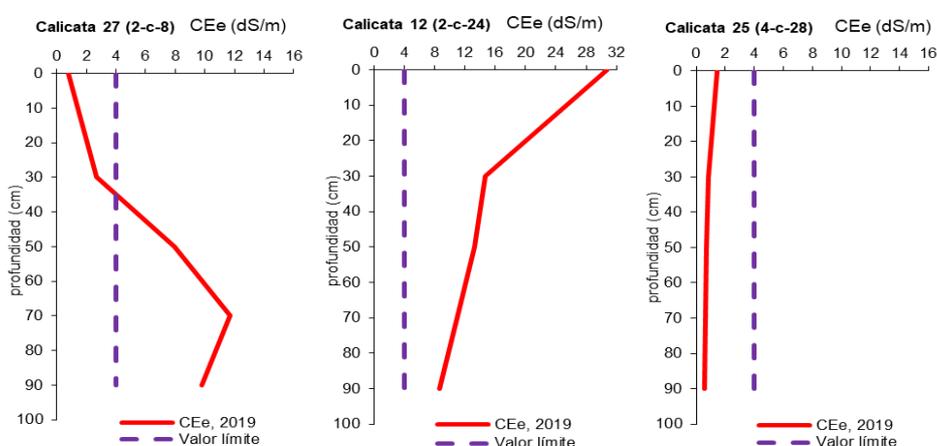


Figura 7. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio 2019

En la tabla 1 también se muestran los promedios de la RAS y el PSI, los cuales guardan una estrecha relación indicando presencia de sodio en los suelos. Siendo el promedio del RAS en el perfil de suelo 6.5 y espacialmente en la zona estudiada de la Pedrera, los mayores valores del RAS se encuentran a profundidades de 0 a 20 cm, y se presentan en los suelos de la zona Nord-este (cotas más bajas). Esto se muestra en los mapas de sodicidad (RAS) del anejo 12, donde además se observan que los valores más bajos se encuentran en los suelos situados alrededor del embalse, la cual es la zona central. Con respecto al PSI, el promedio que presenta en el perfil de los suelos es de 7.3%, y espacialmente muestra la misma situación que el RAS, según se observa en los mapas de sodicidad (PSI) del anejo 12.

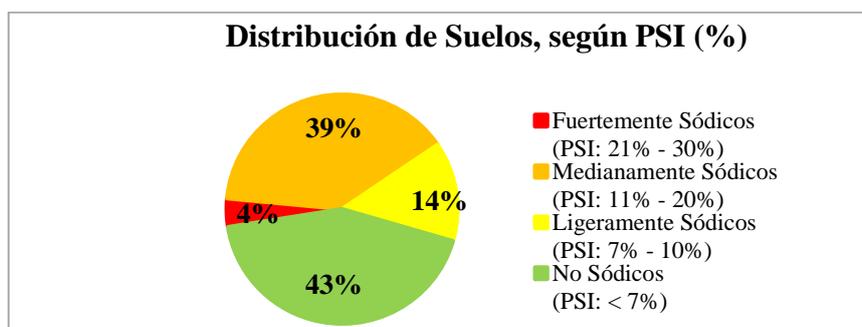


Figura 8. Distribución de los suelos en estudio según PSI, año 2019.

Además, en la figura 8 se muestra que el 53% de los suelos evaluados han sido clasificados como no sódicos y ligeramente sódicos, alcanzando valores por debajo de 7% hasta llegar a 10% de PSI, según la clasificación propuesta por Raj *et al.*, (2010).

La figura 9 muestra 3 calicatas, las cuales representan a los suelos evaluados, por lo cual se puede observar comportamientos distintos del PSI en su perfil, así tenemos la calicata 4-c-84, que representa a los suelos no sódicos, manteniendo un PSI en el perfil casi constante, no así en el caso de las calicatas 2-c-24 y 2-c-15, donde representan al 4% de los suelos fuertemente sódicos, por lo que el primero muestra altas concentraciones en la superficie (más de 30% de PSI), la cual va disminuyendo progresivamente hasta llegar a obtener 9% alrededor de los 100 cm de profundidad y el segundo muestra valores casi constantes y cercanos a 15%, sin embargo a partir de los 70 cm de profundidad comienza a aumentar su valor hasta obtener un incremento del 50% de su valor inicial de PSI.

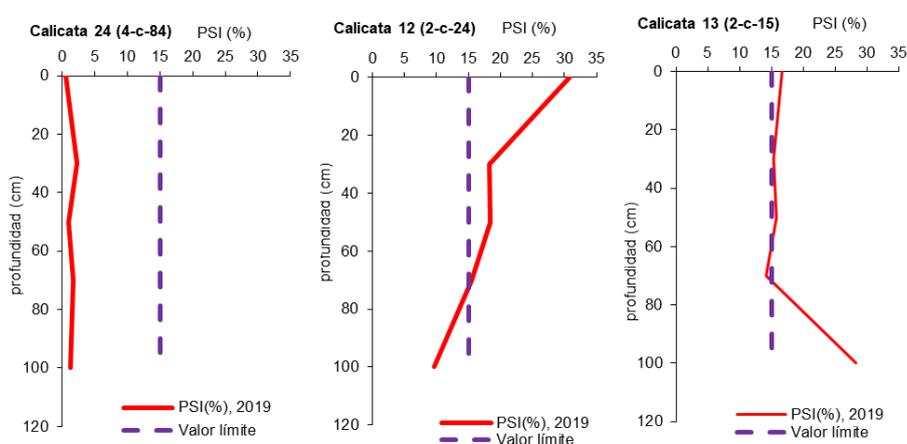


Figura 9. Porcentaje de saturación de sodio (PSI) el perfil de los suelos de estudio 2019

El % de carbonatos, según muestra la tabla 1, presentan una media de 43.9% manteniéndose casi constante en todo el perfil, el cual es un valor muy alto, según la clasificación indicada en tabla 5 del anejo 4 y constituye en el presente estudio uno de los factores limitantes de mayor consideración en estos suelos. Actualmente más del 90% del total de los suelos evaluados presentan un contenido mayor de 35% de Carbonatos en su superficie (ver tabla 4 del anejo 15). Asimismo, en el anejo 11, se muestra el % de Carbonato por cada 20 cm de profundidad. Especialmente el contenido de caliza presenta valores altos de manera general debido al tipo de material geológico que presenta descrito anteriormente (mapas de carbonatos del anejo 12), siendo la zona situada alrededor del embalse, muestran mayor concentración.

En la figura 10, se observa que la calicata 2-c-36 se encuentra por debajo del 35% de caliza, presentando un promedio de 29.5%, por lo que demuestra tener mejores condiciones para muchos cultivos (caso similar calicata 2-c-59). Sin embargo, las calicatas 4-c-29 y 2-c-25, superan dicho porcentaje lo cual deja en evidencia que se puede afectar la productividad de muchos cultivos principalmente aquellos sensibles como es el caso del melocotonero según manifiestan Martínez y Andrades (2014).

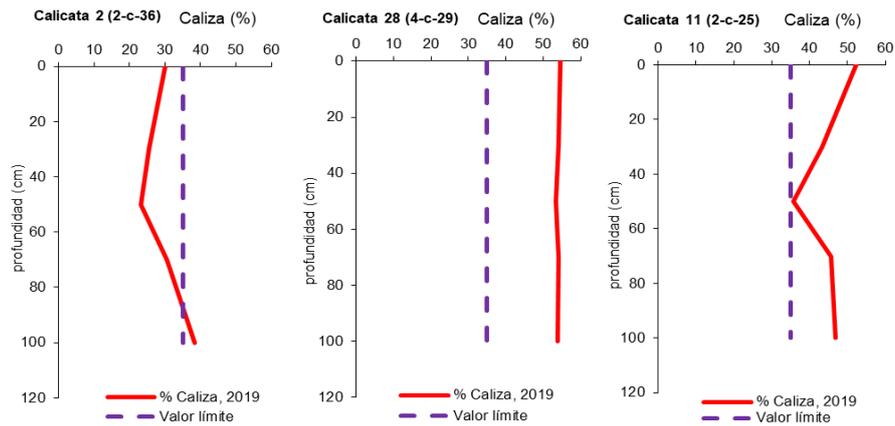


Figura 10. Carbonatos o Caliza en el perfil de los suelos de estudio 2019

3.2 Evolución de los parámetros edáficos de los suelos (1974-2019)

3.2.1 Evolución de pH del Suelo

El pH del suelo nos refleja la movilidad de los nutrientes, variedades más aconsejables, toxicidades, actividad microbiana, etc., por lo que, al revisar los valores medios de pH de los suelos en estudio expresados en la figura 11, se puede afirmar que se encuentran entre valores de 7.5 a 8.5, lo cual hace de manifiesto que en su gran mayoría son suelos básicos o alcalinos. Caso especial es el del año 1995, en donde el promedio de pH en las calicatas analizadas es de 8.5, pero cerca del 50% de estas presentaban valores muy por encima de 8.5, tal es el caso de la calicata 4-c-29 que presentó un valor de 9.06. Esto quiere decir, que eran suelos muy alcalinos, sin embargo, en resultados obtenidos años posteriores del estudio, se evidencia que el promedio de pH de las calicatas disminuye, esto probablemente se pueda atribuir por sus características geológicas al lavado de carbonatos producto de la precipitación media anual, la cual fue alrededor de un 60% mayor en los años 1997, 2007 y 2018 con respecto al año de 1995, tal como se muestra en los datos de la estación meteorológica 83600 (LEAL) indicados en las figuras 1 y 2 del anejo 6.

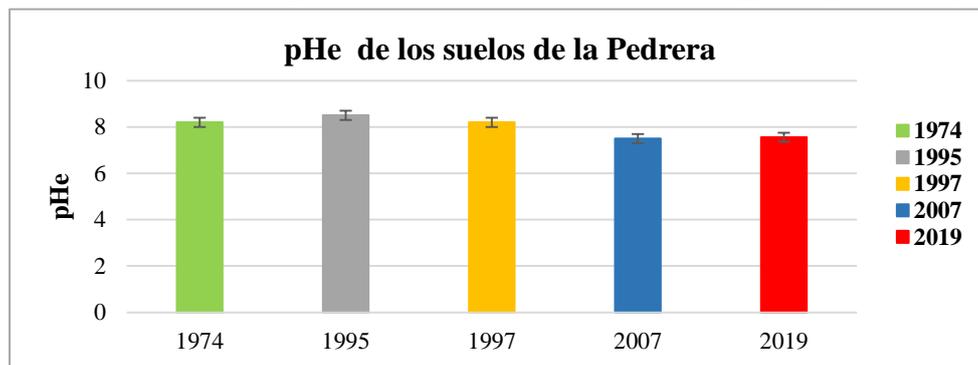


Figura 11. Distribución temporal de la media de pH del extracto de saturación.

3.2.2 Evolución de la Materia orgánica del suelo (%)

Con respecto a la evolución del contenido en porcentaje de materia orgánica en los suelos, se puede observar en la figura 12 que las condiciones actualmente han mejorado respecto a los años 1974 y 1997. Se puede observar como en 1974 y 1997 el 96% y 87% de las muestras presentaban un valor muy bajo de materia orgánica. En cambio, en 2019 el 50% de las muestras registraron valores altos de materia orgánica en base a la clasificación propuesta por Martínez y Andrades (2014) respecto al tipo de textura (ver tabla 1 del anejo 15).

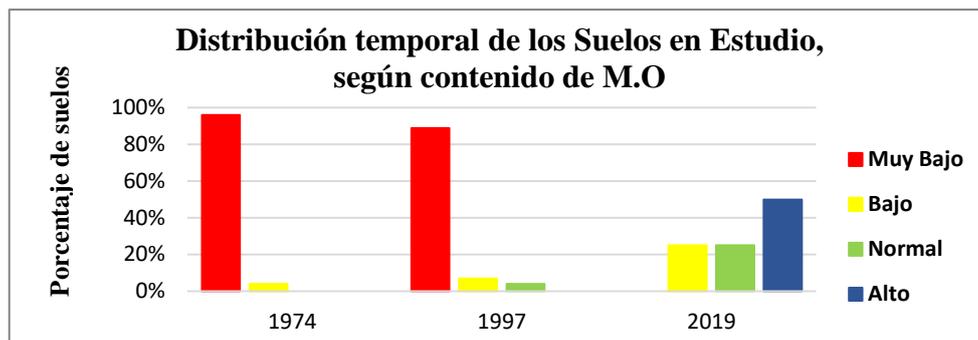


Figura 12. Distribución temporal del contenido de Materia orgánica

Es importante resaltar que esta mejora del contenido de M.O. favorece de esta manera como ya se mencionó al desarrollo de una buena estructura, la disponibilidad de nutrientes, así como la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua. En la figura 13 se muestra muy claramente la notable mejoría que en el tiempo han logrado tener las calicatas 2-c-4, 2-c-59, y 2c-8, produciéndose un aumento del 92%, 90% y 67% respectivamente en cuanto a su contenido de M.O en el año 2019, respecto al año 1974. Sin embargo, es importante mencionar que tanto las calicatas 2-c-4 y 2-c-82 representan a los suelos con contenido de M.O alta y la calicata 1-c-40 al de los suelos con bajo contenido (ver anejo 13).

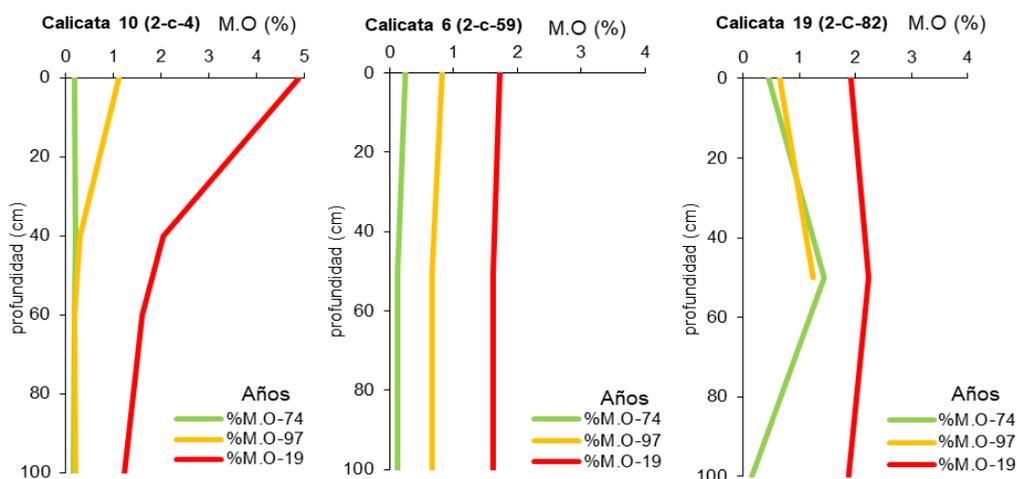


Figura 13. Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio

3.2.3 Evolución de Conductividad eléctrica del extracto (CEe)

Con respecto a la Conductividad eléctrica del extracto (CEe), se puede observar en la figura 14 que los promedios de los suelos en estudio presentan una disminución del 37% en el año 2019 con respecto al año 1974. Sin embargo, la gráfica presenta las medias de CEe que, en 1974, a diferencia de los demás años, no se analizó la salinidad del extracto de la pasta saturada de la totalidad de las muestras evaluadas, sino que se priorizaron aquellas calicatas que cualitativamente manifestaban problemas de salinidad. No obstante, en aquellas muestras no priorizadas, se midió la conductividad eléctrica (CE) 1:5 para mayor velocidad de análisis y reducción de costes, puesto que el número de calicatas en aquel entonces era de 100 y el número de horizontes o número de muestras era de 700 unidades.

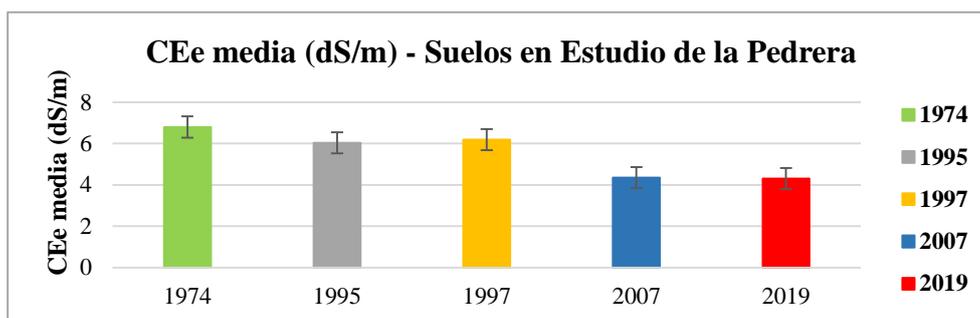


Figura 14. Distribución temporal de la media de Conductividad Eléctrica del extracto de saturación.

Así mismo, cabe resaltar que el número de muestras realizadas en las evaluaciones posteriores al estudio del año 1974, se vieron reducidas (IRYDA, 1974), debido a los cambios de uso del suelo en la zona, como urbanización de zonas agrícolas o privatización, sin posibilidad de acceso para la toma de muestras, entre otras. Por tal motivo, la toma de muestras ha sido cada vez más difícil de realizar en los mismos puntos. Sin embargo, para que los resultados de cada una de las evaluaciones registradas en estos 45 años de estudio puedan compararse y ser útiles por lo relevante de su envergadura para conocer su evolución en el tiempo, obligó a seleccionar un número de 28 calicatas, las cuales al momento no han sido vulnerables a sufrir algún cambio que impida o imposibilite el muestreo permanentemente, esto principalmente producto de la intervención del hombre. Como ya se mencionó, se puede observar en la figura 3 del anejo 8 la ubicación de cada punto evaluado.

Continuando con los resultados mostrados en la figura 14, cabe destacar que el valor máximo de CEe de la evaluación realizada en el año 1997 fue extremadamente alto 39,9 dS/m, así como el promedio de CEe en perfil 34,54 dS/m correspondiente a la calicata de código 1-c-3, superando de esta manera al valor máximo de CEe de los años 1974 (27 dS/m, el cual pertenecía también a la calicata 1-c-3, con un promedio de 14.5 dS/m en el perfil) y 2019 (30.8 dS/m), correspondiente a la calicata 2-c-24, con un promedio de 15,7 dS/m. Con respecto a la calicata 1-c-3, se presentan actualmente mejoras en cuanto a la salinidad, al disminuir su CEe tanto en la evaluación del año 2007 (siendo de 9 dS/m su valor máximo y promedio de CEe en el perfil de 5.6 dS/m), como en el año 2019 (8 dS/m su valor máximo y promedio de CEe en el perfil de 6.2 dS/m).

Se presentan diferentes escenarios de evolución de la salinidad en el tiempo, correspondientes a otras calicatas, tal es el caso de la calicata 1-c-46 (figura 15), en donde ha mostrado mejoras en el año 2019 reduciendo cerca de un 70% del promedio de CEe en su perfil respecto al año 1974, sin embargo podemos notar que en los primeros 20 cm de profundidad presenta valores por encima de 4dS/m, disminuyendo a medida que avanza la profundidad (esto se relaciona con las sales que se encontraron en el perfil al momento de realizar el muestreo) (ver figura 17). Casos similares se presentan en las calicatas 2-c-26, 2-c-36, 2-c-51, 1-c-41, 4-c-61, 2-c-18, 1-c-5, 2-c-39,4-c-84, 4-c-28 y 4-c-29, las cuales se muestran en el anejo 14.

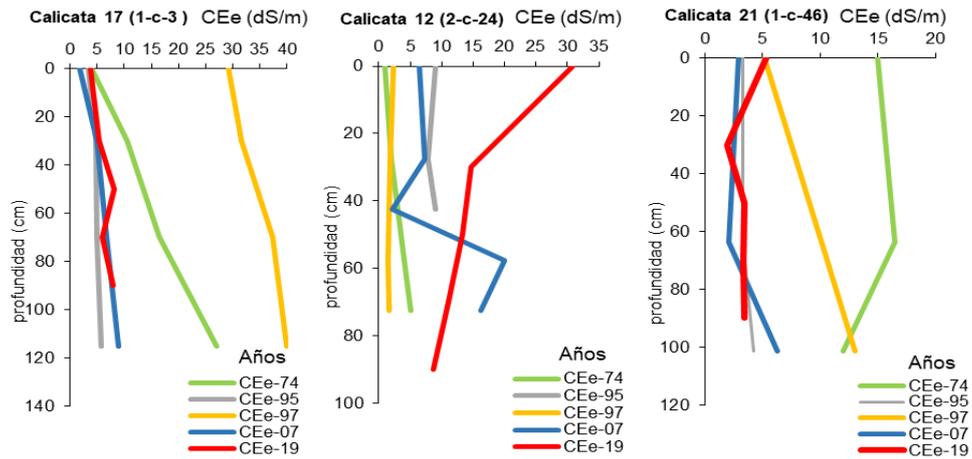


Figura 15. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio

En la figura 16, podemos observar que en la calicata 2-c-82, actualmente las condiciones de salinidad han aumentado en el perfil, principalmente entre el primer y segundo horizonte evaluado (0-20, 20-40cm) con respecto al año 1997 superando el doble de su valor, pasando de ser un suelo ligeramente salino a un suelo fuertemente salino (no aparece el año 1974 porque en su momento no se priorizó para realizar análisis debido a que no presentaba problemas de salinidad tal como ya se mencionó). Caso similar presentan los suelos de las calicatas 4-c-66, 2-c-15, 1-c-40 y 2-c-48 (ver anejo 14).

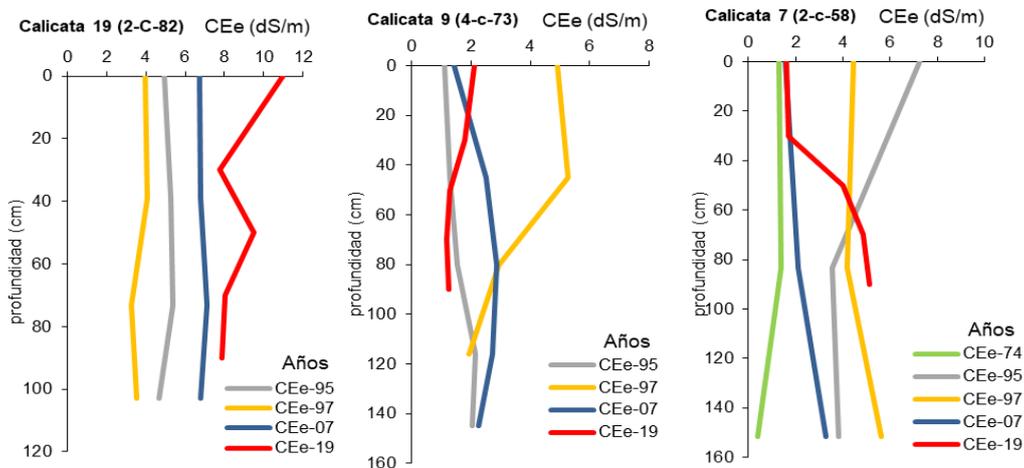


Figura 16. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) en el perfil de los suelos de estudio

Otros escenarios se presentan también en la figura 16, de donde podemos mencionar, que, si bien es cierto, las condiciones de salinidad en el perfil de la calicata 4-c-73 ha mejorado, no obstante, las condiciones con el paso de los años han sido muy homogéneas con excepción del año 1997 (condiciones similares presentan las calicatas 4-c-73, 1-c-42, 1-c-2, 3-c-78) (ver anejo 14). Asimismo, el perfil de la calicata 2-c-58, muestra valores bajos de CEe en los primeros horizontes, pero este va aumentando conforme aumenta la profundidad (situaciones similares presentan las calicatas 2-c-59 y 2-c-8).



Figura 17. Presencia de sales en calicata 1-c-46, Año 2019

Caso especial es el correspondiente a la calicata 2-c-25 en donde el perfil del suelo ha mostrado valores de hasta cerca de 15 dS/m y valores bajos hasta 1 dS/m, variando en cada horizonte y en cada año de evaluación del estudio. Actualmente presenta un valor medio de 5.5 dS/m (ver anejo 14). Es importante mencionar que la figura 18 muestra la evolución de la CEE media de los horizontes coincidentes durante los 45 años de estudio (2-c-26, 1-c-41, 2-c-28, 2-c-25, 2-c-24, 1-c-5, 1-c-3, 1-c-46, 2-c-58), esto se realizó con la finalidad de comparar las medias con el estudio de 1974 de una forma más precisa, por lo tanto, se utilizaron los valores de los horizontes en base a la profundidad de cada perfil de suelo del estudio inicial, realizando esta misma selección en los demás años. De esta manera se logró tener un panorama más claro en cuanto a la evolución de la salinidad de los suelos, la misma que se muestran en porcentajes en el anejo 15 del cual podemos observar, que, en el año 1974, un 22% de las muestras de suelos en cuanto a su evaluación temporal no tenían problemas de salinidad, el mismo porcentaje de suelos no salinos se obtiene el año 1997, sin embargo, en este último a diferencia de 1974 presenta 11% de suelos muy fuertemente salinos al igual que el año 2019 (ver tabla 2 del anejo 15). Por lo que, según Porta *et al.*, (2003), solo los cultivos muy tolerantes tendrán rendimientos aceptables cuando se cuenta con CEE mayor a 16 dS/m.

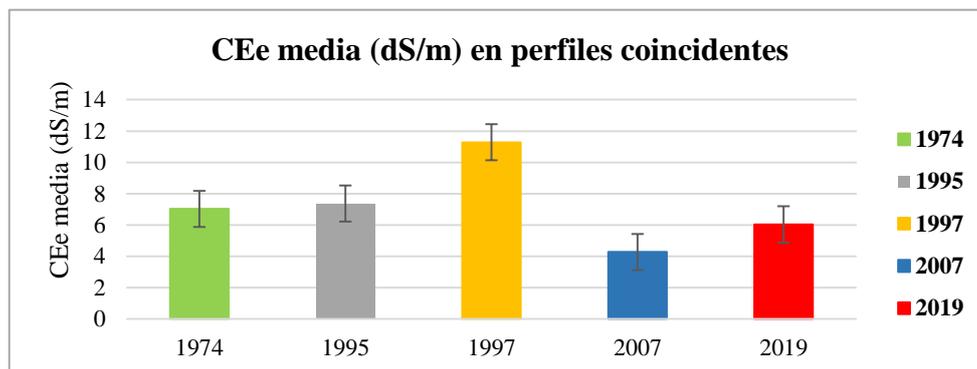


Figura 18. Distribución temporal de la media de CEE en perfiles coincidentes/año

3.2.4 Evolución de la Relación de absorción de sodio (RAS)

Como podemos observar en la figura 19, el valor medio de la relación de absorción de sodio (RAS) estuvo por debajo de 5 en el año 1974, no obstante, en comparación con el año 1997, hubo un aumento del 40%, siendo hasta el momento el año en que mayor aumento ha presentado,

seguido del año 2019; sin embargo, la sodicidad no es problema en estos suelos, debido a que no se observan valores altos del porcentaje de saturación de bases (% PSI). Esto se confirma en la tabla 3 del anejo 15, en donde se muestran valores por debajo del 7%.

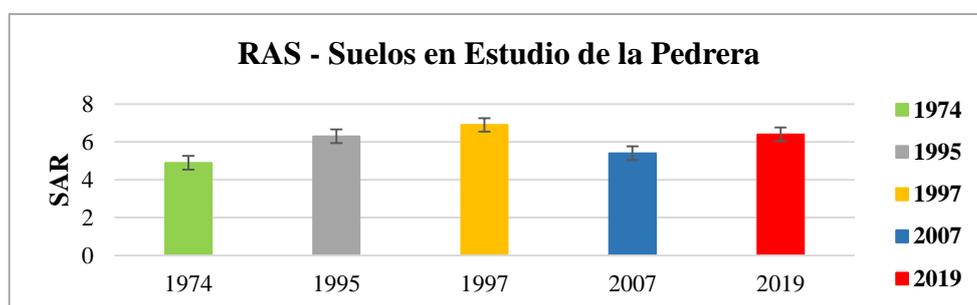


Figura 19. Distribución temporal de la Relación de absorción de sodio (RAS).

Generalmente se presentan problemas de sodicidad en los suelos, cuando el valor del PSI es mayor del 15 %, y el valor de la RAS es superior a 13, debido a que ambos parámetros pueden relacionarse (Richards,1954). Además, los carbonatos de calcio y, en menor medida, el calcio y magnesio, constituyen minerales ampliamente extendidos en los suelos de regiones con clima árido y semiárido, incluyendo las áreas mediterráneas. La disolución de estos minerales incrementa la concentración de calcio en la solución del suelo, y, en consecuencia, disminuye el riesgo de sodificación. Por contra, cuanto más sodio tenga el agua de riego que se esté incorporando al terreno, respecto a la suma de calcio y magnesio, el efecto de la sodicidad en el suelo será mayor.

Cabe resaltar que en estas evaluaciones es importante conocer el tipo de textura que presentan los suelos, por lo que, según Cox *et al.*, (2018), la relación entre el contenido de arcilla y sodicidad es un factor a tener en cuenta. Esto debido a que los suelos arcillosos tienden a dificultar la infiltración del agua, por lo que de esta manera el lavado pierde eficiencia facilitando no solo el proceso de sodificación sino también el de salinización. Por lo que es importante resaltar que más del 96% de los suelos del presente estudio muestran textura franco arcillosa, según lo indicado anteriormente en la tabla 1, lo cual, a diferencia de los suelos de textura arcillosa, estos tienen menores problemas de infiltración.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, podemos observar en la figura 20, que la calicata 2-c-18 en el año 2019, ha presentado una considerable mejora en cuanto a su relación de absorción de sodio (RAS), principalmente respecto al año 1995, disminuyendo en un 84% su valor, así mismo también presenta reducción en cuanto al porcentaje de absorción de sodio (PSI) en un 89 %, ya que, según lo manifiesta (Richards,1954) ambos parámetros están relacionados. (Caso similar es el de las calicatas 2-c-51,4-c-61, 1-c-46, 4-c-84, 3-c-78 y 4-c-29, tal como se muestra en el anejo 16).

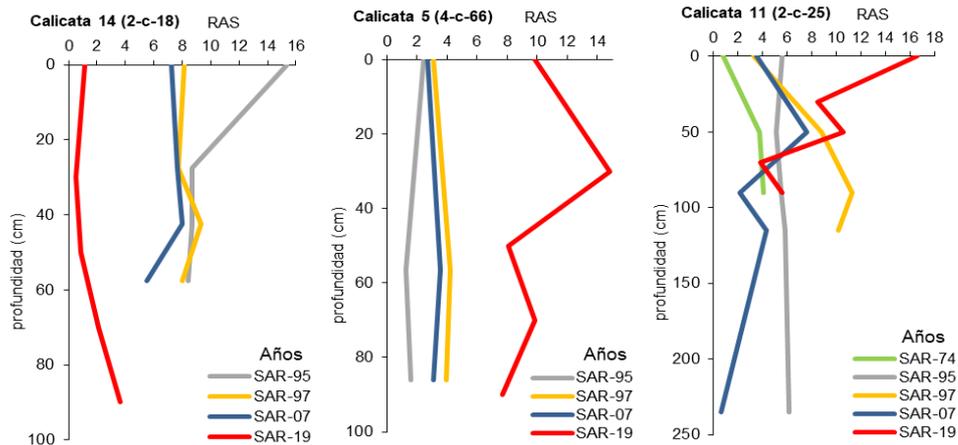


Figura 20. Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio

Se presentan otros escenarios de evolución de la RAS en el tiempo, correspondientes a otras calicatas, tal es el caso de la calicata 4-c-66 (figura 20), en donde actualmente su valor ha aumentado en su perfil presentando un promedio de 10.1, lo cual respecto al año 2007 en términos de porcentaje constituye cerca de un 70% de incremento, por lo que se debe tener cuidado en cuanto a la sodicidad, ya que ha pasado de ser un suelo no sódico (3,2% PSI) a ser un suelo medianamente sódico (12% PSI), según la clasificación de Raj *et al.*, (2010) expresados en la figura 17. Caso similar lo representan las calicatas 2-c-15, 1-c-40, 2-c-82 y 1-c-2 (ver anejo 16). Con respecto a la calicata 2-c-25 que se muestra también en la figura 16, pone de manifiesto en el año 2019 valores altos de RAS en los primeros horizontes, pero va disminuyendo conforme aumenta la profundidad (situaciones similares presentan las calicatas 1-c-5, 2-c-58, 2-c-26, 1-c-41, 4-c-73, 2-c-82, 1-c-42 y 2-c-24) (ver anejo 16).

En la figura 21, se muestra 3 casos. Primero analizaremos el caso de la calicata 2-c-39, en donde el valor de la RAS ha disminuido en el año 2019 en los primeros 30cm del perfil del suelo, sin embargo, a medida que aumenta la profundidad del suelo mayor es su valor (situaciones similares presentan las calicatas 2-c-36, 2-c-59 y 2-c-8). Caso especial presentan las calicatas 1-c-3 y 2-c-48, en donde la calicata 1-c-3 en el año 2019 muestra un comportamiento muy variable en cuanto al valor de la RAS a lo largo del perfil, sin embargo, su promedio de la RAS es 40% menor que el año 1997, en donde este último presenta un promedio de 20 y un valor máximo de 29.8 a profundidades mayores de 100 cm (caso similar lo presenta la calicata 4-c-28) ver anejo 16. Asimismo, el perfil del suelo de la calicata 2-c-48 en 2019, ha mostrado un promedio de 9.7 de RAS y un valor máximo de hasta 14.4 por debajo de los 80cm de profundidad del suelo y valores bajos de hasta 4.8 alrededor de los 50 cm, variando en cada horizonte. Sin embargo, en los años 1974, 1997 y 2007, el valor de la RAS está por debajo de 4, y su comportamiento en el perfil es diferente, no así el año 1995 que presenta un promedio de 14 y valores máximos de hasta 14.9 de RAS.

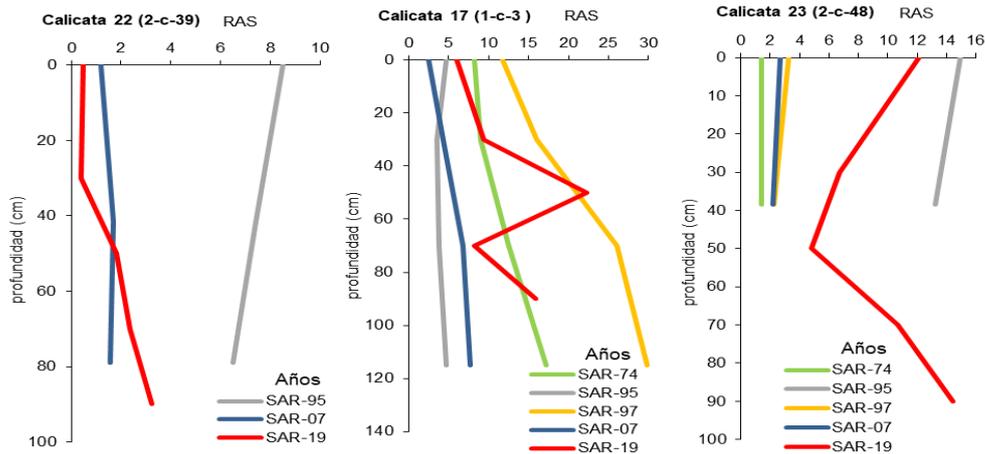


Figura 21. Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio

3.2.5 Evolución del Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo

La figura 22 pone de manifiesto que el promedio de PSI de los suelos en estudio ha aumentado hasta un 2.2% con el paso de los años respecto a 1974, en donde se dio inicio a las primeras evaluaciones, presentando un valor medio de 4.9%, lo cual, según la clasificación de *Otero et al.*, (2007), y *de Raj et al.*, (2010) son considerados como suelos no sódicos. Esta misma denominación aplica para los resultados de los años 1995 y 2007, ya que, si bien ha habido un aumento del promedio de PSI, este no llega a superar el 7%, no así en los resultados de los años 1997 y 2019, en los que el valor de PSI son 7 y 7.1% respectivamente, denominándose suelos ligeramente sódicos, lo cual representa un aumento del 30% del promedio de PSI obtenido en 1974 respecto al 2019. Importante resaltar la disminución del PSI alcanzada en 2007, esto posiblemente se deba al incremento del 13% de la precipitación total anual respecto a la obtenida en 1997 como se puede observar en las figuras 1 y 2 del anejo 6.

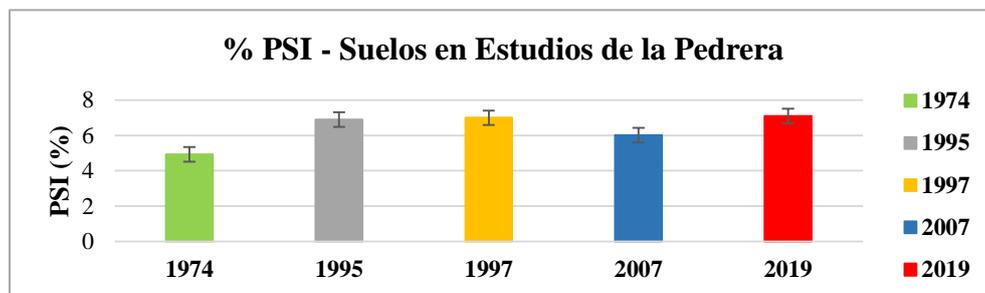


Figura 22. Distribución temporal del Porcentaje de Saturación de Sodio (PSI).

Sin embargo, según los resultados que se muestran en la tabla 3 del anejo 15, cabe precisar que el porcentaje de los suelos denominados como no sódicos ha tenido una reducción hasta llegar a conformar el 43% en el año 2019 respecto a la evaluación de 1974 en el que representaba el 93% del total de los suelos en estudio. Por lo que el resto de porcentaje de suelos se ha distribuido en suelos ligeramente sódicos hasta fuertemente sódicos. Por lo que, según la clasificación de *Otero et al.* (2007), ya mostrada en la figura 1 del anejo 5, existe el proceso de Sodicación en dos de los suelos del presente estudio al ser mayor al 15 % el valor del PSI, representados por las calicatas 2-c-24 y 2-c-15, con un valor promedio de 18.5% y 18% respectivamente. Cercano al porcentaje límite se encuentra la calicata 1-c-3, presentando 14% de PSI en su perfil. Por lo que es necesario realizar medidas correctivas. Así mismo se puede observar en las figuras 20 y 23, la correlación que existe entre la relación de absorción de sodio (RAS) y el porcentaje de absorción de sodio

(PSI), según lo manifestado por (Richards,1954). También en la figura 23 se puede observar que la calicata 2-c-18 en el año 2019, ha presentado mejoría en cuanto a su porcentaje de absorción de sodio (PSI), principalmente respecto al año 1995, disminuyendo en un 89% su valor, dejando de ser un suelo clasificado como medianamente sódico a constituirse como un suelo no sódico. (Caso similar es el de las calicatas 2-c-51,4-c-61, 1-c-46, 4-c-84, 3-c-78 y 4-c-29, según se muestra en el anejo 17).

Otros escenarios de evolución del PSI en el tiempo, se muestran también en la figura 23, siendo el caso de la calicata 4-c-66, donde su valor ha aumentado actualmente en su perfil, presentando un promedio de 11.9, lo cual respecto al año 2007 en términos de porcentaje representa cerca de un 73% de incremento, por lo que se debe tener cuidado, ya que ha dejado de ser un suelo no sódico (3,2% PSI) para ser un suelo medianamente sódico (12% PSI), según la clasificación de Raj *et al.*, (2010). Caso similar lo manifiestan las calicatas 2-c-15, 1-c-40,2-c-82 y 1-c-2 (ver anejo 17). El paso de un suelo sódico a no sódico y viceversa, es un comportamiento que puede estar relacionado con el manejo que se esté realizando en cada uno de estos suelos, lo cual podría determinar que estos puedan mejorar o verse afectados en el tiempo.

Respecto a la calicata 2-c-25, mostrada también en la figura 23, pone de manifiesto en el año 2019 valores altos tanto del PSI como de la RAS (mencionado anteriormente), principalmente en los primeros horizontes, pero va disminuyendo conforme aumenta la profundidad (situaciones similares presentan las calicatas 1-c-5, 2-c-58, 2-c-26, 1-c-41, 4-c-73, 2-c-82, 1-c-42 y 2-c-24) (ver anejo 17). Por lo tanto, estos parámetros son importantes a tener en cuenta especialmente al momento de decidir el tipo de cultivo a instalar.

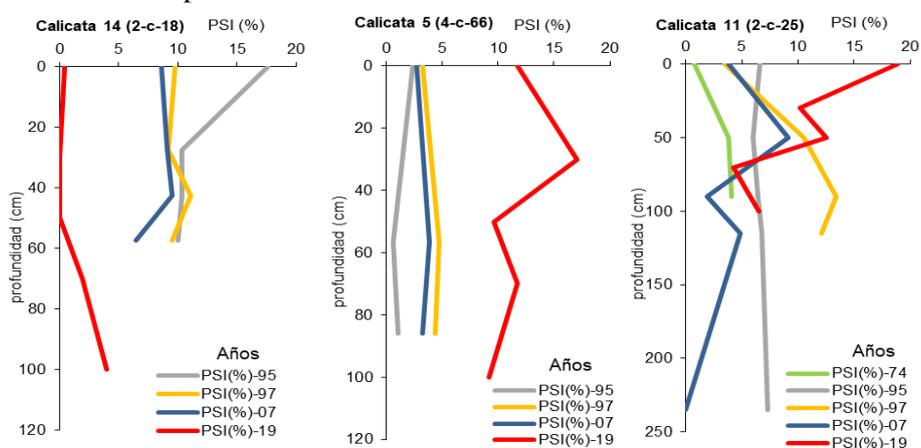


Figura 23. Porcentaje de saturación de sodio (PSI) el perfil de los suelos de estudio

2.2.3.6. Evolución de carbonatos (%) del suelo

En relación a la evolución del porcentaje de Caliza de los suelos en estudio, se puede observar en la figura 24 que los promedios después del año 1974 en el que se alcanzó el valor más alto (49.5%), han manifestado cierta uniformidad hasta el año 2007 manteniéndose alrededor del 47%. Siendo importante resaltar que actualmente el promedio del % de Caliza ha disminuido hasta alcanzar el 44%, disminuyendo cerca del 11% respecto al año 1974. Sin embargo, esta disminución aún no es suficiente ya que como se hizo mención puede afectar la productividad de muchos cultivos, por lo que es necesario realizar medidas correctivas para que en lo posible este valor sea menor de 35%.

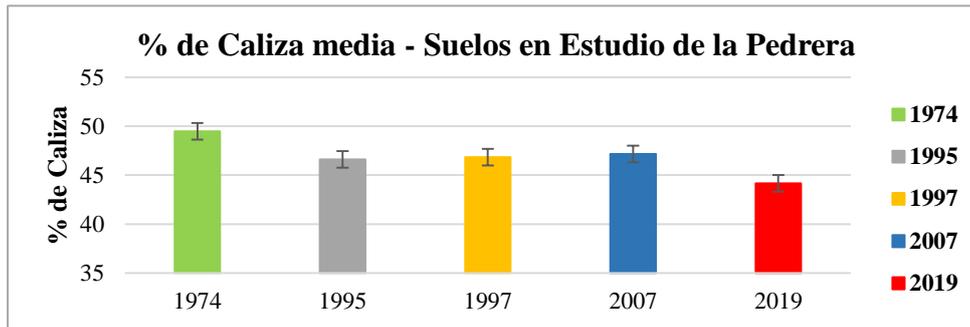


Figura 24. Distribución temporal del porcentaje de carbonatos

En la figura 25, se muestra tres casos. Primero analizaremos el caso de la calicata 2-c-59, en donde el porcentaje de carbonatos ha disminuido en el perfil del suelo un 50% en el año 2019 respecto al año 1974, sin embargo, pese que a profundidad aumenta ligeramente, esta no llega a ser más del 32%. Situaciones similares presentan las calicatas 2-c-26, 2-c-36, 2-C-4, 1-C-40, y 1-c-46 (ver anejo 18).

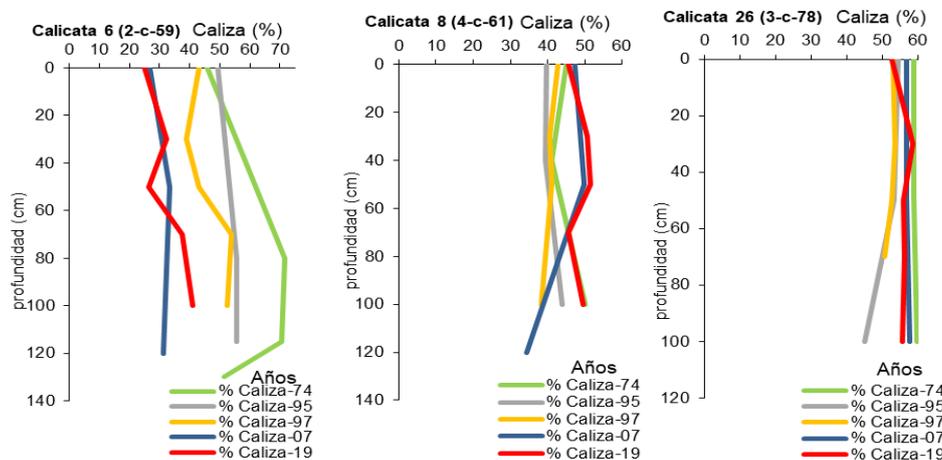


Figura 25. Carbonatos en el perfil de los suelos de estudio

Un segundo caso lo presenta la calicata 4-c-61, donde muestra un aumento en su perfil del 7% de caliza en el año 2019 respecto al año 1974, principalmente este aumento se da desde la superficie hasta cerca de los 60 cm, esto puede afectar la productividad de muchos cultivos. Caso similar se presenta en la calicata 2-c-18 (ver anejo 18). Respecto al último escenario, está representado por la calicata 3-c-78 en el que el porcentaje de carbonatos en el perfil del suelo se muestra con cierta uniformidad con el paso de los años con un valor promedio comprendido entre el 50% al 60%. Sin embargo, durante los años 1995 y 1997 el porcentaje de carbonatos en el perfil del suelo mostraba cierta tendencia a disminuir alrededor de los 50 cm de profundidad. Las calicatas 2-c-58, 1-c-3 y 1-c-2 presentan un comportamiento similar (ver anejo 18).

3.3. Clases de suelos según su aptitud para riego de la Pedrera, Año 2019 (Clasificación USBR, 1953)

Tal como ya se mencionó, el sistema de clasificación USBR, tiene como fin seleccionar tierras para el desarrollo de riego, y para caracterizar sus factores principales de manejo. Esta es la razón por la cual se basa en la existencia de correlaciones entre los diferentes factores que afectan la productividad bajo riego. Es por ello que las evaluaciones de los suelos realizadas en la zona del Embalse de la Pedrera enfatizaron en tres factores, los cuales son: i) factores de suelo, ii)

topografía iii) drenaje, y cada uno de ellos engloba diversos elementos que serán desarrollados a continuación.

Factores de Suelo: La tabla 1 del anejo 19 muestra detalladamente la categoría que se asigna a cada calicata según los parámetros previamente establecidos e indicados en la tabla 2 del anejo 3. Como se puede observar, la salinidad y la sodicidad son los principales factores de suelo limitantes seguido por el % de caliza, y en menor medida la textura en superficie. La categoría más alta de la clase de suelo obtenido en 2019, es la clase IV y corresponde a las calicatas 2-c-24 y 2-c-15, cuya salinidad y sodicidad los asignan como suelos limitadamente arables.

En lo que respecta al contenido en elementos gruesos, estos se encuentran por debajo de los límites establecidos por la clase I (15 %). Este factor, así como los afloramientos rocosos, tampoco son un factor limitante en la zona de estudio. Por lo que se puede observar también en el anejo 19, que estos dos factores coinciden con la profundidad efectiva de los suelos, con una mínima diferencia en la calicata 1-c-41, la cual pertenece a la clase II debido a que cuenta con una profundidad efectiva menor a 100 cm. Dichos parámetros son difícilmente modificados en el tiempo por lo que casi conservan las mismas características desde 1974 hasta la actualidad.

Factores de Topografía: La zona Regable de la Pedrera se encuentra desarrollada desde años atrás por lo que no presenta factores limitantes en cuanto a nivelación o pedregosidad que deba ser removida. Respecto al factor de inclinación, este se ha reducido a valores inferiores al 2 % mediante intervención antropogénica (Preciado, 2003), en donde el 96.4% de los suelos forman parte de la clase I, y el 3.6% forma parte de la clase II representada por la calicata 2-c-82.

Factores de Drenaje: Los factores de drenaje están conformados por la profundidad de capa freática, el drenaje superficial y la profundidad de capa impermeable, donde el 100% de los suelos forman parte de la clase I, por lo tanto, no constituye ningún factor limitante en los suelos de estudio al igual que los factores de topografía.

Los resultados de la distribución de clases de suelo según su aptitud para riego en el año 2019, los podemos observar en la figura 26, donde muestra que la clase IV representa el 7% de los suelos en estudio (calicatas 2-c-24 y 2-c-15), lo cual indica que estos son suelos con usos restringidos, pero pueden ser regables para usos especiales, tal como se comprobó al momento del muestreo puesto que en ambos suelos se encontraban instalados cultivos de cítricos utilizando riego por goteo.

El mayor porcentaje de suelos en estudio actualmente se encuentran dentro de la clase III, representando el 54% del total, esto quiere decir que son marginalmente aptos para riego, restringiendo de esta manera el número de cultivos que se puedan elegir para ser instalados. Es por esta razón que se encontraron durante la evaluación en estos suelos cultivos tales como cítricos en su mayoría (limonero, naranja y mandarinas) y alcachofa.

La clase II representa el 39% de los suelos, estos según la clasificación USBR, son suelos convenientes para el riego, sin embargo, al igual que la clase III, estos suelos exigen seleccionar también los cultivos, no obstante, presentan mejores condiciones y demandan menos gastos de producción respecto a esta clase, pero requieren mayores gastos que la clase I.

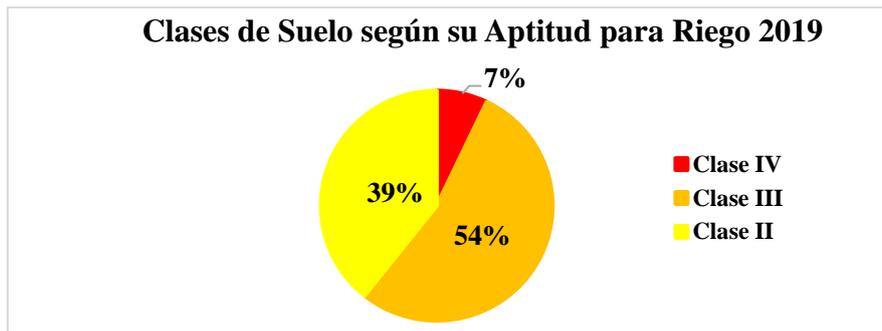


Figura 26. Distribución en % de los suelos en estudio, según USBR.

En los anejos 19 y 20, al igual que en la figura 26 se observan los resultados de la distribución de clases de suelo según su aptitud para riego de los estudios realizados años anteriores.

3.4. Evolución de las clases de suelos la Pedrera (1974 – 2019), según Factores de Suelo (Salinidad, Sodio, y Porcentaje de Caliza)

En el figura 27, podemos observar que la calidad de los suelos del estudio se ha visto afectada en cuanto a su clasificación según sus condiciones de CEe, esto después de 1974, año en el que se realizaron las primeras evaluaciones y se obtuvieron los mejores resultados, en donde cerca del 80% de los suelos formaban parte de la clase o categoría I, lo cual según USBR (1953), presentan CEe menor de 4 dS/m, son arables, muy adecuadas para el riego y menos costosas para desarrollar, permitiendo generalmente utilizar gran variedad de cultivos obteniendo altos rendimientos, permitiendo por consiguiente tener una alta capacidad de reembolso.

Continuando con las categorías asignadas a los suelos de 1974, están aquellos suelos que pertenecen a la clase II, representando cerca del 11% del total de suelos evaluados, a esta clase se le conoce por ser conveniente para el riego, poseen una CEe entre 4 a 8 dS/m, son del mismo modo arables, pero pueden ser más costoso para desarrollar que la clase I, por lo cual usualmente tienen un rango algo restringido de cultivos y rendimientos moderadamente sostenidos, haciendo de esta manera que la capacidad de reembolso sea intermedia.

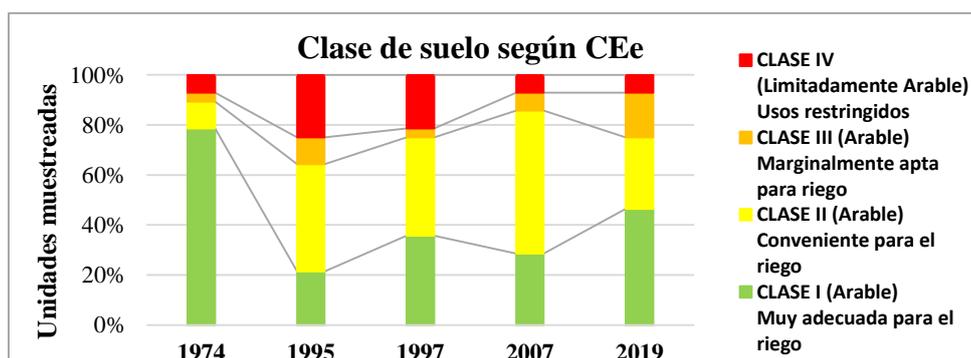


Figura 27. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su CEe.

También encontramos en la tabla 1 del anejo 20 que, en el año 1974, un grupo reducido de suelos forman parte de la clase III, cuya representación es del 3.6% de los suelos evaluados, aumentado este valor a 18% en el año 2019 en donde ha sido el porcentaje más alto correspondiente a esta categoría, respecto a los demás años en los que se realizaron evaluaciones. A esta clase se le denomina suelos marginalmente aptos para el riego, poseen CEe entre 8 a 12 dS/m, son también

arables, similares en su capacidad de reembolso y productividad a la clase 2, pero más arriesgado para desarrollar a causa de una sola grave deficiencia, o una combinación de varias deficiencias moderadas, eso se debe corregir para poner la tierra en producción.

Caso importante resulta el de los suelos incluidos dentro de la clase IV, lo que representa un 7% del total de los suelos evaluados en 1974, sin embargo, en los años 1995 y 1997 representaron el 25 y 22 % del total de los suelos evaluados respectivamente. No así, en los años 2007 y 2019 en donde se reestableció y se mantuvo la proporción inicial de 11%, lo cual es un buen indicio de recuperación de la calidad del suelo en cuanto a su aptitud para riego. Cabe mencionar que a la clase IV se le denominan son suelos limitadamente arables, con CEe entre 12 a 16 dS/m, de usos restringidos, aptos sólo para un rango muy limitado de cultivos, en este caso aquellos muy resistentes a la salinidad.

Siguiendo con la evolución de la clase de los suelos en estudio, esta vez nos vamos a referir al efecto del sodio según el PSI, por lo que podemos observar en la figura 28, que la calidad de los suelos también se ha visto afectada en cuanto a su clasificación, representando actualmente a la categoría o clase I, solo el 21.4% de los suelos, comparado con el año de 1974, en donde se llegó a representar con un 89% del total de los suelos evaluados. No obstante, este es un patrón que se viene manifestando desde el año 1995, en donde ya en aquel entonces la clase I estaba representada por solo 25% de los suelos, llegando a su valor más bajo en representación en el año 2007, contando solo un 18%.

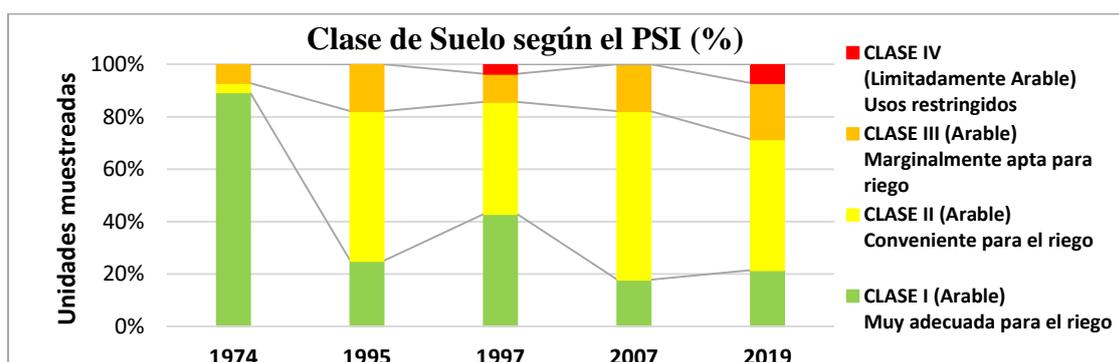


Figura 28. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su PSI (%).

Se hace mayor énfasis en la categoría o clase I, porque a ella pertenecen los suelos que presentan condiciones muy adecuadas para el riego y por lo tanto son menos costosas para desarrollar como ya se hizo mención. Sin embargo, el mayor problema está en que estos suelos pasen a formar parte de la categoría o clase V (no arable), o peor aún dentro de la clase VI (no transformable), según lo indicado en la tabla 1 del anejo 3. En estas categorías se requieren mayores estudios y mucha inversión, ya que no cumplen con las condiciones mínimas exigidas para los cultivos.

En el año 1997, se identificó por primera vez que el 3.5% de los suelos formaba parte de la clase IV (suelos de usos restringidos y limitadamente arables), estando representado solo por la calicata 1-c-3 (ver tabla 6 del anejo 20), la cual en el año 2007 pasó a formar parte de la clase II, y en el 2019 se encuentra dentro de clase III según el PSI. Esto debido a que las condiciones de este suelo han mejorado, a ello se el cambio de cultivo de almendro a cítrico realizado en el 2007, lo cual conllevó a la incorporación de abonado y cambios en la fertilización, además de la incorporación de un nuevo sistema de riego. Sin embargo, en el año 2019 según se observa en la tabla 2 del anejo 20, el porcentaje de suelos que representa la clase IV es de 7.2% (calicatas 2-c-15 y 2-c-

24). Como se puede notar, las calicatas que pertenecen a la clase IV son diferentes respecto al año de 1997 (ver tabla 6 del anejo 20), esto puede dar a entender, que los cambios en las categorías pueden ser favorables y se pueden revertir, siempre y cuando se realicen medidas correctivas, no obstante, si no se toman las medidas necesarias para mejorar o conservar su calidad, estas podrían verse afectadas.

La evolución de las clases de los suelos en estudio, según el porcentaje de caliza (último factor de suelo evaluado), ha sido beneficioso, como nos muestra la figura 29, en donde la totalidad de los suelos que pertenecían a la clase IV en los años 1974 y 1995, los cuales representaban 18% y 4% respectivamente, fueron redistribuidos de manera favorable a las clases II y III según evaluaciones posteriores (ver tabla 3 del anejo 20), erradicándose de esta manera la categoría IV en esta clasificación hasta la actualidad.

Sin embargo, cabe resaltar que la clasificación USBR, respecto al porcentaje de caliza, establece que solo los suelos que contengan menos del 35% de carbonatos pueden formar parte de la clase I, no así los suelos que contengan de 35% a 50 %, pues estos se encontrarían dentro de la clase II, y aquellos que posean de 50% a 65 los sitúa dentro de la clase III. Esto es muy importante mencionar porque los suelos que contengan más del 35% de caliza pueden afectar la productividad de muchos cultivos según los parámetros que establece Garrido (1993), los cuales están indicados en la tabla 5 del anejo 4. Por lo que se tendrá que realizar medidas correctivas para mejorar las condiciones.

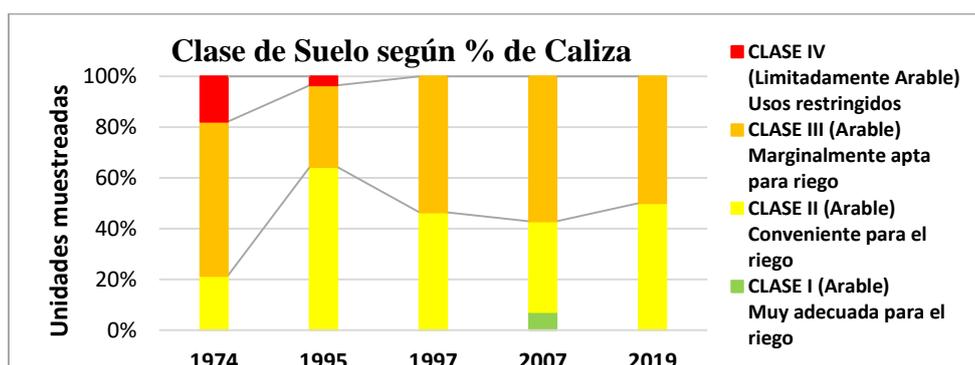


Figura 29. Clasificación temporal de los suelos en estudio según su aptitud para riego (USBR), en base a su % de Caliza.

Asimismo, en la tabla 3 del anejo 20, se puede observar que en el año 2007 el 7% de los suelos estuvieron incluidos dentro de la clase I, siendo representados por las calicatas 2-c-59 y 2-c-4 (ver tabla 7 del anejo 20), sin embargo, no sucedió así en el 2019, puesto que forman parte de las clases II y III respectivamente.

3.5. Evolución de la aptitud para el riego de los suelos (1974 – 2019)

La evaluación de aptitud para el riego de los suelos de la Pedrera, actualmente pone de manifiesto un cambio desfavorable el cual es significativo y muy preocupante respecto a los resultados obtenidos de la evaluaciones realizadas en el año de 1974 (figura 30), en donde el 71.4 % de los suelos evaluados fueron clasificados por sus características como clase I, las cuales incluían factores de suelo tales como textura en superficie, profundidad efectiva, salinidad, sodicidad, caliza total (%), elementos gruesos y afloramientos rocosos ; además de los factores de topografía como inclinación (%) y contenido de piedras en el terreno; y finalmente los factores de drenaje en los que fueron considerados la profundidad de la capa freática, drenaje superficial y la

profundidad de la capa impermeable. Esto de acuerdo con la clasificación de tierras según su aptitud para riego USBR (1953) (ver tabla 2 del anejo 3).

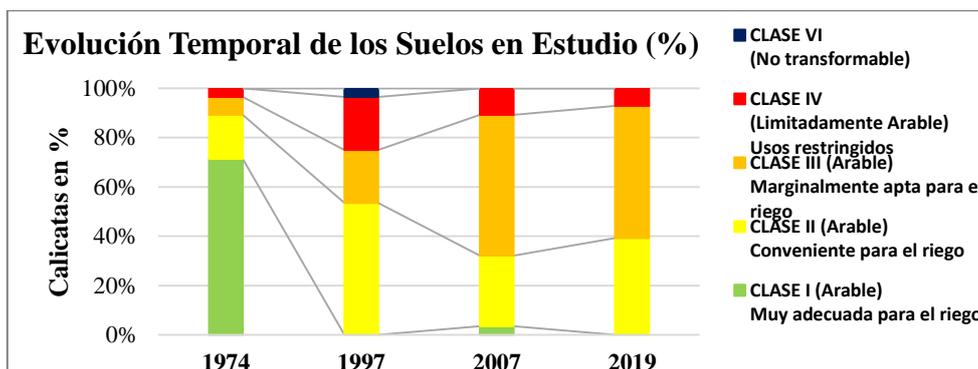


Figura 30. Evolución temporal de los suelos en estudio (%), según su aptitud para riego (USBR)

Sin embargo, como se muestra en la tabla 4 del anejo 20, el porcentaje de los suelos que en su momento pertenecieron a la clase I, denominados suelos muy adecuados para el riego, ha sido redistribuido en el año 2019 pasando a formar parte de la clase II, clase III y clase IV, desapareciendo de esta manera la clase I, ocasionando que el porcentaje de los suelos con clase II alcance la cifra de 39% en 2019, así mismo del 54% de los suelos clase III, y un 7% de los suelos clase IV.

Esto se traduce a que una o más de las características de los suelos mencionadas anteriormente, han sido o están siendo afectadas, y según los resultados obtenidos en 2019, posiblemente se deba al aumento en contenido de salinidad y sodicidad principalmente en los primeros horizontes (figura 17). Además, es muy importante tener en cuenta el % de caliza, así como también la textura, con lo que podemos afirmar que son los factores de suelo más que los factores de topografía y de drenaje los condicionan esta clasificación, no obstante, los tres factores guardan una estrecha relación.

Lo descrito anteriormente se corrobora en los resultados de Muhammad *et al.*, (2008), donde se demostró que la textura del suelo es un factor ambiental notable para el proceso de salinización. Por lo que el contenido de sal disminuye al aumentar el contenido de arena, esto probablemente debido a la dilución de sales facilitada por el perfil y un reducido aumento del agua capilar en la superficie del suelo. A ello se suma los efectos de la textura en relación con el agua de riego procedentes de diversas fuentes, entre ellas la lluvia, que se podrían encargarse del lavado o almacenamiento de sales. Además, según Suárez *et al.*, (2006), los criterios de calidad del agua para el riego deben considerar dos aspectos importantes, siendo el primero el impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos y el segundo los efectos relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo, mientras que otras fuentes naturales y antropogénicas pueden contribuir a la salinización del agua subterránea en acuíferos costeros. Esto cuando el servicio de agua para la agricultura o servicio público está fundado en la extracción de agua de un acuífero costero en una región árida. Otros ejemplos de salinización están relacionados con la intrusión de agua de mar y procesos de contaminación relacionados al bombeo de residuos sólidos urbanos (Cardona *et al.*, 2004).

Es muy conveniente resaltar lo indicado por Unger y Howell, (2000), los cuales ponen de manifiesto que el incremento de usuarios urbanos, industriales, recreativos, ambientales, compiten por el agua de uso agrícola, haciéndose prácticamente obligatorio la conservación y

buen manejo del agua en la agricultura, ante el crecimiento poblacional. Esto se corresponde con el estudio realizado en la Pedrera en el año de 1974, en donde se advirtió y se recomendó poner en desarrollo alrededor de 7.500 hectáreas en respuesta a la calidad y disponibilidad de agua para riego con una dotación asegurada y establecida (IRYDA, 1974).; sin embargo, por no tener en cuentas dichas recomendaciones, ampliándose la frontera agrícola a más de 13.000 hectáreas, así como la urbanización de algunas zonas agrícolas, y otros cambios en el uso de tierras, como la industrialización, así como los cambios en el sistema de riego (de secano a regadío). A ello se suma la falta de recursos y las sequías sufridas a finales de los años 80 y 90 del siglo XX (Preciado, 2003), provocando que los campos de cultivo se regaran con aguas de mala calidad. Poniéndose de manifiesto ya en el año 1997 que la calidad de los suelos había sido afectada por importantes procesos de degradación como la salinidad y la sodicidad.

Para tratar refrenar el problema, y poder mejorar las condiciones del suelo, se tomó la medida de utilizar aguas provenientes de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) en los primeros años de la década del 2000. Estas presentaban una CE promedio de 1dS/m, por lo que permitió diluir y lavar las sales a capas más profundas (Moreno, 2007), lográndose obtener buenos resultados como se puede observar en la figura 6 del anejo 20 en cuanto al año 2007 con respecto al año 1997. Asimismo, se puede observar que hasta el año 2019 se han conservado gran parte de estas condiciones, debido al parecido que existe en la clasificación resultante en ambos años, por ejemplo, la clase III se ve representada por el 57% del total de suelos en 2007, y por el 54% en 2019 (ver tabla 4 del anejo 20), con excepción de la clase I, el cual formaba parte en el año 2007 representando un 4% del total de los suelos en estudio, no así en el año 2019.

3.6. Distribución de las clases de los suelos de la Pedrera (2007 - 2019)

En la figura 31, se representa en términos de porcentajes la evolución de las condiciones de los suelos de estudio del año 2019 respecto al 2007, en cuanto a su clase o categoría según clasificación USBR, donde se puede observar que el 53% de los suelos actualmente mantienen su categoría respecto al 2007, por lo que se hace referencia que esto representa del total de las 28 calicatas evaluadas, un 18% de suelos con clase II (1-c-2, 2-c-36, 2-c-51, 2-c-58, 2-c-59), 31.5% de suelos con clase III (2-c-26, 4-c-61, 2-c-18, 2-c-82, 2-c-39, 4-c-84, 2-c-8, 1-c-3, 3-c-78), y 3.5% de suelos con clase IV que no se han visto alterados temporalmente, ya sea de manera favorable o desfavorable como es el caso de la calicata 2-c-24 (ver tabla 8 del anejo 20).

Asimismo, se observa que del 47% restante, 29% de los suelos han experimentado cambios favorables en estos últimos 12 años con respecto a su clasificación, logrando de esta manera que el 67% de los suelos que pertenecían a la clase IV pasen a incorporarse dentro de la clase III en 2019 (2-c-25, 4-c-29). Cabe mencionar que los suelos de la clase IV representaban en 2007 el 11% de las 28 calicatas evaluadas (ver tabla 4 del anejo 20). En este mismo escenario también han logrado mejorar sus condiciones las calicatas 1-c-5, 1-c-42, 1-c-40, 1-c-46 y 4-c-28 que por sus características mostradas en 2007 pertenecían a la clase III, pasando a formar parte de la clase II en 2019.

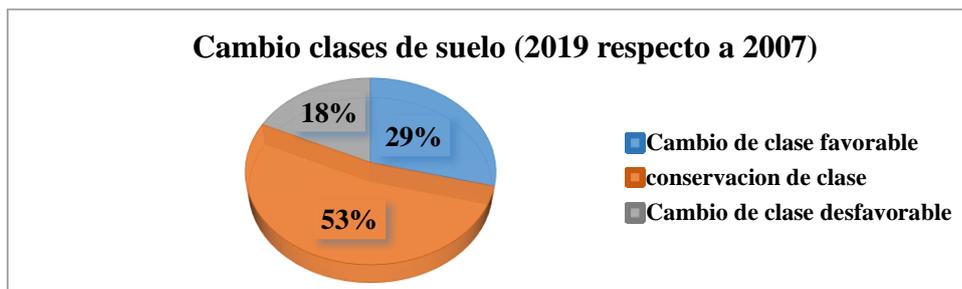


Figura 31. Distribución de los suelos en estudio del año 2019 con respecto al año 2007, según cambio de clases o categorías (USBR).

También se puede apreciar que existe un 18% de suelos que han presentado un cambio de clase desfavorable según sus características resultantes en las evaluaciones del presente año, donde se ha tenido que reubicar de categoría a cinco de los suelos por las características que muestran actualmente, sin embargo estos cambios de categorías no han sido iguales para todos, produciéndose 3 situaciones distintas, como es el caso de la calicata 2-C-4 que habiendo estado en 2007 en la clase I ahora forma parte de la clase III; de la misma forma las calicatas 4-c-66, 4-c-73, y 2-c-48 forman parte de la clase III actualmente, habiendo pertenecido a la clase II; no así la calicata 2-c-15, que ha sido catalogada como clase IV en 2019 después de haber formado parte de la clase III en 2007.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado la evaluación de los suelos de la Pedrera de acuerdo a las directrices establecidas por la USBR (1953) y se ha obtenido que la mayoría de las calicatas (54%) se clasifican en clase III “Arable”, que presenta deficiencias importantes para un restringido número de cultivos. El 39% restante se clasifica como clase II “Arable”, destacando su conveniencia para el riego, pero exige tener en cuenta los cultivos disponibles. Por último, las calicatas restantes se han clasificado como clase IV “Limitadamente Arable”, pues presentan usos restringidos y requieren estudios complementarios para verificar su idoneidad. En el caso de las 11 calicatas clasificadas como clase II, las principales limitaciones han sido el contenido en caliza total (10 calicatas), Sodicidad (9 calicatas), salinidad (5 calicatas) y una calicata ha presentado también problemas de profundidad efectiva. Para las 15 calicatas clasificadas como clase III, las principales limitaciones han sido el contenido en caliza total (14 calicatas), sodicidad (6 calicatas), salinidad (5 calicatas) y dos calicatas han presentado problemas de textura en superficie. Por último, las 2 calicatas en clase IV han presentado limitaciones en sodicidad y salinidad. Por lo tanto, las principales limitaciones de la zona son el contenido en carbonatos del suelo y la salinidad y sodicidad.

En 1974 el 71% de los suelos se clasificaban como Clase I, por lo tanto, en ellos se podía desarrollar cualquier cultivo. La problemática expuesta en el presente trabajo ha provocado que se haya degradado el entorno, pasando en la actualidad a no tener ninguna zona clasificada como Clase I. No obstante, si analizamos los datos en referencia a la última evaluación de suelos realizada en 2007, podemos concluir que 53 % de las calicatas se mantienen clasificadas en la clase designada en 2007, empeorando un 18% de las calicatas la clase de riego y mejorándolas un 29%. El frágil equilibrio y los datos mostrados revelan que es necesario un estudio pormenorizado y continuado de los factores que degradan los suelos para intentar en un futuro revertir y mejorar las clases de suelos en la zona, llegando a poder ser a los niveles de 1974.

Analizando la evolución temporal de los parámetros edáficos, podemos decir que la concentración de materia orgánica en los suelos ha presentado un claro aumento desde 1974. Actualmente la concentración de materia orgánica es de 1.8%, siendo en superficie 0-20 cm de 2.6% de media y disminuyendo en profundidad hasta llegar al 1.5% de media en 80-100 cm. La salinidad es otro de los factores limitantes de la zona debido principalmente a la salinización de suelos. Si comparamos los datos con 1974, podemos observar como se ha degradado el suelo por la acumulación de sales, aunque en la actualidad y respecto a los años 1995-2007, se ha producido una reducción de los suelos clasificados como Clase IV, aumentando en 2019 en un 17% respecto a 2007 los suelos clasificados en clase I por la salinidad. Este hecho puede deberse al manejo de sales y a los aportes de aguas de mejor calidad, evitando el uso de agua de acuífero salinizado de los años 1995-97. La salinidad media de los perfiles es de 4.5 dS/m por lo que los suelos son salinos ($CEe > 4$ dS/m = suelos salinos). Exactamente de todas las muestras de suelo analizadas el 56,5 % de las muestras son salinas, presentando el 45.5% de las muestras restantes una salinidad comprendida entre 2-4 dS/m. Destacar que la salinidad es mayor en superficie que en profundidad, siendo las zonas más bajas donde mayor salinidad encontramos en los suelos.

Por lo que respecta al RAS y PSI, destacar que el 43% de las muestras analizadas se clasifican como no sódicas, siendo un 14% ligeramente sódicos y el resto de medianamente a fuertemente sódicos. En este caso, si analizamos los datos desde 1974, se observa como tanto en 1997 como en la actualidad un 3.2% y un 7.2% de las calicatas se clasifican como clase IV. El hecho de que en 2019 el PSI sea mayor que en cualquiera de los años anteriormente analizados, indica que se está produciendo una sodificación del perfil del suelo al acumularse sodio y, por tanto, esto puede provocar problemas en la calidad de éstos al empeorar la estructura de los suelos. Destacar que el PSI registra los mayores valores en superficie. En el caso del RAS, destacar que también aumenta en superficie y sus mayores valores se encuentran en las zonas bajas, siendo la zona del embalse de la Pedrera el que menores valores presentan. Este hecho es también constatable en el caso del PSI. Destacar que los cationes y aniones principales siguen una distribución más o menos similar con la salinidad, PSI y RAS, destacando como principales sales el Cloruro de Sodio, Sulfato de Magnesio.

En referencia a los carbonatos presentes en suelos, destacar que es uno de los principales factores limitantes en la evaluación del USBR 1953, aunque los cultivos que se desarrollan en la zona (cítricos) toleran bien las zonas calcáreas. Si analizamos la evolución del contenido en carbonatos en los suelos de la zona, podemos decir prácticamente no ha variado desde 1974, observándose que ese año había un 18% de los suelos que se clasificaban como clase IV, desapareciendo en la actualidad los suelos clasificados en esta clase. Los resultados de 2019 muestran un contenido medio de 43% de carbonatos en suelos, aumentando estos en profundidad. Esto es lógico, puesto que en las zonas áridas y semiáridas hay una acumulación de carbonatos en profundidad debido al lavado de estos. Originariamente la zona es carbonatada y, por tanto, es normal la presencia de carbonatos en los suelos, evitándose la formación de horizontes petrocálcicos que pudieran limitar el desarrollo radicular. En este caso, ninguna calicata ha presentado endurecimiento de los horizontes por la cementación del carbonato cálcico a profundidades inferiores 100 cm.

A modo de caracterización de los suelos de la zona, destacar que éstos son básicos con un pH medio de 8.7 y una textura franco arcillosa. Por último, destacar la poca presencia de elementos gruesos en el perfil, señalando que todo ello se ha podido cartografiar mediante el software geostadístico.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (1993). UNE 103200:1993. Determinación de carbonatos en suelos. AENOR. Madrid. España pp.6
- AGUIRRE, G.A. (1993). Química de suelos salinos y sódicos. 1a edición. Editado por la FES.C, UNAM. México. 130pp.
- AGUSTÍ, M (2010). Fruticultura. Mundi prensa. Pp. 507
- ANDRADE, G. I. y ETTER, A. (1998). Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad Colombia 1997, Bogotá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y PNUD.
- ARVENSISAGRO. (25 de abril de 2014). Arvensis. Recuperado el 3 de abril de 2019, de El blog de arvensis: <https://www.arvensis.com/blog/el-suelosalinidad-y-alcalinidad/>
- BANCO MUNDIAL. (2019). Tierras Agrícolas en España y el mundo. <https://datos.bancomundial.org/>
- BELLANGER, H. (2018). Evolución histórica de la calidad de los suelos agrícolas en la zona regable de la Pedrera (Alicante). Trabajo Final de Master. Universitat Politècnica de València. Pp:81
- BRADY, N.C. Y R.R.. WEIL. 2002. The Nature and Properties of Soils. 13th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- BOUMA, J. (1989) Land qualities in space and time, pp 1-13. En: J. Bouma & A.K. Bregt (eds), Land qualities in space and time. Proc. ISSS Sump. Wageningen. PUDOC, Wageningen.
- CARDONA, A., CARRILLO, R.J.J., HUIZAR, A.R., GRANIEL, C.E. (2004). Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. Environmental Geology 45: 350-366.
- CASTELLANOS, J. Z. y J. L. OJODEAGUA. (2011). Formulación de la solución nutritiva. En: Manual para la producción de tomate en invernadero. J. Z. Castellanos (Ed.). Intagri, S. C. Guanajuato, México. 131-156 pp.
- CHRISTIAN, C.S. (1952). Regional land surveys. Journal of Australian Institute of Agricultural Sciences, 18 (1952), pp. 140-146
- CHRISTIAN, C.S. and STEWART, G.A. (1968) Methodology of integrated surveys. Pp. 233-280. In: P. Rey (ed) Aerial surveys and integrated studies. Proc. Toulouse Conf. 1964: UNESCO, Paris.
- CONDON, R. W. (1968): "Estimation of grazing capacity on arid grazing lands", en Stewart, G. A. (Ed.): Land evaluation: Papers of a CSIRO Symposium, organized in cooperation with UNESCO. Melbourne, Macmillan of Australia, pp. 112-124.
- COOK, G.D. AND W. MULLER (1997). Is exchangeable sodium content a better index of soil sodicity than exchangeable sodium percentage?: a reassessment of published data. Soil Science 162 (5): 343-349.
- COX, C., JIN, L., GANJEGUNTEB, G., BORROK, D., LOUGHEED & MA, L., (2018). Soil quality changes due to flood irrigation in agricultural fields along the Rio Grande in western Texas. Applied Geochemistry. Vol. 90: 87-100.
- DIERICKX, W. (2015). The salinity and alkalinity status of arid and semi-arid lands. Land Use Land Cover Soil Sci. 5.
- EL-SWAIFY, S. (2000). Soil and Water Salinity In Plant Nutrient Management in Hawaii, Soils Plant Nutrient Management in Hawaii Soils Approaches for Tropical Agricultura and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- ESSINGTON ME (2003) Soil and water chemistry: an integrative approach. CRC Press, Boca Raton

- EYNARD, A., LAL, R., & WIEBE, K. (2005). Crop Response in Salt-Affected Soils. *Journal of Sustainable Agriculture*, 27(I). Obtenido de <http://www.haworthpress.com/web/JSA>.
- FAO (1997): *Zonificación Agroecológica. Guía General*. Ed: FAO. Serie: Boletín de Suelos de la FAO, n° 73. Roma.
- FAO (2002): *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje*. ISSN 0254-5284. Roma.
- FAOSTAT. (2019). Base de datos estadísticos. <http://www.fao.org/faostat/es>.
- GARRIDO, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras. Núm.5/93HD.MAPA.
- GUIDA JOHNSON, B., ABRAHAM, E., & CONY, M. (2017). Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 49(1), 205-215.
- HERVÉ, D., LEDEZMA, R., & ORSAG, V. (2002). Limitantes y manejo de los suelos salinos y/o sodicos en el altiplano Boliviano. La Paz: Talleres Gráficos "Perez".
- HOLDRIDGE, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- JIMÉNEZ, Humberto (trad.) *Ecología basada en zonas de vida*. (1a. ed.) San José, Costa Rica: IICA.
- IMBELLONE, P., GIMÉNEZ J.E. Y PANIGATTI J.L. (2010). *Suelos de la región pampeana. Procesos de Formación*. Argentina. Buenos Aires: Editorial INTA. 288p.
- IRYDA. (1974). *Estudio de suelos de la zona regable de la Pedrera (Alicante)*. Memoria, mapas y anejos. PROINTEC.
- JONES, C.A. AND J.R. KINIRY, EDS. (1986). *CERES-Maize*. College Station: Texas A&M Univ. Press.
- KLINGEBIEL, A. A., MONTGOMERY, P. H. (1961): *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210. Washington DC, US Government Printing Office.
- LANDON, J.R. (Ed). (1984). *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. New York: Longman. xiv, 450 pp.
- LEVY, G., GOLDSTEIN, D., Y MAMEDOV, A. (2005). Saturated Hydraulic Conductivity of Semiarid Soils: Combined Effects of Salinity, Sodicity and Rate of Wetting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:653-662.
- MARSHALL T., HOLMES J. AND C. ROSE. (1996). *Soil Physics Third Edition* Cambridge University, 453 p.
- MARTÍ, C.; PEÑA, J. y PINTÓ, J. (2004) Metodología de análisis de la transformación del paisaje de la Costa Brava: Evolución, diagnosis y prognosis. En: CONESA, C. y MARTÍNEZ, J. *Territorio y Medio Ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. Murcia: Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección de la Asociación de Geógrafos Españoles y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, p. 317-328.
- MARTÍNEZ, E., ANDRADES, M. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Editorial Universidad de la Rioja, 19 p.
- MELONI, D. A., AYRAULT, G., DAVID, R. N., & ABDALA, G. (2008). Tolerancia a la salinidad en dos porta injertos de citrus: crecimiento, composición mineral y ajuste osmótico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, XL (2), 97-104
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (1974): *Caracterización de la capacidad agrológica de los suelos de España. Metodología y normas*. Madrid, Ministerio de Agricultura.
- MCCORMACK, R. J. (1971): "The Canada Land Use Inventory: a basis for land use planning", *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 4, pp. 141-146.

- MORENO, H. (2007). Evolución espacio-temporal de los parámetros edáficos en zonas de regadío tradicional. Memoria de Diploma de Estudios Avanzados. Universitat Politècnica de València. Pp.58
- MUHAMMAD, S; MULLER, T; JOERGENSEN, R.G. (2008). Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments*, 72, pp. 448-457
- ORSAG, V. (2010). El recurso suelo Principios para su manejo y conservación. La Paz, Bolivia: Zeus.
- OTERO, L., FRANCISCO, A., GÁLVEZ, V., MORALES, R., SÁNCHEZ, I., LABAUT, M., RIVERO, L. (2007). Caracterización y evaluación de la salinidad. Instituto de suelos Cuba.
- PLA SENTIS, I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4):50-63. WASWAC. China.
- PIZARRO, F. (1985). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española, pp. 114-116.
- PORTA, J.; LÓPEZ ACEVEDO M.Y ROQUERO C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España: Ed. Mundi Prensa. 807pág.
- PORTA, J., LOPEZ, M., Y ROQUERO, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa, 929 p.
- PRECIADO, B. (2003). Caracterización edáfica, evaluación de tierras y evolución de la salinidad en la zona Regable de la Pedrera (Alicante). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia
- RAJ, H., DA SILVA, N., & FEITOSA DE LACERDA, C. (Edits.). (2010). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT sal.
- RAJ GHEYI, H., DA SILVA DIAS, N., & FEITOSA DE LACEDA, C. (Edits.). (2016). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos y aplicados (Segunda ed.). Brasil: Fortaleza, CE.
- RHOADES, J. D., KANDIAH, A., & MASHALI, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production (Vol. 48). Rome: FAO-IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER.
- RICHARDS, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook No. 60*. USSL. USDA (United States Department of Agriculture). Riverside. California. USA: 165.
- RIQUIER, J.; BRAMAO, L. Y CORNET, J.P. (1970): A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. (AGL/TES/60/6), FAO, Roma.
- ROQUERO. C. (1964). El medio natural como factor limitativo y condicionante de la agricultura española. Septiembre. Boletín. Asociación. Nacional. Ingeniería. Agronómica. N° 154
- ROSSITER, D., (1994). Non-FAO land classification methods. Cornell University consultado el 20/06/2018 en: (www.css.cornell.edu/landeval)
- ROSSITER, D.G., A. JIMÉNEZ, T. y VAN WAMBEKE, A. (1995) Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras. ALES. Versión 4.5 en español. Manual para Usuarios. Cornell University, Ithaca.
- SÁNCHEZ, P. A., COUTO, W. y BUOL, S. W. (1982): “The fertility capability classification system: Interpretation, applicability and modification”, *Geoderma*, 27, pp. 283-309.
- SÁNCHEZ, R.M., DUNEL, L., Y SHERGER, M. (2016). Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Ediciones INTA.
- SIGA, 2019. Sistema de información geográfica de datos agrarios (Climatología, tipo de uso y sobrecarga) <https://sig.mapama.gob.es/siga/>

- SOIL SURVEY STAFF. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 4.0 Burt, R.; eds. US. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington. USA. Pp. 700.
- SOIL SURVEY STAFF. (2009). Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 4.0 Burt, R.; eds. US. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington. USA. Pp. 407.
- STEINER, J.L., J.R. WILLIAMS AND O.R. JONES. (1987). Evaluation of the EPIC simulation model using a dryland wheat-sorghum-fallow crop rotation. *Agron. J.* 79:732-738.
- STEWART, G. A. (1968). Evaluación de la tierra, pp. 1–10. En: GA Stewart (ed.), *Land Evaluation. Artículos de un simposio de CSIRO (CSIRO / UNESCO, Canberra)*. Macmillan de Australia, Melbourne.
- STOORVOGEL, J. J. (1995) *Geographical Information Systems as a Tool to Explore Land Characteristics and Land Use, with reference to Costa Rica*. Koninklijke Bibliotheek, La Haya.
- STORIE, RE 1978. *Storie Index Soil Rating*. (1978). Division of Agricultural Science, University of California
- SUÁREZ, L.D., WOOD, D.J., LESCH, M.S. (2006). Effect of SAR on wáter infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management* 86: 150-164.
- SZABOICS, S. (1979). "Review of research on salt affected soils". *Natural Resources Research*, XV. UNESCO. Paris. P. 137
- TANJI, K. K. (1996). *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers, 619 p.
- TERRAZAS, J. M. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica*. 5(1):1539-1563.
- TARKIEWICZ, AND NOSALEWICZ, A. (2005). Effect of organic carbon content on the compactibility and penetration resistance of two soils formed from loes. *Int Agrophysic*, 19, 345-350.
- UNGER, P.W., Y HOWELL, T.A. (2000). Agricultural water conservation – A global perspective. *Journal of Crop Production* 2(2): 1- 36.
- USBR (1953) *Bureau of reclamation manual*. Vol V. Irrigated land use, US Dept. Interior, Washington DC.
- VAN DIEPEN, C. A., VAN KEULEN, H., WOLF, J. y BERKHOUT, J. A. A. (1991): "Land evaluation: from intuition to quantification", en Stewart, B. A. (Ed.): *Advances in soil science*. New York, Springer Verlag, pp. 139-204.
- VAN LANEN, H.A.J., M.J.D. Hack-ten Broeke, J. Bouma & W.J.M. de Groot (1992) A mixed qualitative/quantitative physical land evaluation methodology. *Geoderma* 55:37.

ANEJOS

ÍNDICE DE ANEJOS

- 1. Evaluación temporal de tierras agrícolas en España y el Mundo*
- 2. Sistemas de evaluación de tierras*
- 3. Clasificación de suelos según USBR*
- 4. Denominación de suelos según parámetros de evaluación*
- 5. Suelos salinos y sódicos*
- 6. Climatología y usos de tierras en las zonas de estudio*
- 7. Proceso de la metodología de trabajo*
- 8. Fase de planificación del estudio*
- 9. Fase de muestreo y campo*
- 10. Fase de Laboratorio*
- 11. Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos*
- 12. Mapas de parámetros edáficos*
- 13. Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio*
- 14. Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio*
- 15. Distribución temporal de parámetros evaluados en los suelos de estudio*
- 16. Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio*
- 17. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio*
- 18. Carbonatos o caliza (%) en el perfil de los suelos de estudio*
- 19. Resultados de la evaluación de suelos 2019, según su aptitud para el riego (USBR)*
- 20. Resultados de la evolución temporal de los suelos en estudio, según USBR*

Anejo 1

Evaluación temporal de tierras agrícolas en España y el Mundo

Tabla 1. Distribución del uso de tierra en España (1974-2016)

USO DE TIERRA (ESPAÑA)	Años			
	1974 [Unidad 1000 ha]	1997 [Unidad 1000 ha]	2007 [Unidad 1000 ha]	2016 [Unidad 1000 ha]
Superficie del País	50599	50599	50599	50599
Superficie de tierras	49975	49944	49911	49956.4
Tierras agrícolas	32078	30059	28004	26265.7
Tierras de cultivo	20885	19059	17396	17033.01
Tierras arables	15918	14285	12586	12337.18
Tierras destinadas a cultivos permanentes	4967	4774	4810	4695.83
Tierras destinadas a cultivos temporales	-	-	7659	7917.72
Superficie de tierras equipada para riego	2783	3634	3815	3923
Tierras destinadas a la agricultura efectivamente regadas	-	-	3318	3614.1
Tierras destinadas a praderas y pastizales temporales	-	-	1032	1130.81
Tierras destinadas a bosques	-	16026.71	17668.13	18452
Tierras destinadas a la silvicultura	-	16026.71	17668.13	18452
Tierras en barbecho	-	-	3895	3288.65
Otros usos de tierra	-	3858.29	4238.87	5238.7

Fuente: Base de datos estadísticos de Alimentación y Agricultura FAOSTAT (Uso de la tierra), 2019.

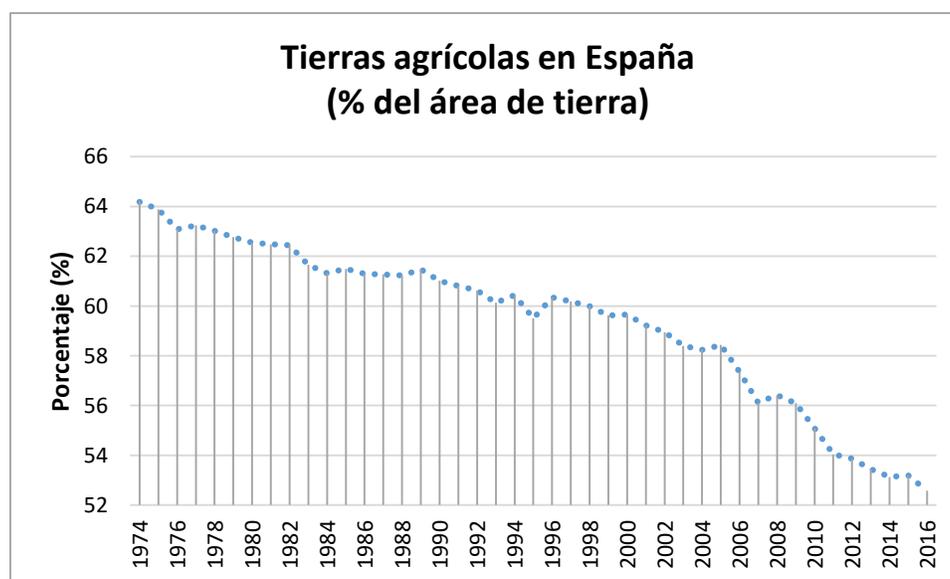


Figura 1: Tierras agrícolas en España, Fuente: Banco Mundial, 2019

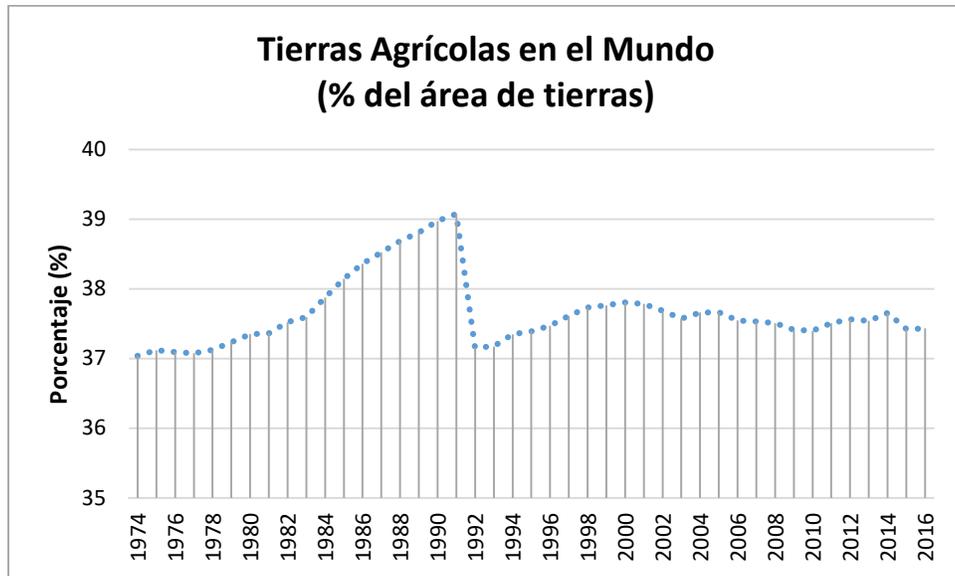


Figura 2: Tierras agrícolas en el Mundo. Fuente: Banco Mundial, 2019

Anejo 2

Sistemas de evaluación de tierras

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS

Mundialmente se ha desarrollado un gran número de sistemas para la evaluación de tierras, desde muy generales a muy específicos, dirigidos a orientar acciones de seguimiento o administración (medidas de corto plazo) y labores de planificación, entendida como el proceso de distribución de usos de la tierra.

Con diferentes enfoques encontramos:

- Métodos de evaluación cualitativa.
- Métodos paramétricos.
- Métodos de evaluación cuantitativa.

1. Métodos de Evaluación Cualitativa

Existe una serie de metodologías, modelos y programas desarrollados bajo un enfoque cualitativo, entre los que se destacan los siguientes:

- Clasificación de las tierras por su Capacidad de Uso (USDA).
- Esquema de Evaluación de Tierras de la FAO.
- Clasificación de Tierra para usos con riego (USBR).
- Sistemas de Tierras de Australia.
- Sistema de la Clasificación de Suelos para la capacidad de fertilidad (FCC)
- LESA: (LE: Land evaluation, y SA: Site Assessment)
- Ponderación Potencial de Suelos (Soil Potential Rating USDA, 1983)

1.1. Clasificación de tierras por su Capacidad de Uso (USDA):

Desarrollado en los años 50 por el Servicio de Conservación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), siendo su principal objetivo clasificar suelos en base a su capacidad de ser utilizados sin sufrir degradación o posibles efectos secundarios (Rossiter, 1994). Además, este sistema ha sido de mucha utilidad para desarrollar otros de mediante adaptaciones puntuales. Así pues, en el caso español sirvió de referencia el trabajo de Roquero (1964) por ejemplo, donde se adaptó los criterios originales a las condiciones de suelos locales.

Es uno de los sistemas más difundidos en todo el mundo, pero exige adaptación a las condiciones locales. Este sistema consiste en agrupar unidades de tierra, basados en unidades cartográficas de suelo. Este agrupamiento se realiza principalmente para fines agrícolas y en esta clasificación, los suelos “arables” se agrupan en virtud de sus limitaciones y potencialidades para una producción continuada de cultivos comunes de labranza. Los suelos” no arables”, son no aptos para producir cultivos de labranza de forma sostenible y se agrupan de acuerdo a sus limitaciones y potencialidades para producir vegetación perenne, como pasturas y mejoramiento del pastizal natural. El sistema tiene una serie de premisas o principios, entre los cuales podemos mencionar que: se requiere un nivel relativamente alto de manejo, y no se consideran limitaciones permanentes aquellas que son factibles

de ser corregidas o removidas. Consta de tres niveles o categorías de clasificación: las clases, subclases y unidades de capacidad.

- **Las clases**, ocho en total, agrupan suelos con el mismo grado de limitaciones para su utilización sostenible. Se dividen, generalmente, en tierras arables (clases I a IV) y no arables (clases V a VIII), en la medida en que aumenta la clase disminuye la intensidad de uso y se incrementa el grado de limitación.
- **Las subclases** son subdivisiones de las clases según el tipo de limitación o riesgo de daño presente; dependiendo del grado con que aparezcan y el nivel tecnológico y de manejo, muchas de ellas pueden ser aminoradas o eliminadas.
- **Las unidades de capacidad** son grupos de suelos que tienen las mismas respuestas a las clases de cultivos, requieren similares prácticas de conservación y manejo, y mantienen una productividad comparable. La clasificación no considera aspectos de productividad, beneficio económico u otros factores socioeconómicos.

1.2. Esquema de Evaluación de Tierras de la FAO.

Como su nombre lo indica, se trata de un esquema, no un sistema, que orienta sobre los principios, conceptos, la estructura y los procedimientos que deben guiar la creación y aplicación de sistemas de evaluación de tierras, orientado a usos específicos. Puede utilizarse a diferentes escalas, y a una amplia gama de usos de la tierra. Es un sistema abierto que hace falta desarrollarlo en cada caso. No establece jerarquías entre los distintos usos y se basa en aptitudes y no en limitaciones, además de presentar la siguiente estructura: Orden, clase, subclase y unidad de aptitud de tierras. El **orden de aptitud** expresa si una unidad es apta o no para un uso determinado.

Las **clases** hacen referencia a los grados de adaptabilidad para el orden apto. Existen las clases Altamente apto (A1), Moderadamente apto (A2) y marginalmente apto (A3); el no apto, consta de las clases No apto actualmente (N1) y No apto permanentemente (N2). Las **subclases** indican el tipo de limitación presente, y se muestran con una letra, a continuación de la clase (A2m); las unidades de aptitud expresan variaciones de la subclase debido a su producción o por exigencias de manejo y se expresan con un número arábigo precedido de un guion (A2m-1, A2m-2).

La evaluación de la tierra puede hacerse desde el punto de vista físico y económico y también puede incorporar un análisis social. Valora la aptitud de las tierras para usos específicos, alternativos, ecológicamente sostenibles y económicamente viables. El resultado surge de la confrontación de las características de la tierra, expresadas como cualidades, con las exigencias de los tipos de utilización, que puede ser cultivos diversos, pasturas, pastizal, uso forestal, etc. Todo ello se expresa como requerimientos de los tipos de utilización.

1.3. Clasificación de Tierra para usos con riego (USBR):

Es un sistema de clasificación muy difundido para evaluar proyectos de regadío. En la selección de áreas para regadío se analizan de forma integrada los factores físicos, sociales y económicos. Las nuevas tierras de riego se evalúan en base a la "capacidad de pago favorable", la que depende de una serie de factores, como costo global de las obras de riego y drenaje, prácticas de manejo, precios de los productos en los mercados, administración y condiciones climáticas, entre otros. El criterio financiero de la capacidad de pago favorable es convertido en un juego de criterios físicos, como factores de suelo, drenaje y topografía, pero sin especificaciones universales. Cada proyecto se debe evaluar bajo sus condiciones locales y no es un sistema que de opciones de mejor uso: se evalúa solamente una opción de riego y las alternativas no forman parte de la clasificación. (USBR, 1953).

1.4. Sistemas de Clasificación de Tierras de Australia:

Consiste en la identificación y evaluación de áreas que sean similares en cuanto a patrones de vegetación, suelos, uso, geología, hidrología y topografía, visibles en fotografías aéreas. Este sistema holístico fue creado para el levantamiento integrado a nivel de reconocimiento (Christian, 1952; Christian & Stewart, 1968). En estudios más detallados se adaptó el método combinado de interpretación visual con trabajo de campo, para analizar las variables que no se podían interpretar solamente de las fotografías aéreas. Este enfoque paisajista forma la base para clasificaciones posteriores, usando el concepto de "tierra" como unidad básica en vez del estrecho concepto del suelo y aplicando categorías jerárquicas para la agregación de unidades geográficas (ejemplo: base de datos SOTER).

1.5. Sistema de Clasificación de Suelos para la capacidad de fertilidad (FCC)

Según Sánchez *et al.*, (1982) es un sistema que está desarrollado para formar un puente entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos. El sistema agrupa los suelos según el tipo de problemas encontrados en las características físicas y químicas que influyen en su manejo.

1.6. LESA (Land Evaluation [LE] Site Assessment [SA])

Es un sistema de clasificación para la protección de tierras (USDA, 1983). El objetivo principal es proporcionar a los tomadores de decisión locales un sistema objetivo y numérico para determinar si la tierra es viable para un desarrollo específico y como puede ser está protegida. El componente LE está basado en una estimación de rendimiento para un cultivo de referencia (factores *in-situ*), usando tecnología estándar de una zona y el componente SA está basado en factores principalmente geográficos.

1.7. Ponderación Potencial de Suelos (Soil Potential Rating USDA, 1983)

Son clases que indican la cualidad relativa del suelo para un uso particular. Se considera 1) rendimiento; 2) costos relativos de tecnología para minimizar los efectos de las limitaciones; y 3) los efectos negativos en valores sociales, económicos y medioambientales. Es una ponderación aplicable

para la planificación y no para recomendaciones de usos de la tierra. Puede ayudar a los planificadores en dar prioridad a las áreas.

2. Métodos Paramétricos

Son todos los métodos semicuantitativos en los cuales la relación entre la productividad y las características de la tierra es expresada como factores ponderados en una función matemática simple. El resultado de esta función se usa para valorar diferentes usos en un área específica. Otra limitación de este método es que no está basado en un enfoque de análisis de sistemas integrados. Entre estos métodos, destacan los siguientes:

- Índice *Storie* o Índice de Tierra.
- Índice de productividad de Riquier *et al.*, (1970).

2.1. Índice *Storie* o Índice de Tierra.

Es un índice multiplicativo desarrollado en EEUU, con el objetivo de expresar una ponderación para una zonificación de suelos o para una tasación. Es un índice para expresar la influencia de los factores del suelo sobre la productividad de cultivos, en el cual se asigna a cada factor del suelo un porcentaje de un valor ideal para luego multiplicarlo (Storie, 1978).

El índice se desarrolló originalmente para una clasificación de impuestos de la tierra. Usa propiedades intrínsecas del suelo (espesor, textura, drenajes, material parental, acidez, etc), características de la superficie (pendiente, microrrelieve) y aspectos de conservación (grado de erosión). No incluye factores de manejo ni factores climáticos. Establece 6 clases (1,2 y 3 para fines agrícolas; 4 para uso agrícola muy limitado, 5 para pastos y 6 sin uso). Las ventajas son la elección de los factores considerados, su ponderación y la validez de las interacciones multiplicativas.

2.2. Índice de productividad de Riquier *et al.*, (1970).

Es un método paramétrico multiplicativo que evalúa la productividad del suelo (kg/ha y año), que supone depende de las características del suelo bajo un determinado manejo. Analiza usos generales: herbáceos, pastos, leñosos y forestal. Utiliza principalmente propiedades intrínsecas del suelo: régimen hídrico del suelo (cantidad de meses secos), drenaje, espesor, materia orgánica, textura, etc). No considera la erosión, ni la pendiente. El índice establece 5 clases de productividad, de excelente a muy pobre. Contempla productividad actual y potencial. Ante la necesidad de contar con un sistema de valoración de la productividad de los suelos, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha introducido una serie de modificaciones para adaptarlo a las distintas y variadas condiciones ecológicas e información básica disponible.

Se ha utilizado una regionalización climática del país, donde en cada una de las regiones tiene vigencia la misma metodología, pero pueden variar los parámetros considerados y las valoraciones asignadas. La determinación del índice de productividad (IP), tiene como objetivo establecer comparaciones entre las capacidades de producción de los distintos tipos de tierras presentes en un área, cuya escala de valores va de 1 a 100. Para acceder al mismo se emplea en primer término una fórmula multiplicativa, que establece el IP de cada uno de los suelos. En la integración de la fórmula matemática intervienen diez parámetros o factores que ha sido seleccionados de acuerdo con su

incidencia en el crecimiento y rendimiento de cultivos, pasturas y forestales más comunes de la región.

3. Métodos de Evaluación Cuantitativa

Los sistemas anteriormente mencionados, trabajan basándose en datos recolectados para unidades de mapeo. Hoy en día se recogen muchos datos puntuales en el espacio y el tiempo, que permiten realizar estimaciones cuantitativas de la relación entre suelos y uso, especialmente para la relación entre la productividad y los factores edáficos, climáticos y de manejo. Para ello se han desarrollado una gran cantidad de modelos de simulación, basados en el concepto de sistemas analíticos.

Los modelos, en general, requieren de mucha información sobre el nivel de manejo de cada cultivo y las especificaciones de los insumos dentro de estos. El rendimiento está estimado sobre la base de promedios de largo plazo y considerando su variabilidad. Otro uso de los modelos es el de predecir la respuesta de las cualidades del suelo.

La principal limitación de estos modelos es que requieren datos muy detallados y que a menudo han sido probados en áreas muy específicas. Sin descartar su importancia, estos no son siempre aplicables por falta de conocimiento e información cuantificada, siendo su ventaja principal la posibilidad de estimar la producción de cualquier cultivo en cualquier lugar, previa calibración y validación. Se pueden citar los siguientes:

3.1. Modelo de evaluación de tierras (ALES).

Es un sistema automatizado de evaluación de tierras (Automated Land Evaluation System) (Rossiter *et al.*, 1995) facilitó la elaboración de los modelos con la información ecológica, económica y de relaciones clima-suelo-planta disponible. Es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras construir “sistema experto” para sus evaluaciones, de acuerdo al Esquema de FAO. Está diseñado para su uso en evaluación de tierras tanto a escala regional como local.

3.2. Modelos de balance hídrico (CROPWAT).

Es un modelo implementado para calcular las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego a partir de información del clima, del suelo y de las especies cultivadas, que fue desarrollado por la FAO.

3.3. Modelos de erosión (EPIC).

Es un modelo mecanicista (Erosion Productivity Impact Calculator) usado para simular el efecto a largo plazo de varios componentes de la erosión de suelos sobre la producción de los cultivos (Steiner *et al.*, 1987). El modelo tiene varios componentes: erosión de suelo, aspectos económicos, hidrológicos, climáticos y nutrientes, la dinámica de crecimiento de plantas y manejo del cultivo.

3.4. Modelos de crecimiento de cultivos (WOFOST).

Es un modelo basado en la fisiología de las plantas (fotosíntesis y respiración), para predecir rendimientos bajo diferentes niveles de producción (los niveles corresponden a diferentes tipos de uso de la tierra), de acuerdo a limitaciones por: radiación y temperatura, por agua, por nitrógeno, por nutrientes diferentes al nitrógeno y por enfermedades, malezas, etc.

3.5. Modelos de crecimiento de cultivos (CROPSYST).

Es un modelo desarrollado para estudiar el efecto de los sistemas de manejo de los cultivos en la productividad y el medio ambiente. Simula el balance de agua del suelo, del nitrógeno en el sistema suelo-planta, el dosel del cultivo y el crecimiento de la raíz, la producción de la materia seca, el rendimiento, la producción y descomposición de residuos, y la erosión.

3.6. Modelos de crecimiento de cultivos (CERES-maíz).

Es un modelo predictivo, determinístico, diseñado para simular el crecimiento del maíz de acuerdo a la dinámica del agua, de la temperatura y del nitrógeno, a escala de campo, para una estación de crecimiento. Se relaciona a otros modelos, como el modelo CERES-trigo. Se usa para aplicaciones básicas y de investigación para estudiar los efectos del clima (régimen térmico e hídrico) y manejo (prácticas de fertilización y riego) en el crecimiento y rendimiento de maíz. También se usa para evaluar las prácticas de fertilización del nitrógeno en la fijación y lixiviación de éste y en investigación del cambio global (temperatura, precipitación y eficacia de uso de agua debido al aumento del CO₂). El modelo está bien documentado (Jones y Kiniry, 1986).

Anejo 3

Clasificación de suelos según USBR

Tabla 1. Clases para evaluar la idoneidad de los suelos para soportar riego, según USBR

CLASE	DENOMINACIÓN	EVALUACIÓN
I	Arable	<ul style="list-style-type: none"> • Muy adecuada para el riego. • Nivel más alto de aptitud. • Producciones altas dentro del intervalo climatológico a un coste razonable.
II	Arable	<ul style="list-style-type: none"> • Conveniente para el riego. • Exige Seleccionar los cultivos. Mayores gastos para producir.
III	Arable	<ul style="list-style-type: none"> • Marginalmente apta para riego. • Deficiencias importantes. Restringido número de cultivos.
IV	Limitadamente Arable	<ul style="list-style-type: none"> • Usos restringidos. Requieren estudios complementarios para verificar si son regables. • Puede ser regable para usos especiales (en ciertos casos frutales). • Clase provisional que agrupa los suelos de aptitud dudosa para ser transformados.
V	No arable	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere estudios posteriores.
VI	No transformable	<ul style="list-style-type: none"> • No cumple las condiciones mínimas exigidas. La capacidad de pago estimada. • se hace menor que los costes previstos de la transformación.

Tabla 2. Especificaciones generales para la clasificación de las tierras según USBR,1953

CARACTERÍSTICAS	CLASE I Arable	CLASE II Arable	CLASE III Arable	CLASE IV Limitadamente Arable	CLASE V No Arable	CLASE VI No transformable
SUELOS						
Textura superficial 0-30 cm	Franco arenosa a franco arcillosa	Arenosa franca a arcillosa muy permeable	Arenosa franca a arcillosa permeable	Arenosa franca a arcillosa	Arenosa franca a arcillosa	Comprende tierras que no tienen los requisitos mínimos de las anteriores.
Profundidad efectiva	100	75-100	50-75	25-50		Suelos superficiales o muy pedregosos. Subsuelos impermeables.
Capacidad de retención de agua a 120 cm CRAD mm	150	112-150,0	75,0-112,5	62,5-75,0		
Conductividad hidráulica en campo cm h-1	0,5-12,5	0,125-12,5	0,125-25	Cualquiera		
Caliza %	< 35	35-50	50-65	> 65		
Elementos gruesos V % permitidos						
grava %	15	35	55	70		
cantos %	5	10	15	35		
Afloramientos rocosos (separación entre ellos en m)	60	30	15	9		
Sodicidad ESP %	< 5	5-15	15-25	25-35		
Salinidad dS/m a 25°C	< 4	4-8	8-12	12-16		
Gravedad del problema	Ligera	Moderada	Moderada	Moderada		

Fuente: USBR (1953).

Anejo 4

Denominación de suelos según parámetros de evaluación

Tabla 1. Parámetros y métodos empleados para la evaluación de suelo.

PARÁMETRO	UNIDAD	TÉCNICA	REFERENCIA DEL MÉTODO
Textura	% Fracción	Densímetro de Bouyoucos	USDA 3.2**
Pasta saturada	-	-	No. 2*
pH	Ud. pH	Electrometría	No. 21c*
CE extracto	dS/m	Electrometría	No. 4c*
CO ₃	% CaCO ₃	Calcímetro de Bernard	UNE 103200:1993***
Sodio	meq/l	Fotometría de llamas	USDA 6P1****
Calcio	meq/l	Fotometría de llamas	2018
Potasio	mg/l	Fotometría de llamas	USDA 6Q1****
Sulfato	meq/l	Espectrometría de absorción atómica	2018
Magnesio	meq/l	Valoración EDTA	2018
Cloruros	meq/l	Titulación AgNO ₃	USDA 6K1a
RAS	-	Cationes y aniones	*
PSI	%	Cationes y aniones	*
Carbonatos	meq/l	Titulación H ₂ SO ₄	USDA 6I1a****
Bicarbonatos	meq/l	Titulación H ₂ SO ₄	USDA 6J1****

Fuente: * (Richards, 1954); ** (Soil Survey Staff, 2009); *** (AENOR, 1993) y **** (Soil Survey Staff, 2004)

Tabla 2. Denominación de los suelos según el pH

pH	Denominación de los suelos
3 - 4.5	Suelos extremadamente ácidos
4.5 - 5	Suelos fuertemente ácidos
5 - 5.5	Suelos muy ácidos
6 - 6.75	Suelos débilmente ácidos
6.75 - 7.25	Suelos neutros
7.25 - 8.5	Suelos básicos o alcalinos
>8.5	Suelos muy alcalinos

Fuente: García et al. (2004).

Tabla 3. Denominación de los suelos según CEe

Denominación de los suelos	CEe (dS/m)
Normal	0 - 2
Ligeramente salino	2 - 4
Medianamente salino	4 - 8
Fuertemente salino	8 - 16
Muy fuertemente salino	> 16

Fuente: Porta et al., (2003).

Tabla 4. Denominación de los suelos según el PSI

Denominación de los suelos	PSI (%)
No sódicos	<7
Ligeramente sódicos	7 - 10
Medianamente sódicos	11 - 20
Fuertemente sódicos	21 - 30
Excesivamente sódicos	>30

Fuente: Raj et al., (2010)

Tabla 5. Porcentajes de caliza total en los suelos y su influencia en los cultivos

Caliza Total en %	Observaciones
< 15%	En general no presentan problemas.
15-35 %	No afecta a muchos cultivos, pero se recomienda conocer el contenido de caliza activa, puede afectar en algunos casos.
>35%	Puede afectar la productividad de muchos cultivos. Se recomienda conocer el contenido en caliza activa.

Fuente: Garrido, 1994.

Tabla 6. Niveles de Materia Orgánica (%), según el tipo de textura del suelo bajo riego

Contenido de Materia Orgánica en suelos	Arenoso	Franco	Arcilloso
Muy Bajo	< 0.7	< 1.0	< 1.2
Bajo	0.7 - 1.2	1.0 - 1.5	1.2 - 1.7
Normal	1.2 - 1.7	1.5 - 2.0	1.7 - 2.2
Alto	1.7 - 2.2	2.0 - 2.5	2.2 - 3.0
Muy Alto	> 2.2	> 2.5	> 3.0

Fuente: Martínez y Andrades, 2014.

Anejo 5

Suelos salinos y sódicos

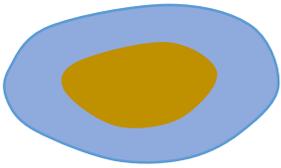
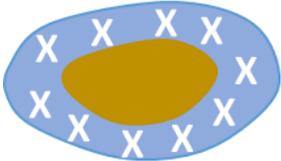
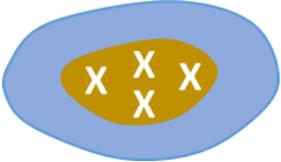
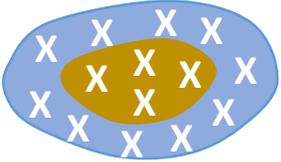
Tabla 1. Conceptos de procesos de formación de los suelos salinos y sódicos

Salinización	La salinización es el proceso inicial que provoca la acumulación paulatina de sales en el perfil del suelo, principalmente por la evaporación que sufre el agua de este (zonas secas) o cuando no se logra drenar adecuadamente las aguas superficiales y subterráneas del mismo. Los sulfatos y carbonatos de calcio son menos solubles por lo que se acumulan más lentamente.	El proceso de salinización consiste en la concentración de sales más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cuya solubilidad es de 2.41 g/l, en los horizontes o capas del perfil del suelo. Las principales sales solubles encontradas en los suelos salinos son cloruros, sulfatos y bicarbonatos de Na^+ , Ca^{+2} , y Mg^{+2} . En menor cantidad podemos encontrar potasio (K^+), Amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-}).
Sodificación	Este es el término usado por la Soil Science Society of América para procesos pedogénicos, la sodificación es el “proceso por el cual aumenta el contenido de sodio intercambiable gracias al intercambio de sodio de las sales de la solución por otros cationes del complejo absorbente”. Este proceso de forma paulatina no necesariamente produce incremento en el pH.	Pase de Na^+ en forma de ion soluble para el complejo de intercambio, comienza a tener importancia cuando este catión constituye la mitad o más de los cationes solubles de la solución del suelo. En estas condiciones los iones de Ca^{+2} y Mg^{+2} , por ser menos solubles, precipitan cuando la solución del suelo se concentra en consecuencia de evapotranspiración, quedando el Na^+ , prácticamente como un único catión presente en la solución. Por este motivo, el Na^+ a pesar de tener menor poder de cambio, logra desplazar los otros cationes por acción de masa.
Alcalinización	Al acumularse las sales en los suelos, se establece un equilibrio inicial entre los iones cargados positivamente en la solución y los absorbidos en los coloides del suelo. Como las sales de sodio se concentran más en la solución del suelo, se absorben mayores cantidades de este catión. Al aumentar el porcentaje de sodio intercambiable y acumularse carbonato de sodio, puede ocurrir hidrolisis del Na^+ intercambiable o la formación de Na_2CO_3 , lo que produce un incremento del pH hacia valores cerca de 10. Bajo estas condiciones, se produce la dispersión de arcillas y de la materia orgánica.	La movilización de la materia orgánica en solución da lugar a la formación de eflorcencias negras en la superficie del suelo. En las clasificaciones antiguas estos procesos recibían el nombre de Alkali negro.
Desalinización	La desalinización es el proceso por el que se lavan las sales solubles que se han acumulado en los suelos.	Generalmente, cuando las sales se han extraído en su mayor parte, los coloides tienden a dispersarse y a disminuir la permeabilidad del suelo .

Tabla 1. (Continuación) Conceptos de procesos de formación de los suelos salinos y sódicos

TERMINO	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Solotización	La solotización, también denominada degradación, inicialmente remueve el sodio intercambiable del horizonte A, permaneciendo el B todavía sódico, y puede llegar a quitar el sodio de todo el perfil, resultando en perfiles no salinos y no sódicos. Si el suelo está sujeto a una desalinización y no contiene yeso o calcio, no existen bases para reemplazar al sodio, después de que se han extraído las sales solubles, el sodio intercambiable tiende a hidrolizarse y formar hidróxido de sodio y en el complejo de cambio este catión es reemplazado por el hidrógeno.	El hidróxido de sodio reacciona fácilmente con el anhídrido carbónico del aire, formando carbonato de sodio. Cuando se produce un lavado intenso de estos suelos, puede haber una eliminación del carbonato de sodio y el hidrogeno del complejo absorbente es reemplazado por el sodio, produciéndose un descenso del pH. Generalmente los suelos alcalinos degradados presentan un pH menor a 6.

Fuente: Elaboración propia en base a: Orsag (2010); Raj et al. (2016); Hervé et al. (2002); USSL Staff, (1954) y Eynard et al. (2005).

DENOMINACIÓN DEL SUELO	IDENTIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN DE LAS SALES	EFECTOS	RECUPERACIÓN
Normal	pH < 8.5 CEe < 2 dS/m PSI < 7%		-	-
Salino	pH < 8.5 CEe > 4 dS/m PSI < 15% Procesos: Salinización		Las sales disueltas afectan los cultivos y no a las propiedades del suelo. Dificultan la absorción de agua y nutrientes y provocan toxicidad.	Lavado de sales
Sódico	pH > 8.5 CEe < 4 dS/m PSI > 15% Procesos: Sodificación		El sodio adsorbido afecta a las propiedades del suelo, destruyendo su estructura. En general no afecta a los cultivos, aunque algunos experimentan toxicidad.	1.- Mejor química (aporte de cal). 2.- Lavado de sales.
Salino - sódico	pH > 8.5 CEe > 4 dS/m PSI > 15% Procesos: Salinización y Sodificación		Las sales disueltas evitan la pérdida de estructura. Los efectos de este suelo son iguales que los de los suelos salinos.	1.- Mejor química. 2.- Lavado de sales.

Descripción

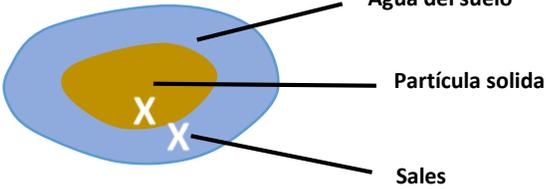


Figura 1.- Denominación del suelo según localización de las sales. (Fuente: Pizarro. (1985) y Otero et al., (2007), modificado).

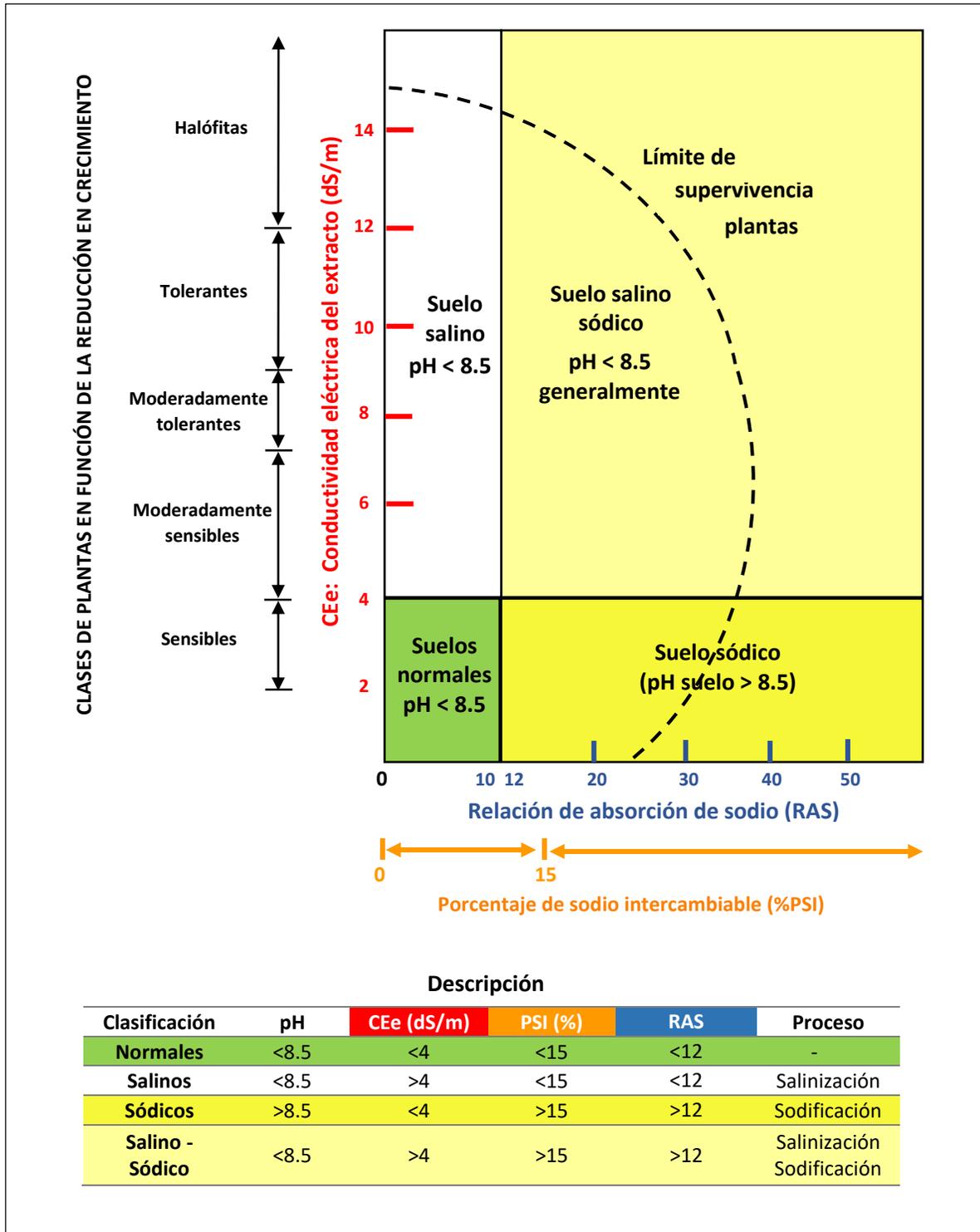


Figura 2.- Ilustración de la clasificación de suelos afectados por sales, de acuerdo con los parámetros básicos. (Fuente: Brady y Weil. (2002), modificado).

Anejo 6

Climatología y usos de tierras en las zonas de estudio

Anejo 6: Climatología y usos de tierras en las zonas de estudio

Tabla 1. Climatología de la zona de estudio pertenecientes a los Municipios de Alicante

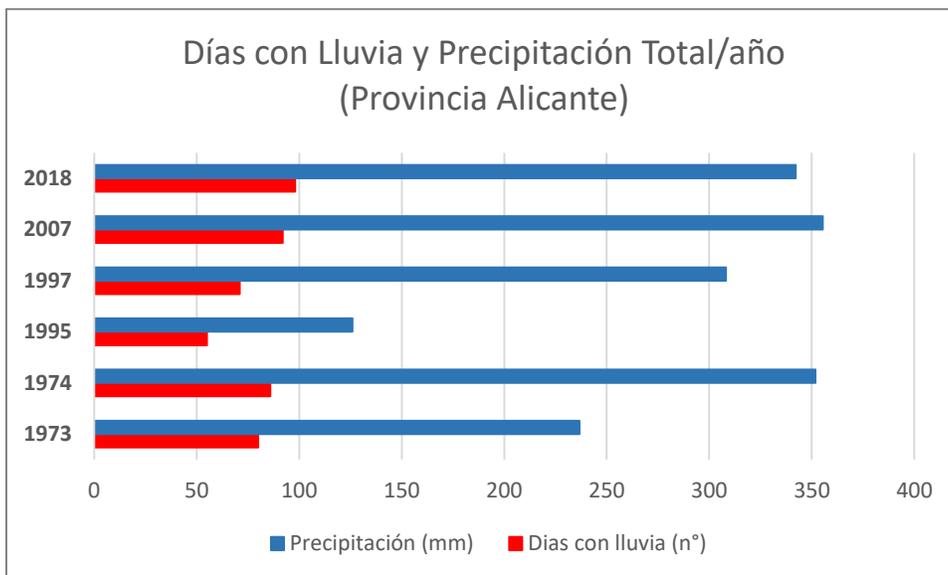
Municipio	Altitud (metros)	Pendiente (%)	Pluviometría anual (mm)	ETP anual	Temperatura media de mínimas del mes más frío (°C)	Temperatura media anual (°C)	Temperatura media de máximas del mes más cálido (°C)	Factor R (Erosividad de la lluvia)	Índice de Turc en regadío	Índice de Turc en seco	Duración período frío o de heladas (nº meses)	Duración período seco (nº meses)
Algorfa	99	7,75	308	901	6,00	17,80	31,60	108	55,8962	8,2052	1,9500	6,7914
Almoradí	88	2,04	298	900	6,00	17,80	32,10	100	55,3898	8,1316	2,0000	6,8850
Benejúzar	94	9,29	303	895	5,70	17,50	31,90	104	55,2224	8,0708	2,0000	6,7762
Benijófar	93	5,27	314	898	6,40	17,90	31,50	107	56,0956	8,3906	1,2500	6,9153
Bigastro	89	5,16	300	891	5,40	17,40	32,20	100	54,0922	8,0417	2,6667	6,8917
Jacarilla	93	6,42	306	899	5,60	17,50	31,90	107	55,1874	8,0958	2,0000	6,7562
Los Montesinos	88	3,80	308	921	6,20	18,20	31,50	116	56,7658	8,3144	1,7273	6,8186
Orihuela	141	10,80	305	905	5,40	17,70	32,20	101	55,8632	8,3297	2,5323	6,8940
Rojales	82	5,90	309	890	6,50	17,80	31,40	105	56,1490	8,4973	1,1154	7,0342
San Miguel de Salinas	117	8,56	326	921	6,10	18,10	31,20	126	56,8775	8,4895	1,7778	6,4829

Fuente: Sistema de información geográfica de datos agrarios (SIGA, 2019)

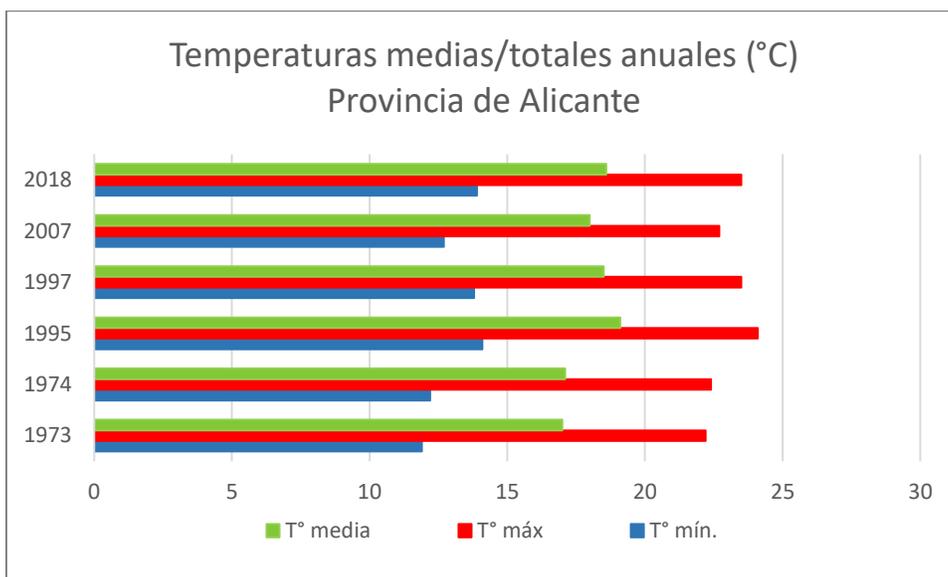
Tabla 2. Uso de tierras (superficie en Has) de zona de estudio - Alicante

Municipio	Agua (masas de agua, balsas, etc..)	Cítricos en regadío	Coníferas	Cultivos herbáceos en regadío	Frutales en regadío	Frutales en seco	Huerta o cultivos forzados	Labor en seco	Improductivo	Matorral	Matorral asociado con coníferas	Otros	SUPERFICIE TOTAL
Algorfa	48.69	962.61	259.87	309.93	13.04	-	2.19	-	92.68	144.1	6.54	-	1839.65
Almoradí	53.52	1212.55	49.32	897.5	-	-	-	-	254.88	27.39	-	4.42	2499.58
Benejúzar	29.61	490.39	299.9	29.88	3.15	-	-	-	81.54	0.03	-	-	934.5
Benijófar	13.34	125.8	-	151.61	-	-	-	57.67	57.25	23.94	5.04	-	434.65
Bigastro	8.39	282.82	-	-	-	0.17	-	-	95.78	22.2	-	-	409.36
Jacarilla	34.56	935.32	6.76	118.56	2.56	-	-	-	61.71	41.14	22.38	0.1	1223.09
Los Motesinos	96.34	2184.8	11.44	704.81	76.14	-	14.28	-	115.54	73.99	3.04	-	3280.38
Orihuela	1177.3	12535.3	2856.26	4607.93	1531.67	3110.53	47.71	630.91	2498.95	3681.92	3330.82	607.2	36616.5
Riojales	58.85	970.56	110.63	604.04	-	-	-	67.12	557.71	382.19	-	-	2751.1
San Miguel de Salinas	110.45	1747.81	1271.29	511.59	351.18	619.61	37.99	63.05	238	459.23	2.6	73.02	5485.82
Total	1631.05	21448	4865.47	7935.85	1977.74	3730.31	102.17	818.75	4054.04	4856.13	3370.42	684.7	55474.63

Fuente: Sistema de información geográfica de datos agrarios (SIGA, 2019)



*Figura 1: Días con lluvia y precipitación total/año
(Fuente: SIGA. Estación meteorológica: 83600 (LEAL), 2019. Modificado).*



*Figura 2: Temperaturas medias totales/anuales
(Fuente: SIGA. Estación meteorológica: 83600 (LEAL), 2019. Modificado).*

Anejo 7

Proceso de la metodología de trabajo

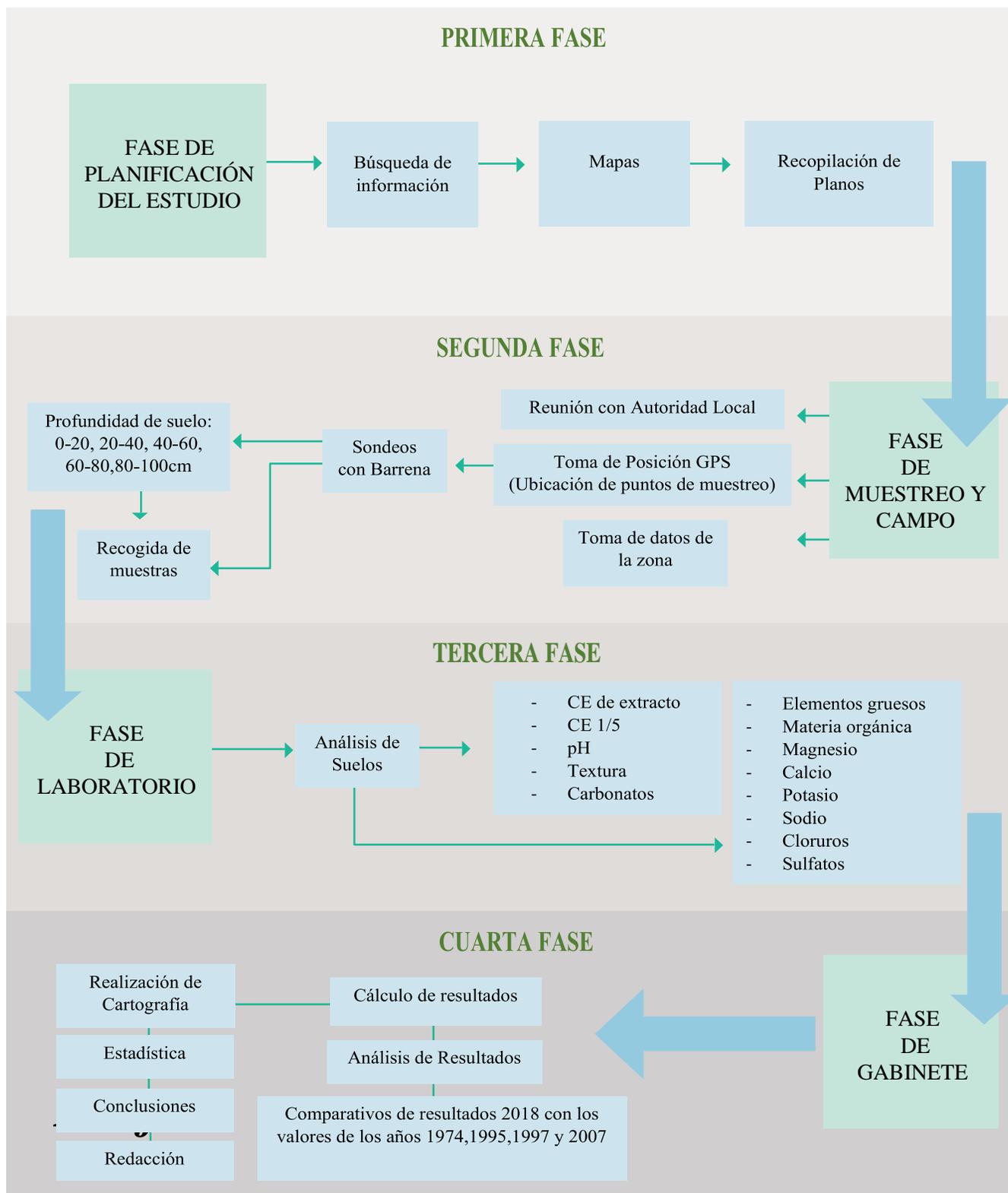


Figura 1.- Esquema de la metodología de trabajo (elaboración propia).

Anejo 8

Fase de planificación del estudio



Figura 1.- Recopilación de mapas y planos de la zona de la Pedrera.



Figura 2.- Ubicación de los puntos de muestreo.

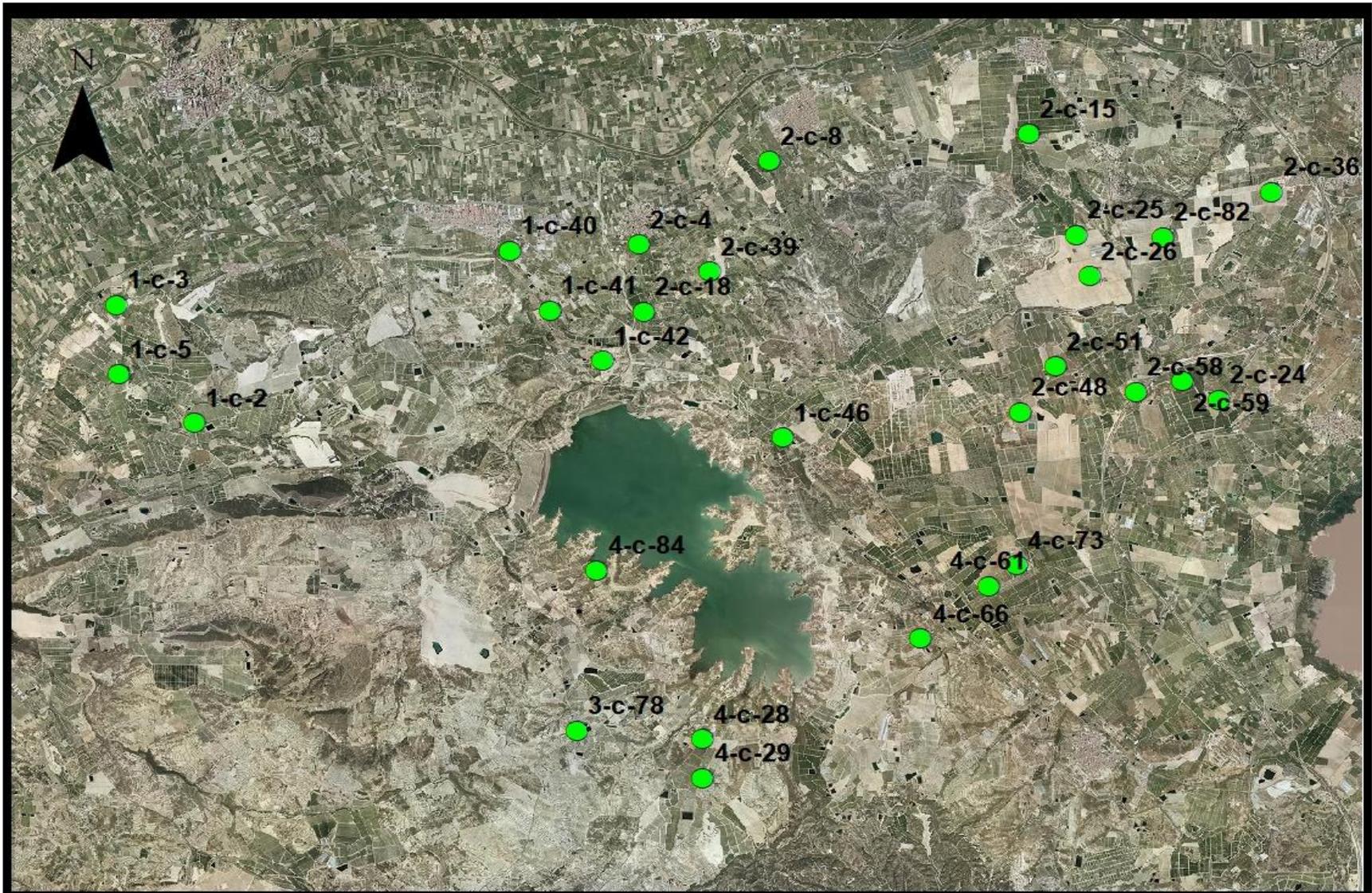


Figura 3.- Mapa de localización de los puntos de muestreo.

Anejo 9

Fase de muestreo y campo

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CALICATAS

COMARCA La Pedrera MUNICIPIO Benijófar FECHA 05/02/19 AUTOR Javier Zuzunaga	HOJA X= 678846,51 UTM Y= 4213304,6 HUSO 30s ALTITUD	CALICATA 173 2-C-36 VUELO ESCALA Nº FOTOS		
LOCALIZACIÓN Entre Limoneros (Limónfano) (Riego a Manta)		FOTOS MUESTRA <input type="checkbox"/> Muestra de agua <input checked="" type="checkbox"/> Muestra de suelo		
POSICIÓN FISIAGRÁFICA <input type="checkbox"/> Monte Escarpado <input type="checkbox"/> Meseta <input checked="" type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Terraza fluvial <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depresión <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Llanura <input type="checkbox"/> Otro...	TOPOGRAFÍA DE TERRENO <input type="checkbox"/> Plano o llano <input checked="" type="checkbox"/> Ondulado <input type="checkbox"/> Fuertemente ondulado <input type="checkbox"/> Colinado <input type="checkbox"/> Fuertemente socavado <input type="checkbox"/> Montañoso	PENDIENTE GENERAL LUGAR <input type="checkbox"/> < 2% <input checked="" type="checkbox"/> < 2% <input checked="" type="checkbox"/> 2-6% <input type="checkbox"/> 2-6% <input type="checkbox"/> 6-13% <input type="checkbox"/> 6-13% <input type="checkbox"/> 13-25% <input type="checkbox"/> 13-25% <input type="checkbox"/> 25-55% <input type="checkbox"/> 25-55% <input type="checkbox"/> > 55% <input type="checkbox"/> > 55%	MATERIAL GEOLÓGICO <input type="checkbox"/> Caliza <input type="checkbox"/> Arenisca <input type="checkbox"/> Marga <input type="checkbox"/> Coluvión <input type="checkbox"/> Alivión <input type="checkbox"/> Yeso <input type="checkbox"/> Arcilla <input type="checkbox"/> Otro... (Mapa Geológico)	
COBERTURA VEGETAL <input checked="" type="checkbox"/> < 10% <input type="checkbox"/> 10-25% <input type="checkbox"/> 25-50% <input type="checkbox"/> > 50%	FORESTAL <input type="checkbox"/> Monte bajo <input type="checkbox"/> Otro... <input type="checkbox"/> Arbolado <input type="checkbox"/> Repoblación <input type="checkbox"/> Incendio reciente <input type="checkbox"/> Incendio regenerado	CULTIVO <input type="checkbox"/> Secano Leñosos <input type="checkbox"/> Otro... <input type="checkbox"/> Secano Herbáceos <input type="checkbox"/> Regadío Herbáceos <input checked="" type="checkbox"/> Regadío Leñosos → Limoneros <input type="checkbox"/> Abandonado	PEDREGOSIDAD <input checked="" type="checkbox"/> < 10% <input type="checkbox"/> 10-25% <input type="checkbox"/> 25-50% <input type="checkbox"/> > 50%	AFLORAMIENTOS ROCOSOS <input checked="" type="checkbox"/> < 10% <input type="checkbox"/> 10-25% <input type="checkbox"/> 25-50% <input type="checkbox"/> > 50%
EROSIÓN <input type="checkbox"/> Geológica <input type="checkbox"/> Roca desnuda <input type="checkbox"/> Edáfica <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Otro...	TIPO <input type="checkbox"/> Laminar <input type="checkbox"/> Surcos moderada <input type="checkbox"/> Surcos grave <input type="checkbox"/> Cárcavas	MEIDAS DE CONSERVACIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Terrazas <input checked="" type="checkbox"/> Bien conservado <input type="checkbox"/> Bancales <input type="checkbox"/> Degradado <input type="checkbox"/> Otras <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Cultivado	PROF. SUELO <input type="checkbox"/> < 25 cm <input type="checkbox"/> 25-50 cm <input type="checkbox"/> 50-75 cm <input checked="" type="checkbox"/> 75-150 cm → <input type="checkbox"/> > 150 cm	
TRUNCAMIENTO PERFIL <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	SALINIZACIÓN <input checked="" type="checkbox"/> No hay <input type="checkbox"/> Manchas <input type="checkbox"/> Otro...	C. FREÁTICA <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	PROFUNDIDAD <input type="text"/>	
OBSERVACIONES / Suelo desnudo, pero la cobertura de ceja es total 80% / El Riego es a manta. * Sondeos → 100cm, pero puede ser más profundos * El campo del lado es congeteo.				

Figura 1.- Ficha de campo para descripción de calicatas.



Figura 2.- Extracción de muestra de suelo en campos de cultivo de alcachofa (calicata 2-c-58), utilizando barrena Eijelkamp



Figura 3.- Campos de cítricos bajo riego (calicata 2-c-24)



Figura 4.- Extracción de muestra de suelo en cultivos de cítricos con sistema de riego por inundación (calicata 2-c-36)



Figura 5.- Campos de cultivo de mandarina con cubierta vegetal (calicata 2-c-4)



Figura 6.- Explotación citrícola con problemas de erosión en surcos



Figura 7.- Toma de muestra de (calicata 1-c-46)

Anejo 10

Fase de Laboratorio



Figura 1.- Muestras secándose y tamizadora



Figura 2.- Tamizado y secado de las muestras



Figura 3.- Determinación de textura (método de Bouyoucos)



Figura 4.- Preparación de pasta saturada, y extracción de sales después de 24 horas mediante embudo de Büchner



Figura 5.- Determinación volumétrica de Magnesio (fig. izq.), y Determinación de cloruro (fig. dcha.).



Figura 6.- Determinación de soido y potasio (fig. izq.), y Determinación de sulfato (fig. dcha.).



Figura 7.- Determinación de pH (fig. izq.), y Determinación de CE (fig. dcha.).



Figura 8.- Determinación de humedad y materia orgánica (fig. izq.), y Determinación de carbonatos (fig. dcha.).

Anejo 11

Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos

Anejo 11: Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos

Parámetros	0-20 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máx.	Min.
Elementos gruesos (%)	1.2	0.5	1.6	1.4	7.7	0.0
Elementos finos (%)	98.8	99.5	1.6	0.0	100.0	92.3
Materia orgánica (%)	2.6	2.5	0.7	0.3	4.9	1.5
Caliza o Carbonatos (%)	43.1	43.4	7.5	0.2	54.5	23.9
Arcilla %	30.6	29.0	7.2	0.2	46.0	19.0
Limo %	36.6	38.0	9.0	0.2	55.0	17.0
Arena %	32.8	34.0	14.7	0.4	64.0	11.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.7	0.7	0.4	0.5	1.6	0.3
pH (1/2,5)	8.7	8.7	0.3	0.0	9.1	7.9
CEe (dS/m)	5.6	2.7	7.3	1.3	30.8	0.7
-pHe-	7.6	7.6	0.3	0.0	8.1	6.9
meq/l (K ⁺) final	1.6	0.9	1.5	1.0	5.7	0.1
meq/l (Na ⁺) final	32.9	13.5	52.4	1.6	229.3	1.3
meq/l (Ca ⁺²) final	9.9	4.6	9.1	0.9	31.6	0.9
meq/l Mg ⁺²	19.2	13.1	21.9	1.1	96.5	0.0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7.9	7.8	2.9	0.4	13.7	0.4
Cl ⁻ (meq/l)	39.1	14.6	70.6	1.8	302.2	2.6
meq/l (SO ₄ ⁻²) final	16.9	14.2	13.6	0.8	50.6	1.3
RAS	7.3	5.3	7.2	1.0	31.0	0.5
PSI	8.0	6.1	7.8	1.0	30.8	0.0

Parámetros	20-40 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máx.	Min.
Elementos gruesos (%)	1.2	0.5	2.0	1.7	9.1	0.0
Elementos finos (%)	98.8	99.5	2.0	0.0	100.0	90.9
Materia orgánica (%)	1.9	2.0	0.5	0.3	2.8	1.1
Caliza o Carbonatos (%)	43.6	42.3	7.3	0.2	58.6	25.5
Arcilla %	30.9	31.0	7.1	0.2	44.0	16.0
Limo %	34.4	36.0	9.5	0.3	52.0	15.0
Arena %	34.7	32.0	14.9	0.4	65.0	11.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.9	0.7	0.7	0.8	3.1	0.3
pH (1/2,5)	8.6	8.7	0.3	0.0	9.0	7.9
CEe (dS/m)	3.8	2.7	3.5	0.9	14.6	0.7
-pHe-	7.7	7.6	0.3	0.0	8.1	7.1
meq/l (K ⁺) final	0.7	0.6	0.7	1.0	3.7	0.1
meq/l (Na ⁺) final	20.9	9.8	21.3	1.0	99.4	1.3
meq/l (Ca ⁺²) final	8.4	3.9	8.1	1.0	25.6	0.9
meq/l Mg ⁺²	14.7	12.7	12.3	0.8	60.1	0.0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7.7	7.1	3.3	0.4	15.7	0.6
Cl ⁻ (meq/l)	23.0	13.0	26.6	1.2	128.4	4.0
meq/l (SO ₄ ⁻²) final	14.3	8.9	11.3	0.8	45.9	1.9
RAS	5.8	4.1	4.4	0.8	16.1	0.4
PSI	6.5	4.6	5.4	0.8	18.3	0.0

Anejo 11: Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos

Parámetros	40-60 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máx.	Min.
Elementos gruesos (%)	1.2	0.6	1.7	1.5	6.9	0.0
Elementos finos (%)	98.8	99.4	1.7	0.0	100.0	93.1
Materia orgánica (%)	1.7	1.6	0.5	0.3	3.3	0.7
Caliza o Carbonatos (%)	43.0	43.1	8.4	0.2	56.0	23.2
Arcilla %	31.6	34.0	7.6	0.2	44.0	17.0
Limo %	35.9	39.0	11.3	0.3	55.0	18.0
Arena %	32.4	31.0	17.1	0.5	62.0	11.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.9	0.6	0.7	0.7	3.2	0.3
pH (1/2,5)	8.7	8.7	0.2	0.0	9.1	8.1
CEe (dS/m)	4.2	3.4	3.2	0.8	13.2	0.7
-pHe-	7.6	7.7	0.3	0.0	8.0	7.0
meq/l (K ⁺) final	0.7	0.7	0.6	0.8	2.8	0.1
meq/l (Na ⁺) final	22.8	18.2	20.0	0.9	79.9	2.2
meq/l (Ca ⁺²) final	9.7	4.5	8.8	0.9	28.5	0.9
meq/l Mg ⁺²	15.1	11.9	11.7	0.8	48.8	0.0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	6.8	7.1	3.4	0.5	19.0	0.2
Cl ⁻ (meq/l)	23.8	14.8	22.3	0.9	90.8	3.0
meq/l (SO ₄ ⁻²) final	17.6	18.1	10.4	0.6	38.4	2.2
RAS	6.5	5.2	5.0	0.8	22.3	0.9
PSI	7.3	6.0	5.8	0.8	24.0	0.0

Parámetros	60-80 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Max.	Min.
Elementos gruesos (%)	0.8	0.3	1.6	1.9	7.9	0.0
Elementos finos (%)	99.2	99.7	1.6	0.0	100.0	92.1
Materia orgánica (%)	1.5	1.5	0.5	0.3	2.8	0.6
Caliza o Carbonatos (%)	44.9	45.7	6.5	0.1	56.7	30.5
Arcilla %	32.0	35.0	9.1	0.3	48.0	15.0
Limo %	34.1	34.0	12.5	0.4	59.0	11.0
Arena %	33.9	32.0	20.0	0.6	71.0	1.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.9	0.6	0.7	0.8	3.2	0.3
pH (1/2,5)	8.7	8.7	0.3	0.0	9.1	7.9
CEe (dS/m)	4.3	3.6	2.9	0.7	11.7	0.6
-pHe-	7.5	7.6	0.4	0.0	7.9	6.6
meq/l (K ⁺) final	0.6	0.5	0.5	0.8	2.2	0.0
meq/l (Na ⁺) final	22.9	17.2	19.1	0.8	77.2	3.2
meq/l (Ca ⁺²) final	9.3	4.1	8.3	0.9	27.1	0.9
meq/l Mg ⁺²	17.2	15.8	11.5	0.7	44.2	0.0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7.7	6.9	5.6	0.7	33.3	1.0
Cl ⁻ (meq/l)	22.9	15.0	19.2	0.8	66.0	3.0
meq/l (SO ₄ ⁻²) final	18.9	17.8	10.8	0.6	40.2	3.0
RAS	6.1	4.7	4.4	0.7	16.2	1.4
PSI	6.9	5.4	5.4	0.8	18.4	0.7

Anejo 11: Resultados de analíticas 2019, según profundidad de suelos

Parámetros	80-100 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máx.	Min.
Elementos gruesos (%)	1.1	0.3	1.7	1.6	6.1	0.0
Elementos finos (%)	98.9	99.7	1.7	0.0	100.0	93.9
Materia orgánica (%)	1.5	1.5	0.4	0.3	2.1	0.7
Caliza o Carbonatos (%)	45.2	46.5	6.7	0.1	55.6	26.2
Arcilla %	31.6	32.5	8.9	0.3	45.0	14.0
Limo %	36.1	34.0	12.5	0.3	57.0	13.0
Arena %	32.3	32.0	19.8	0.6	69.0	9.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.7	0.6	0.3	0.5	1.6	0.3
pH (1/2,5)	8.8	8.7	0.2	0.0	9.2	8.2
CEe (dS/m)	4.7	3.8	2.9	0.6	11.1	0.6
-pHe-	7.4	7.5	0.4	0.1	7.9	6.2
meq/l (K ⁺) final	0.9	0.4	1.7	1.9	9.0	0.0
meq/l (Na ⁺) final	25.1	18.6	20.6	0.8	84.7	3.7
meq/l (Ca ⁺²) final	8.9	4.4	6.8	0.8	20.3	1.6
meq/l Mg ⁺²	19.6	18.0	13.1	0.7	41.5	0.5
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7.2	5.9	5.3	0.7	31.4	2.0
Cl ⁻ (meq/l)	25.6	16.6	22.8	0.9	96.4	4.2
meq/l (SO ₄ ²⁻) final	21.1	22.4	12.1	0.6	47.4	2.2
RAS	6.8	4.7	5.7	0.8	27.6	1.2
PSI	7.7	5.4	6.3	0.8	28.3	0.5

Parámetros	PERFIL 0-100 cm					
	Promedio	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máx.	Min.
Elementos gruesos (%)	1.1	0.4	1.7	1.6	9.1	0.0
Elementos finos (%)	98.9	99.6	1.7	0.0	100.0	90.9
Materia orgánica (%)	1.8	1.7	0.7	0.4	4.9	0.6
Caliza o Carbonatos (%)	43.9	43.6	7.3	0.2	58.6	23.2
Arcilla %	31.3	31.5	7.9	0.3	48.0	14.0
Limo %	35.4	35.5	10.9	0.3	59.0	11.0
Arena %	33.2	32.0	17.2	0.5	71.0	1.0
Textura	Franco arcillosa	-	-	-	-	-
CE 1:5 (dS/m)	0.8	0.6	0.6	0.7	3.2	0.3
pH (1/2,5)	8.7	8.7	0.2	0.0	9.2	7.9
CEe (dS/m)	4.5	3.3	4.3	0.9	30.8	0.6
-pHe-	7.6	7.6	0.3	0.0	8.1	6.2
meq/l (K ⁺) final	0.9	0.7	1.2	1.3	9.0	0.0
meq/l (Na ⁺) final	24.9	16.4	29.6	1.2	229.3	1.3
meq/l (Ca ⁺²) final	9.2	4.3	8.1	0.9	31.6	0.9
meq/l Mg ⁺²	17.2	13.2	14.6	0.8	96.5	0.0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7.5	7.1	4.2	0.6	33.3	0.2
Cl ⁻ (meq/l)	26.9	14.7	37.7	1.4	302.2	2.6
meq/l (SO ₄ ²⁻) final	17.7	17.7	11.7	0.7	50.6	1.3
RAS	6.5	4.8	5.4	0.8	31.0	0.4
PSI	7.3	5.5	6.1	0.8	30.8	0.0

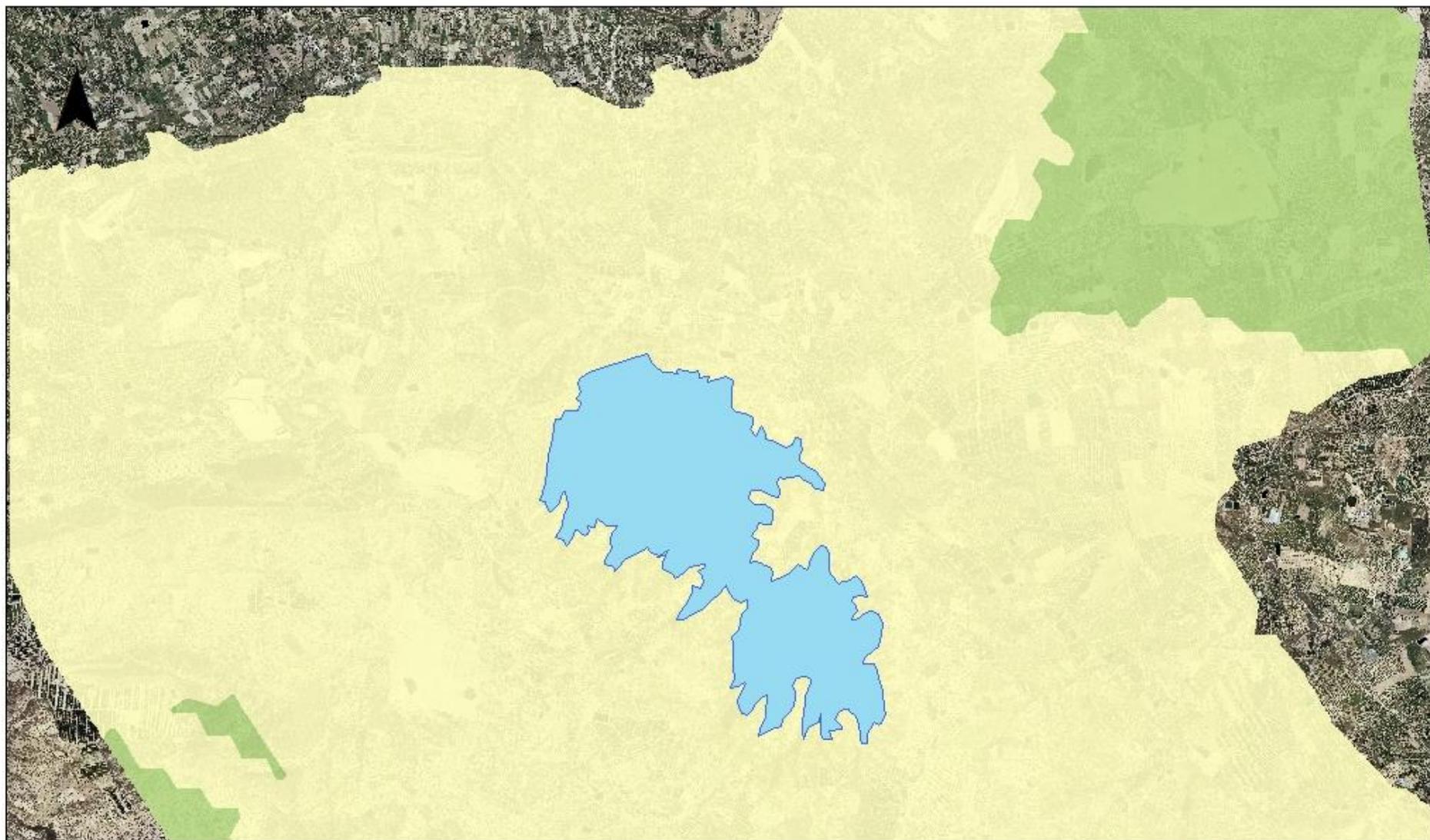
Anejo 12

Mapas de parámetros edáficos

Relación de mapas

- Materia orgánica (M.O)
- Salinidad (CEe)
- Relación de Adsorción de Sodio (RAS)
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)
- Carbonatos
- Fracción Textural Arcilla
- Fracción Textural Arena
- Fracción Textural Limo
- pH 1/2.5
- Cationes y aniones principales:
 - Bicarbonatos
 - Calcio
 - Cloruro
 - Magnesio
 - Potasio
 - Sodio
 - Sulfatos

Cada ítem contiene 5 mapas de la variable definida (0-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100 cm)



Leyenda

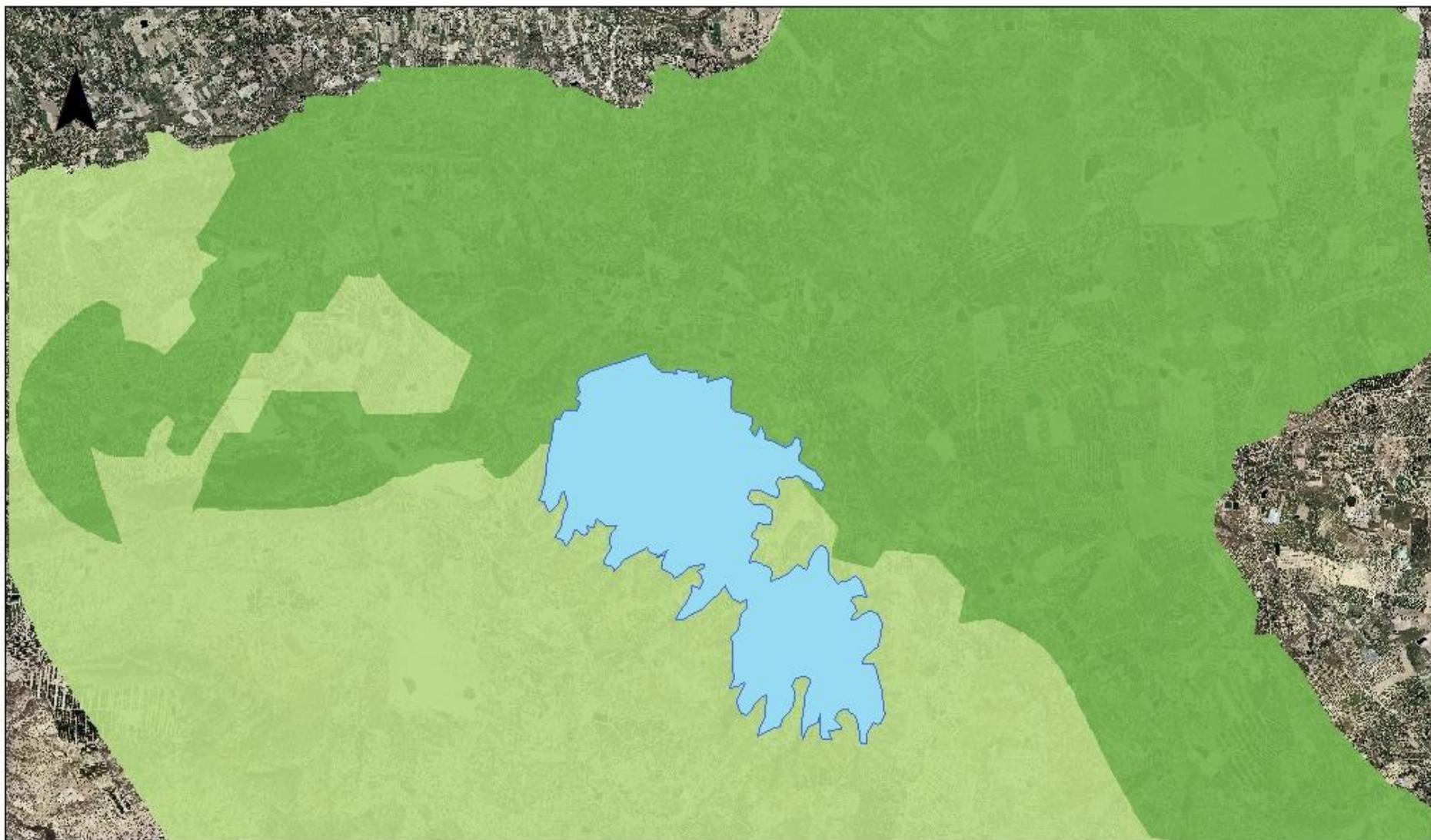
Materia orgánica %

	<1,5		2 - 2,5		3 - 3,5		>4
	1,5 - 2		2,5 - 3		3,5 - 4		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Materia orgánica del suelo
0-20 cm**



Leyenda

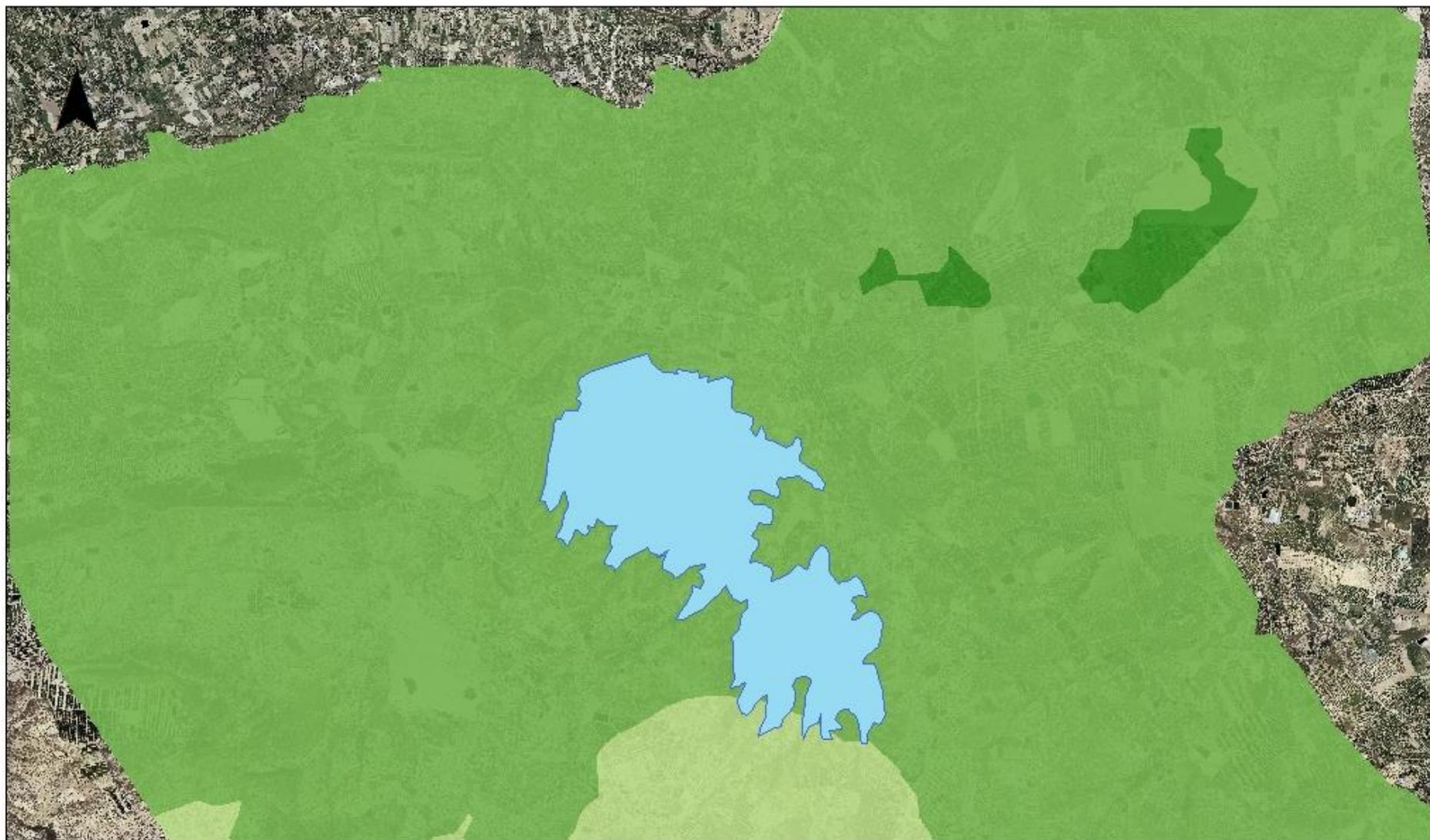
Materia orgánica %

	<1,5		2 - 2,5		3 - 3,5		>4
	1,5 - 2		2,5 - 3		3,5 - 4		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Materia orgánica del suelo
20-40 cm**



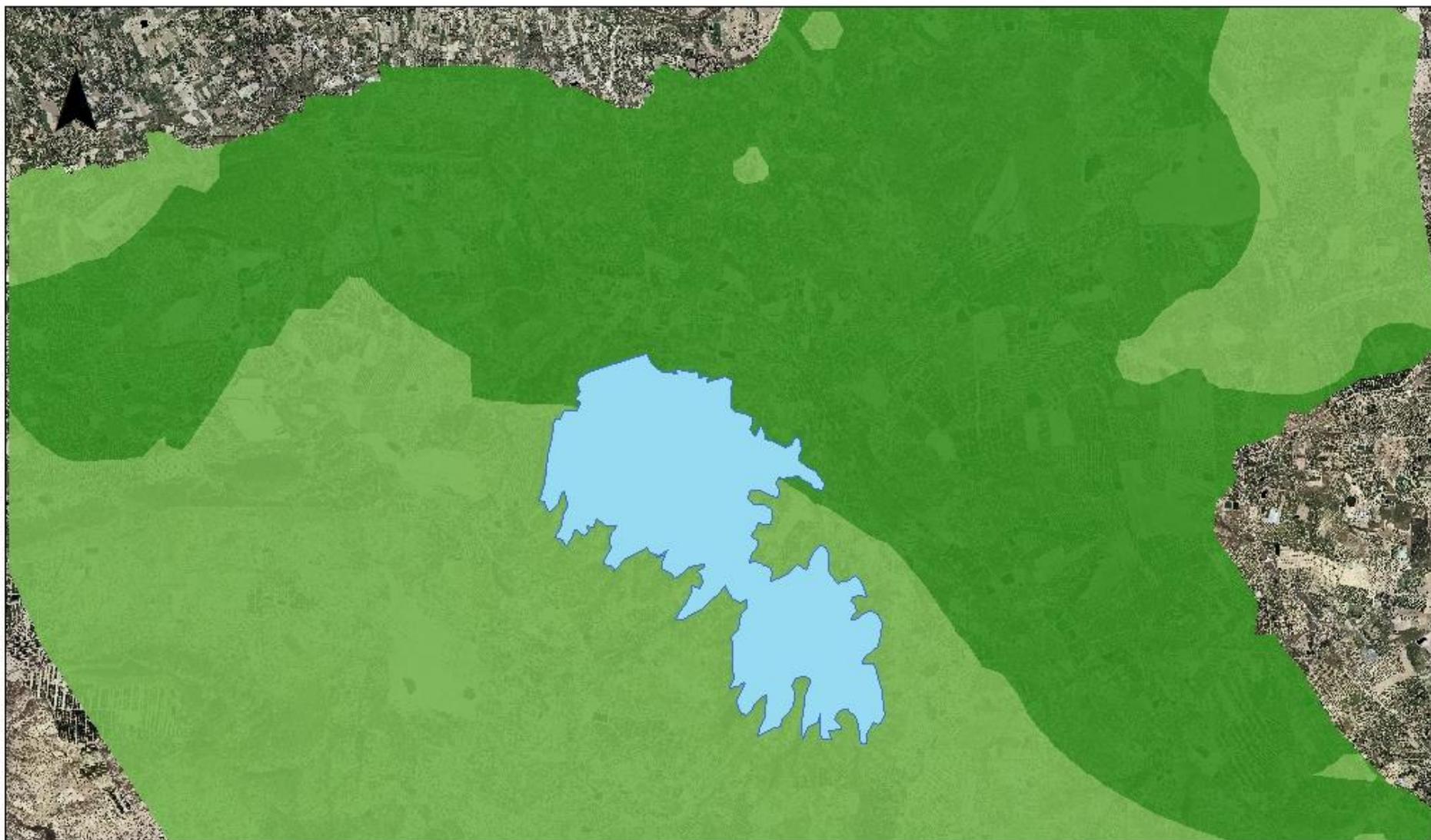
Leyenda

Materia orgánica %	<1,5	2 - 2,5	3 - 3,5	>4
				
				
	1,5 - 2	2,5 - 3	3,5 - 4	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Materia orgánica del suelo
40-60 cm



Leyenda

Materia orgánica %

	<1,5		2 - 2,5		3 - 3,5		>4
	1,5 - 2		2,5 - 3		3,5 - 4		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Materia orgánica del suelo
60-80 cm



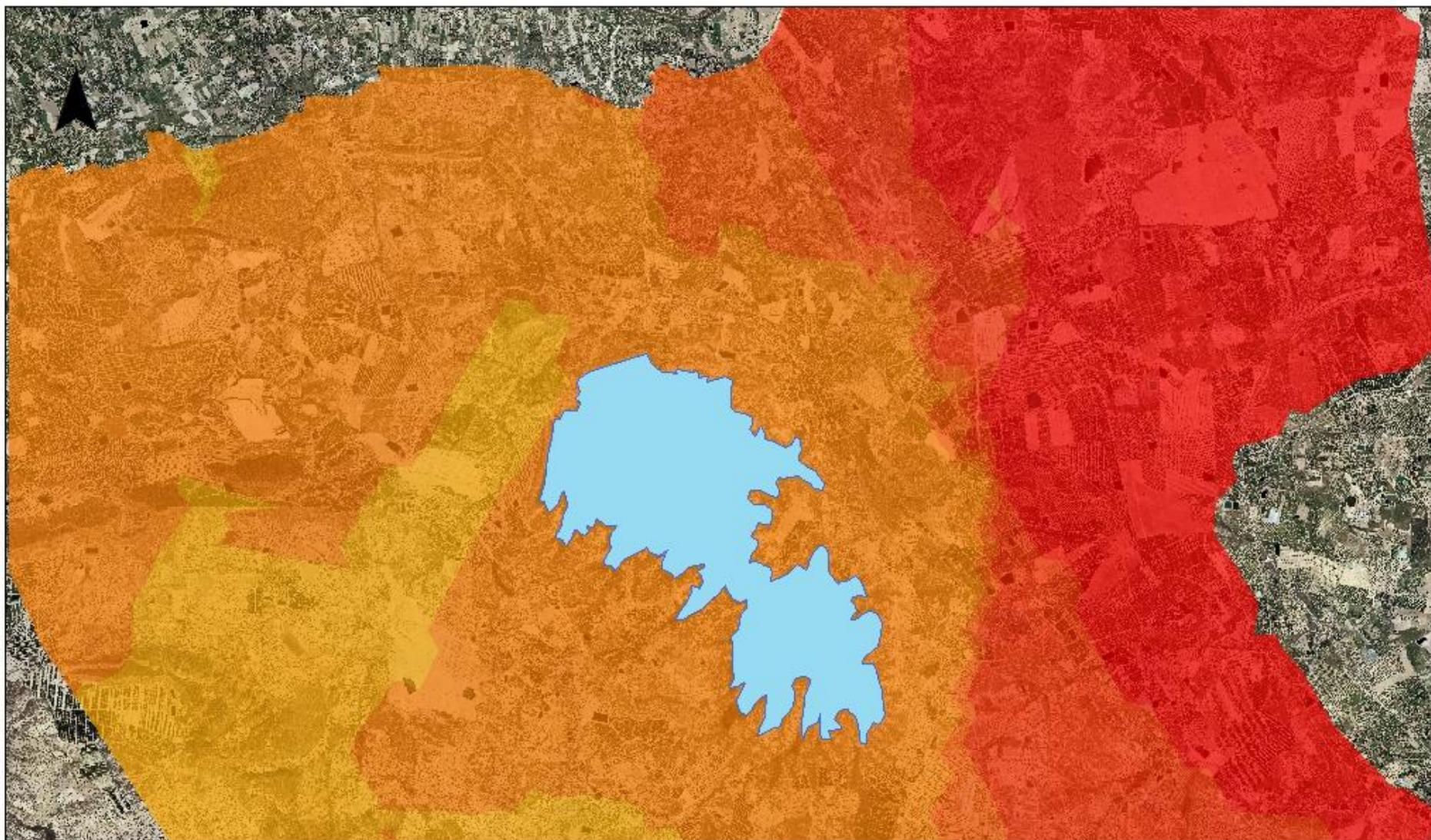
Leyenda

Materia orgánica %	<1,5	2 - 2,5	3 - 3,5	>4
				
				
	1,5 - 2	2,5 - 3	3,5 - 4	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Materia orgánica del suelo
80-100 cm



Leyenda

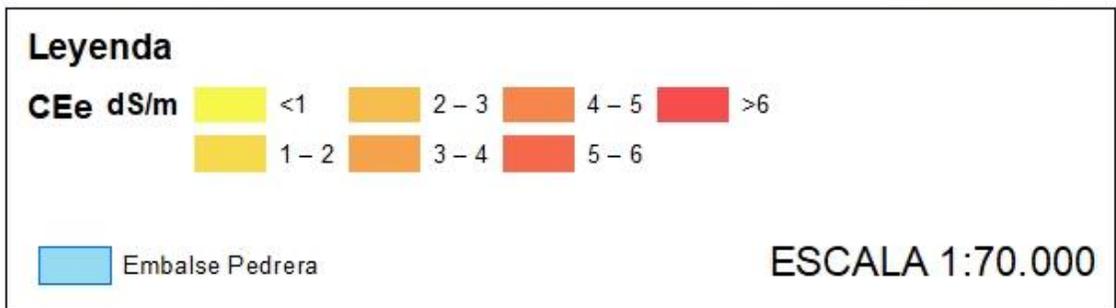
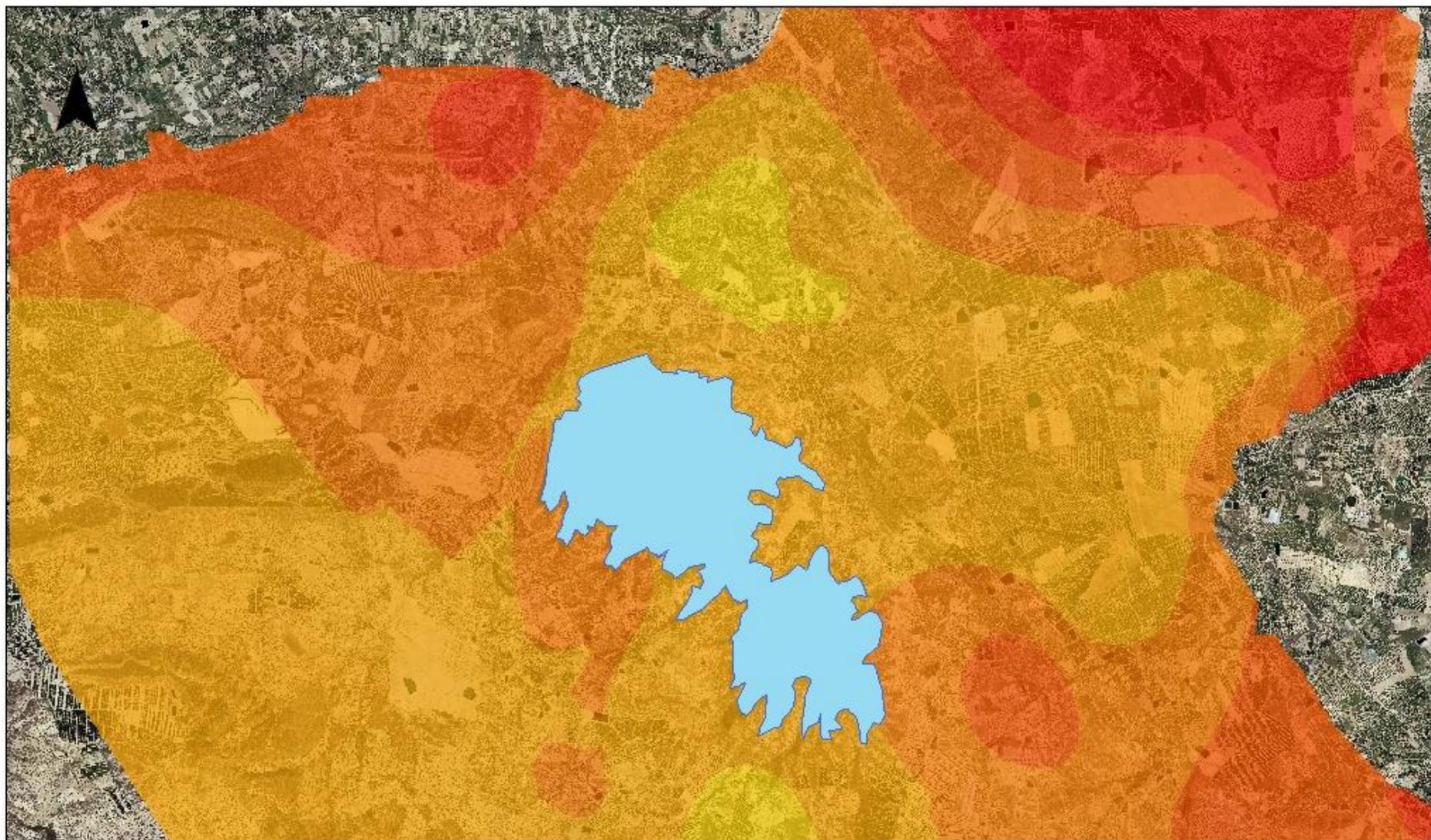
CEc dS/m

	<1		2-3		4-5		>6
	1-2		3-4		5-6		

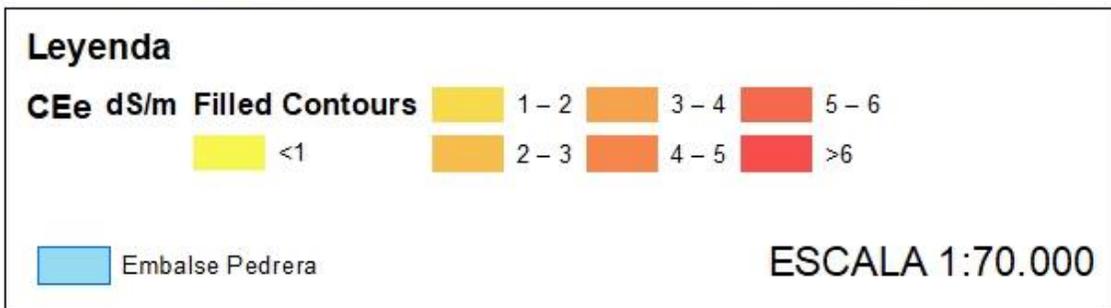
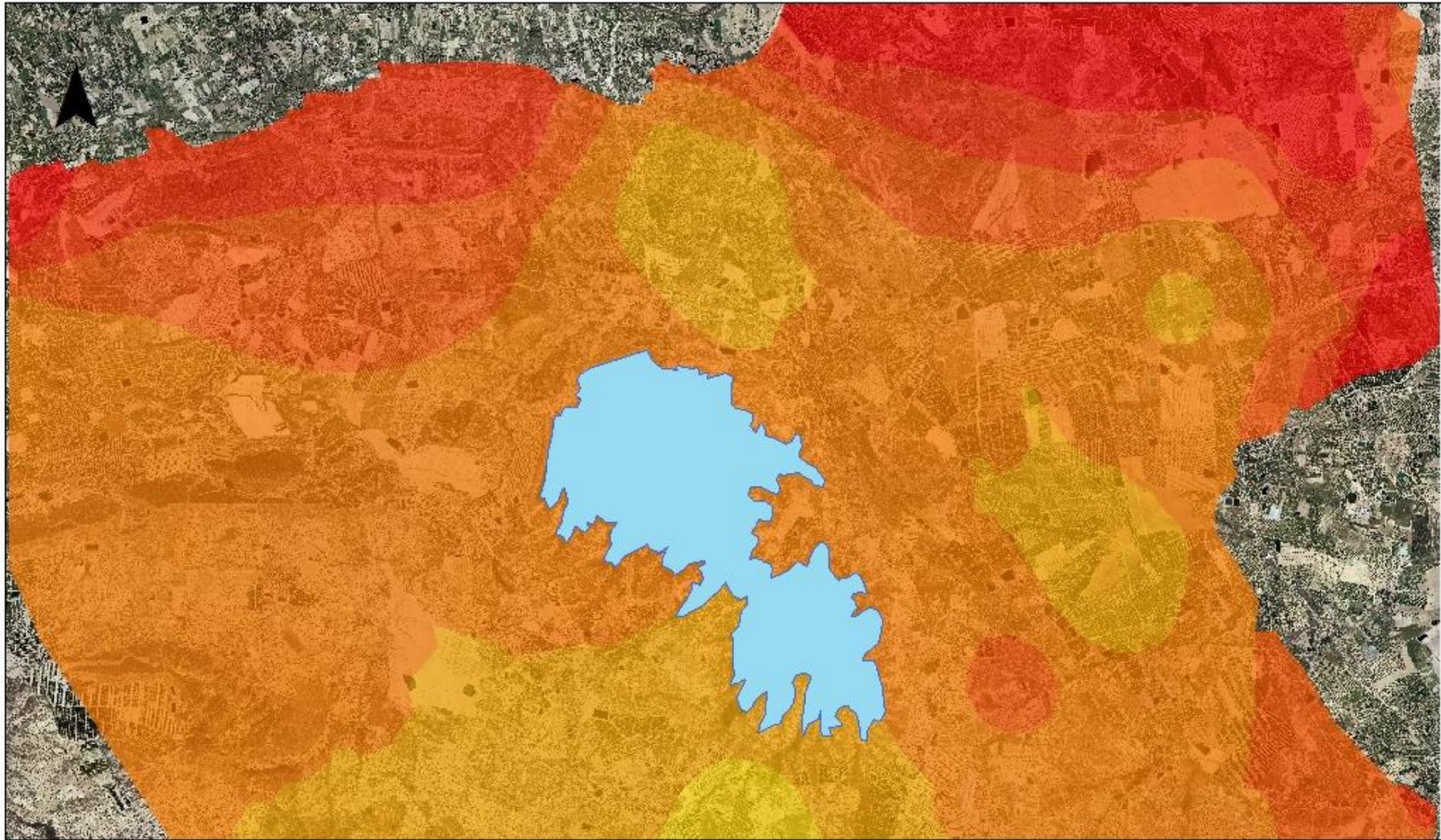
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

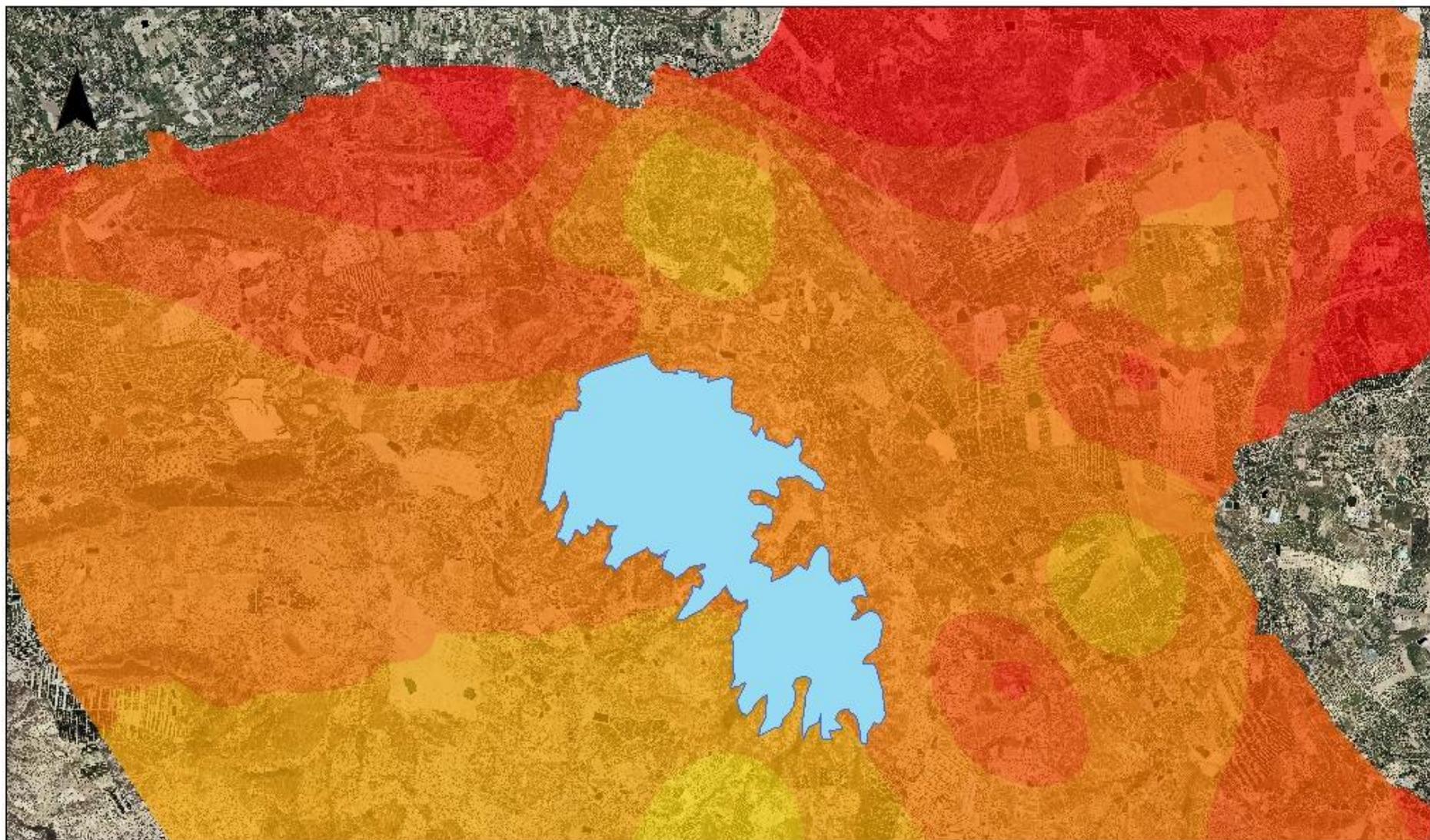
Salinidad del suelo
0-20 cm



Salinidad del suelo
20-40 cm



**Salinidad del suelo
40-60 cm**



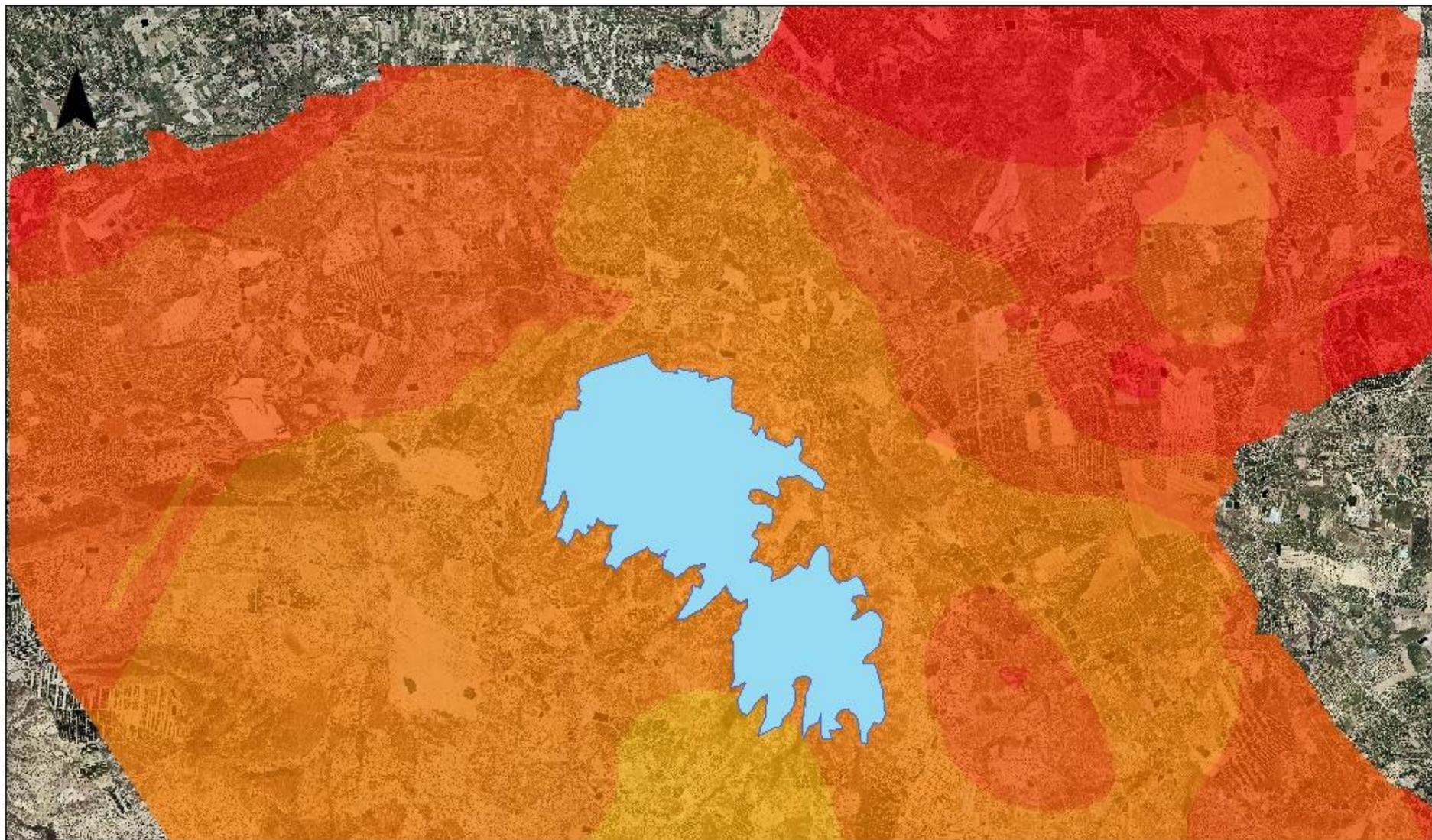
Leyenda

CEe dS/m	 <1	 2-3	 4-5	 >6
	 1-2	 3-4	 5-6	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Salinidad del suelo
60-80 cm



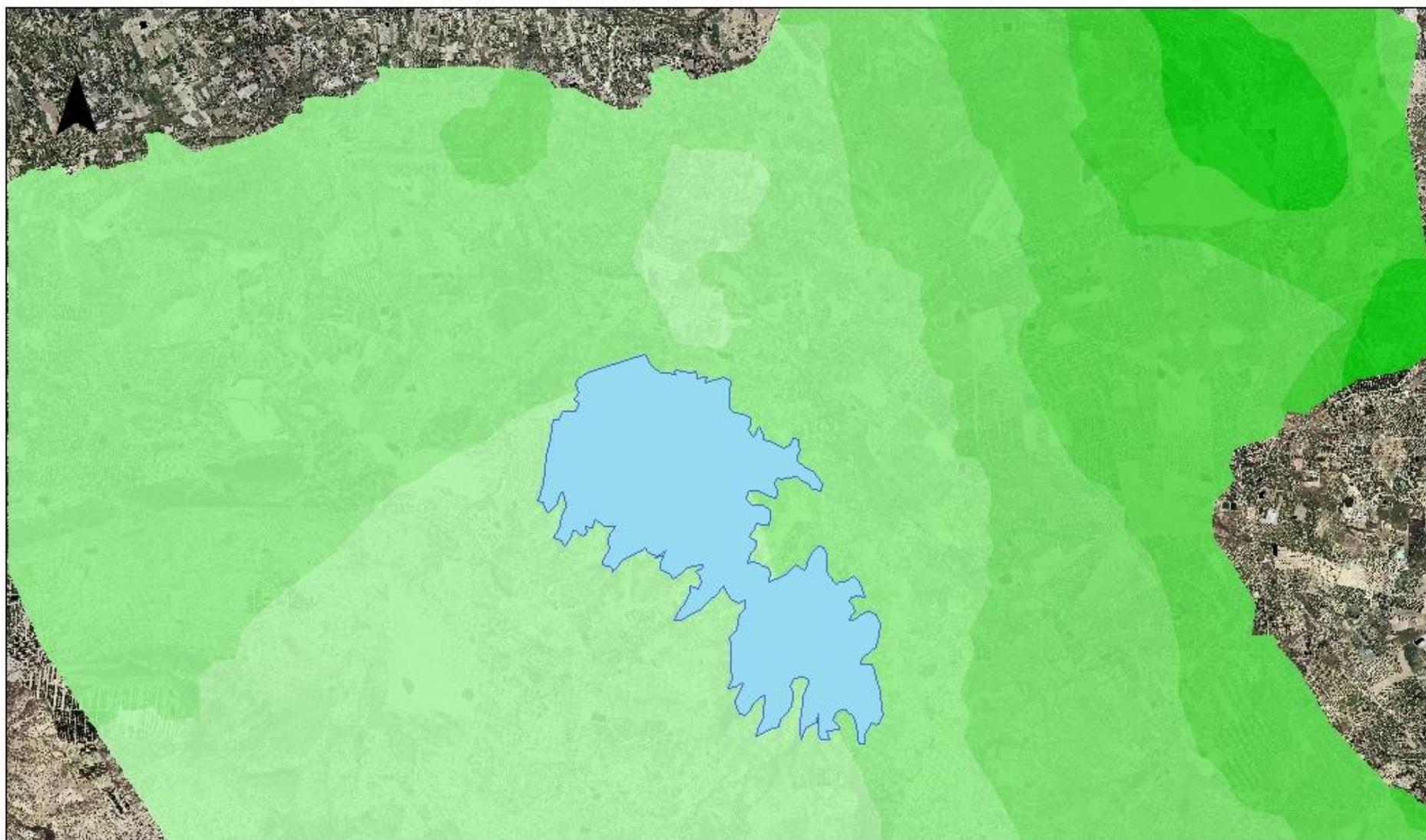
Leyenda

CEe dS/m	 <1	 2-3	 4-5	 >6
	 1-2	 3-4	 5-6	

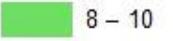
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Salinidad del suelo
80-100 cm



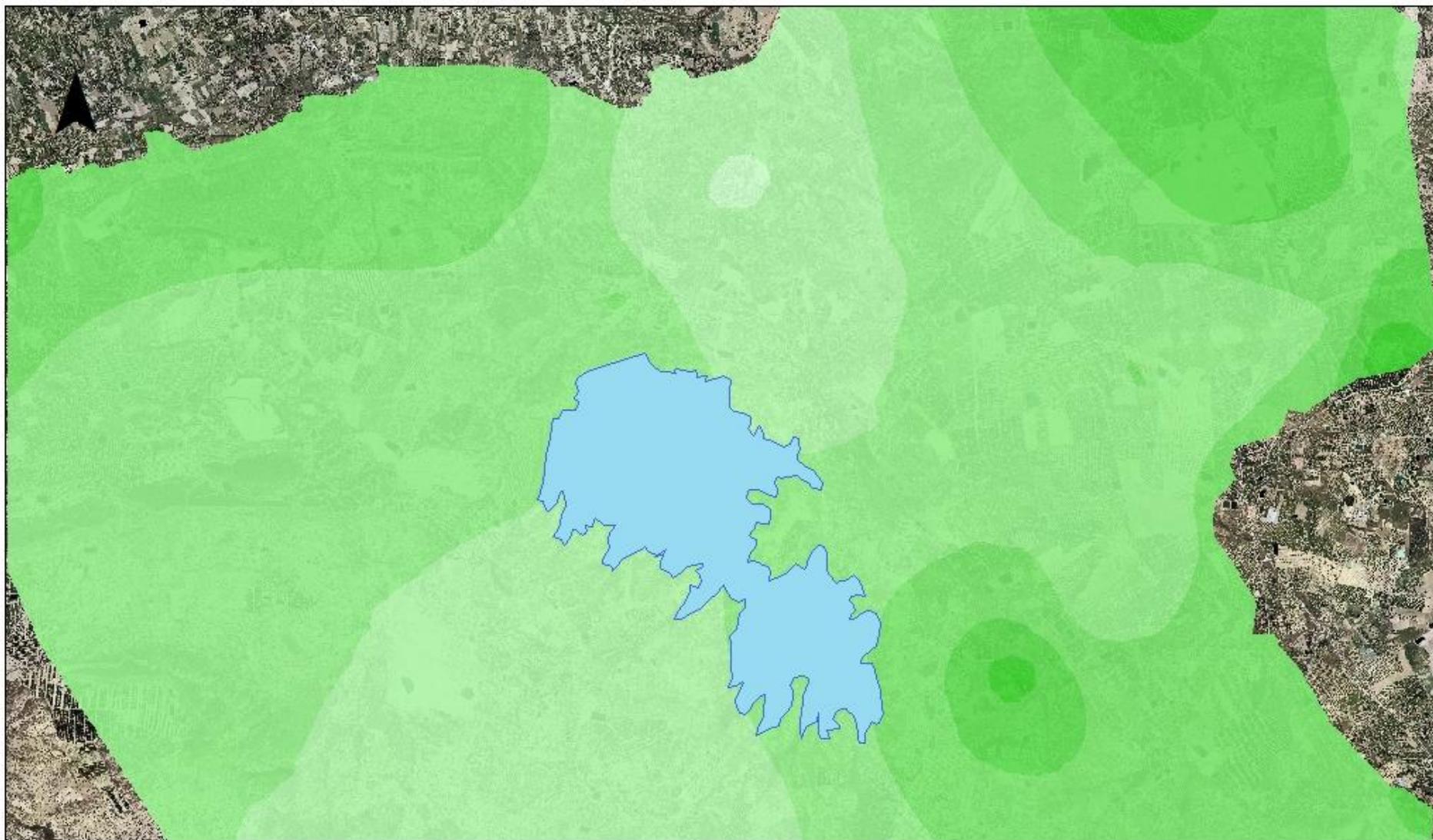
Leyenda

RAS meq/l	 <2	 4 - 6	 8 - 10	 >12
	 2 - 4	 6 - 8	 10 - 12	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Relación de Adsorción de Sodio
0-20 cm



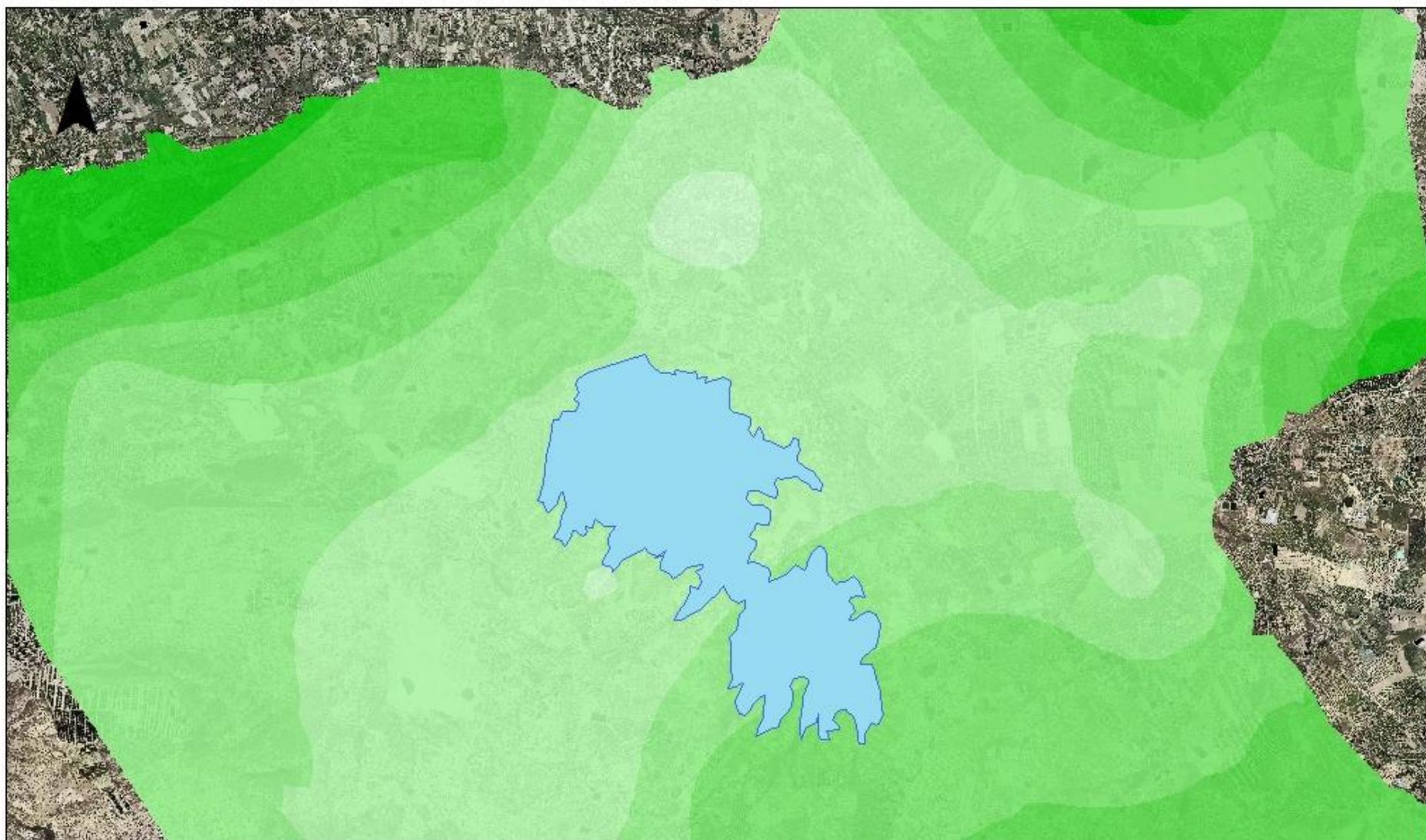
Leyenda

RAS meq/l	 <2	 4 - 6	 8 - 10	 >12
	 2 - 4	 6 - 8	 10 - 12	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Relación de Adsorción de Sodio
20-40 cm



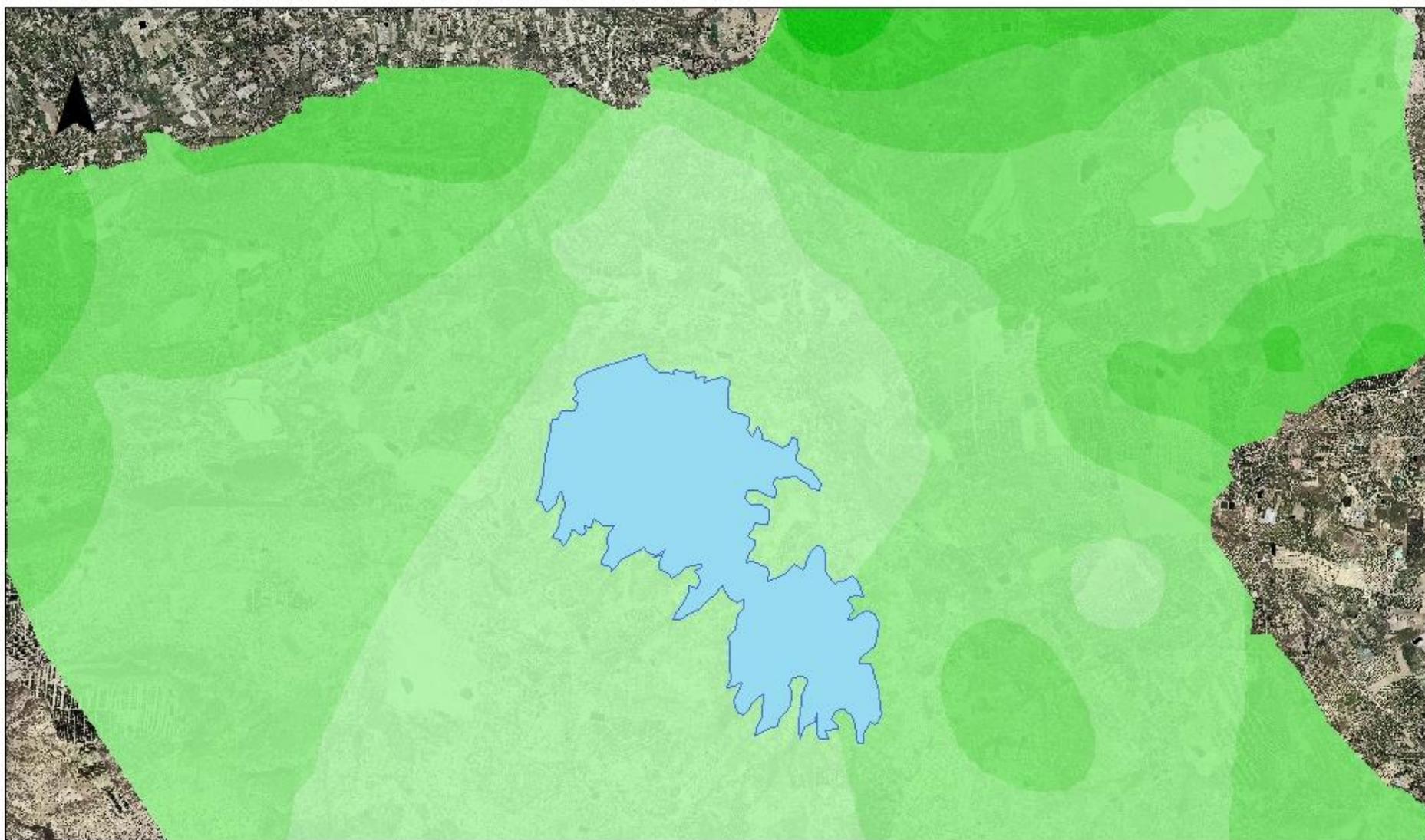
Leyenda

RAS meq/l	Filled Contours	2 - 4	6 - 8	10 - 12
<2				
		4 - 6	8 - 10	12 - 22,265196

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Relación de Adsorción de Sodio
40-60 cm



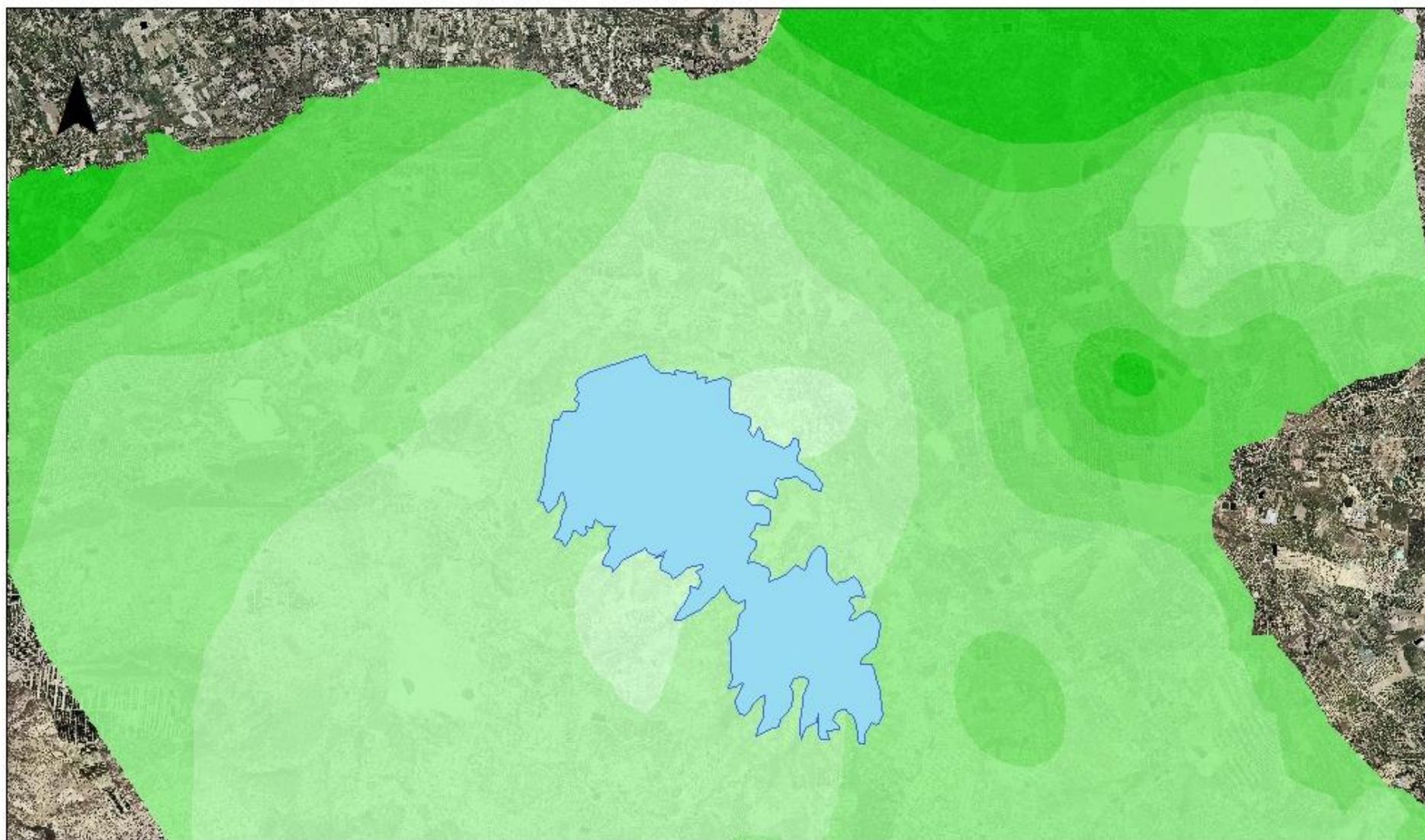
Leyenda

RAS meq/l	 <2	 4 - 6	 8 - 10	 >12
	 2 - 4	 6 - 8	 10 - 12	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Relación de Adsorción de Sodio
60-80 cm



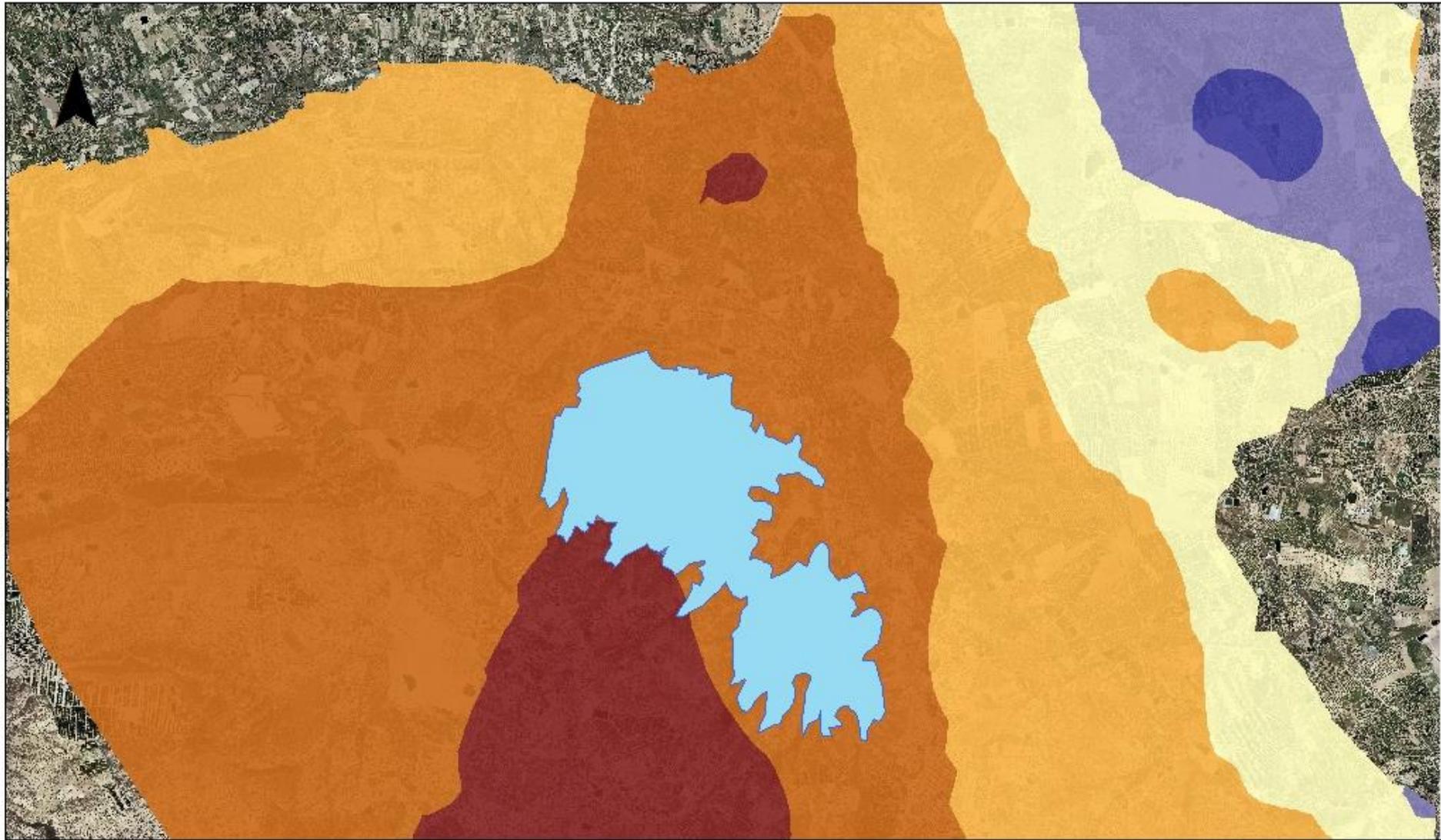
Leyenda

RAS meq/l	 <2	 4 - 6	 8 - 10	 >12
	 2 - 4	 6 - 8	 10 - 12	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Relación de Adsorción de Sodio
80-100 cm



Leyenda

PSI %	<3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	>18

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Porcentaje de Sodio Intercambiable
0-20 cm



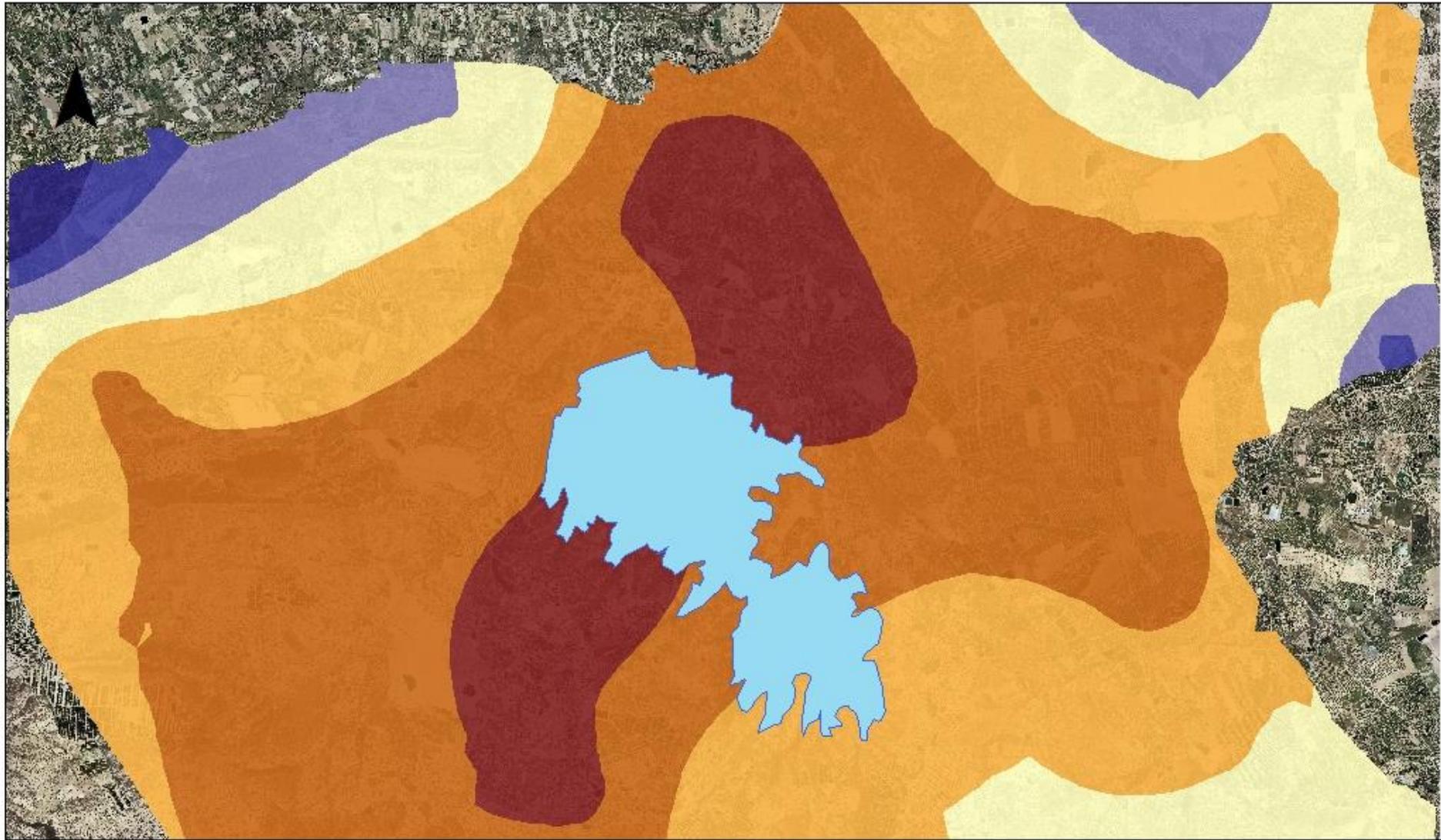
Leyenda

PSI %	<3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	>18

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Porcentaje de Sodio Intercambiable
20-40 cm



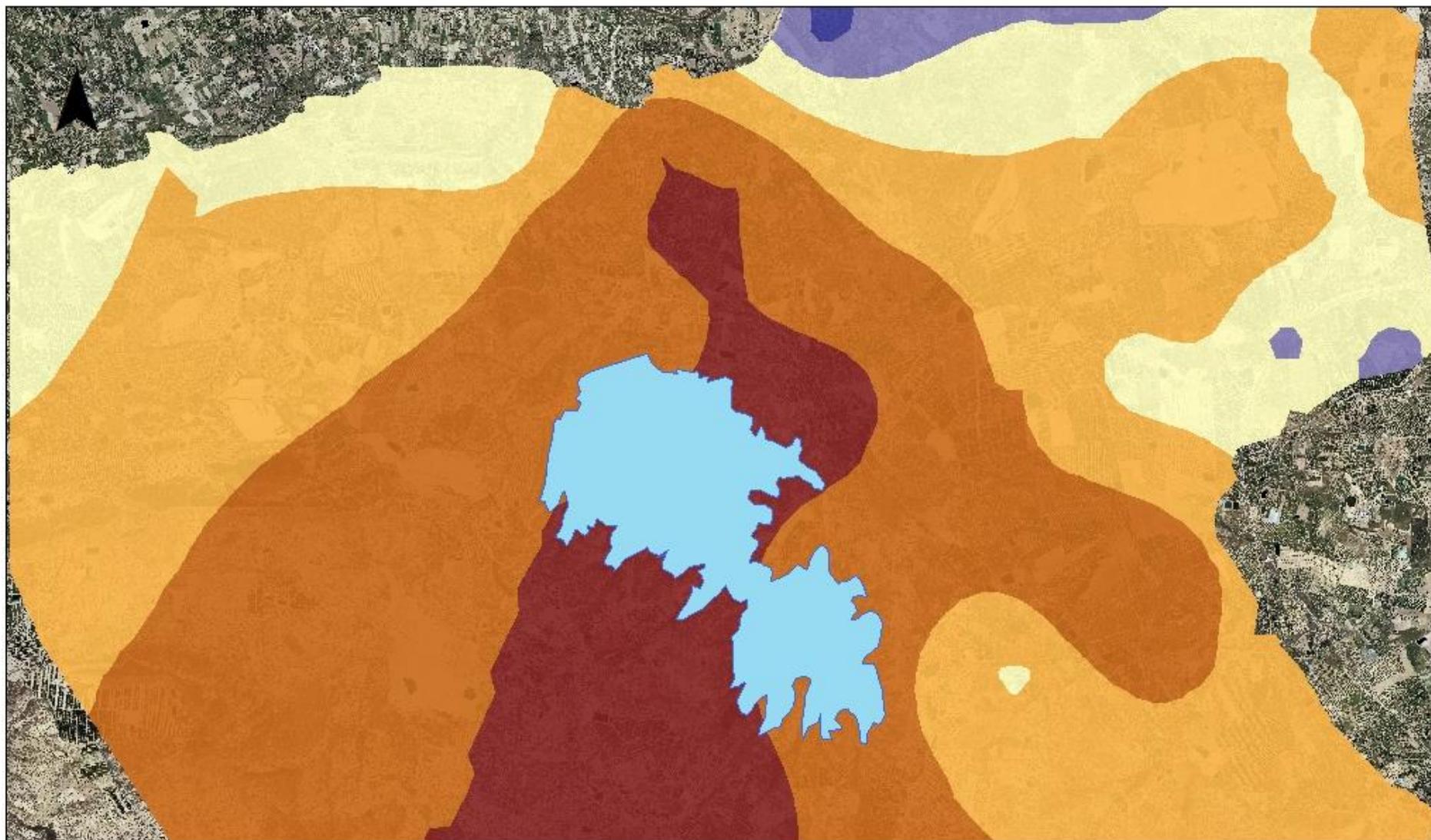
Leyenda

PSI %	<3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	>18

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Porcentaje de Sodio Intercambiable
40-60 cm**



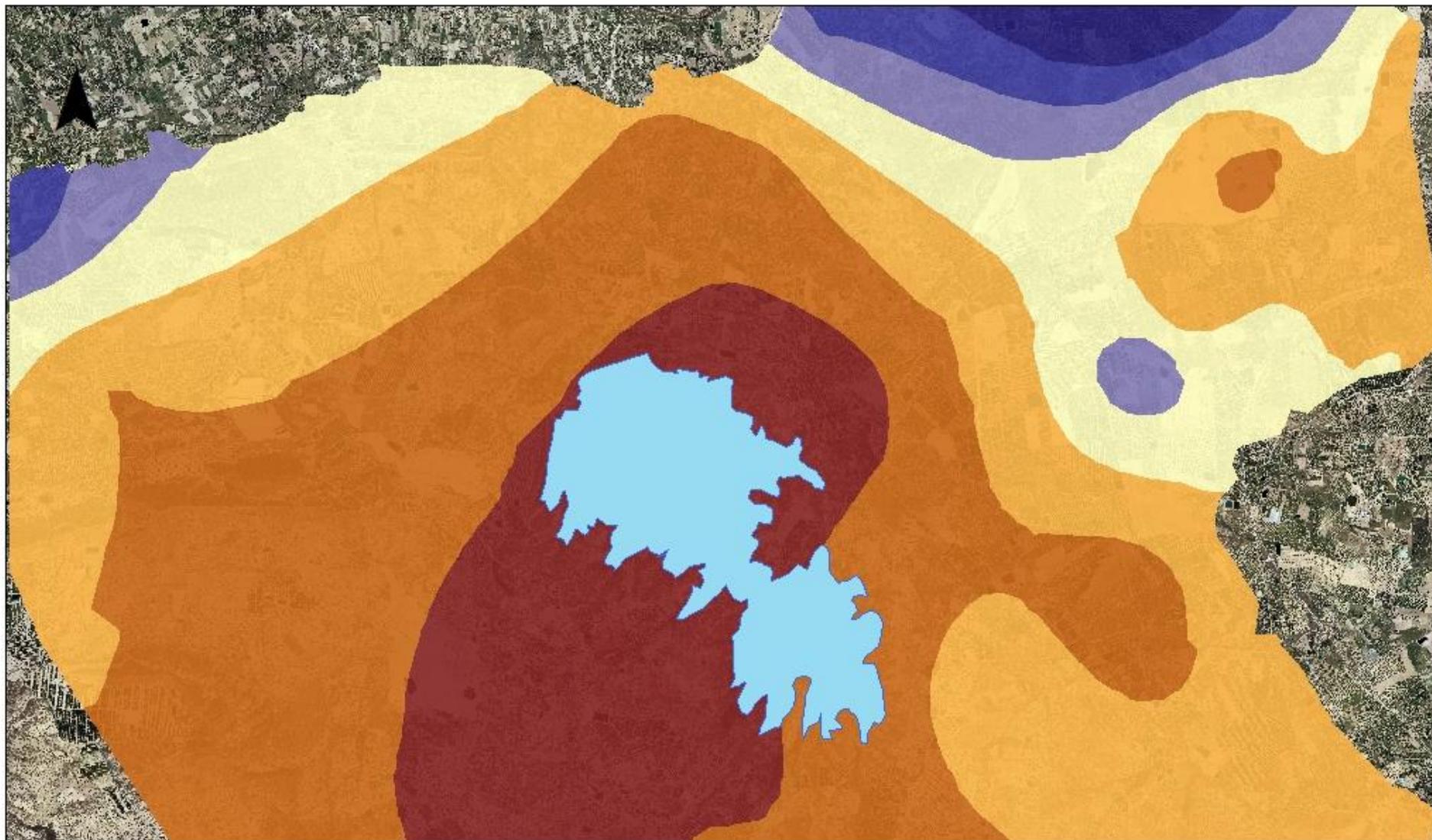
Leyenda

PSI %	<3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	>18

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Porcentaje de Sodio Intercambiable
60-80 cm



Leyenda

PSI %	 <3	 6 - 9	 12 - 15	 >18
	 3 - 6	 9 - 12	 15 - 18	

 Embalse Pedrera

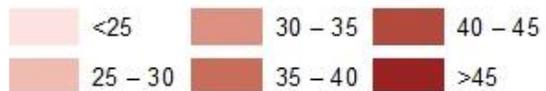
ESCALA 1:70.000

**Porcentaje de Sodio Intercambiable
80-100 cm**



Leyenda

Carbonatos %



 Embalse Pedrera

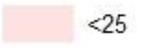
ESCALA 1:70.000

**Carbonatos en el suelo
0-20 cm**



Leyenda

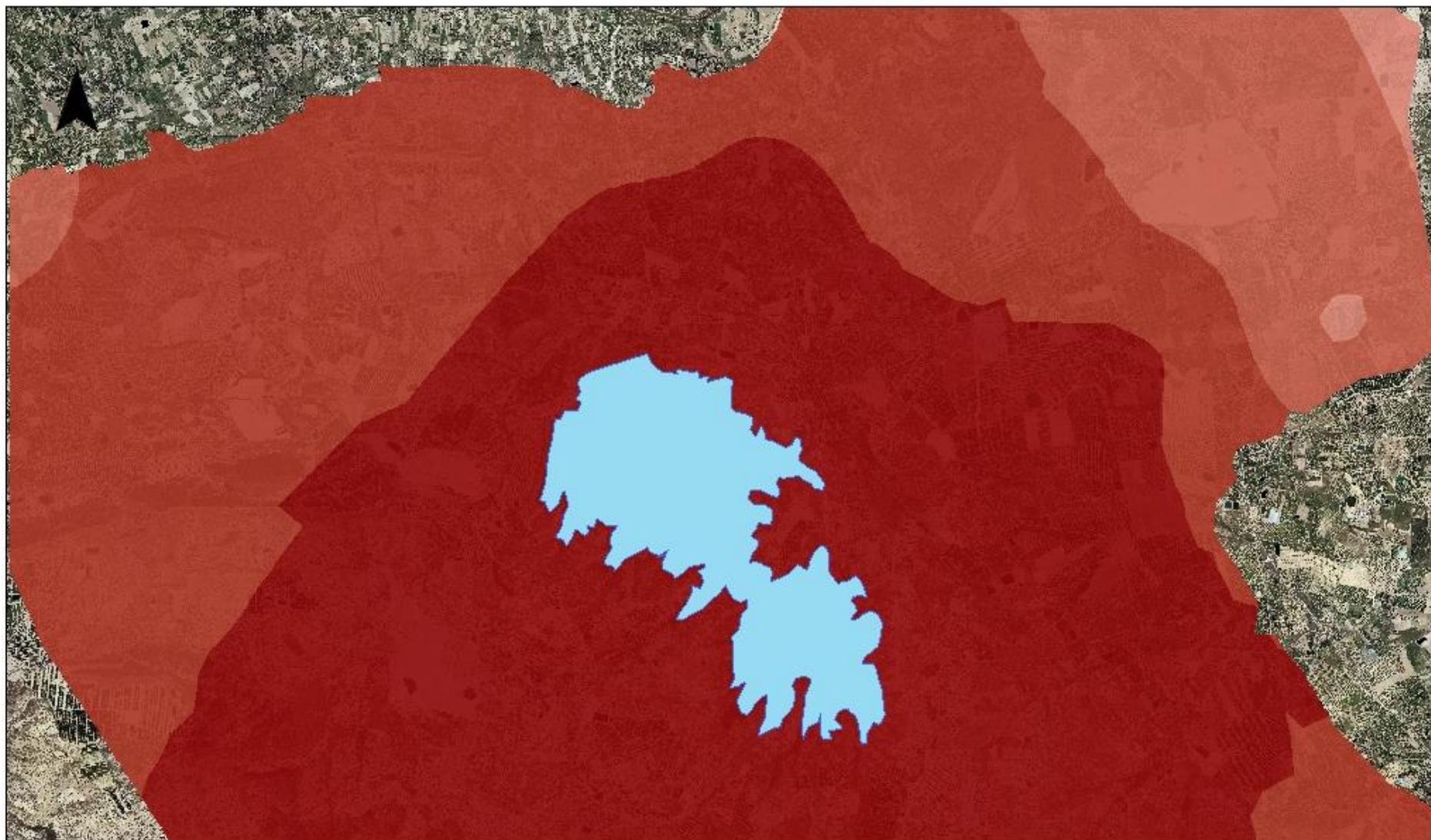
Carbonatos %

	<25		30 - 35		40 - 45
	25 - 30		35 - 40		>45

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Carbonatos en el suelo
20-40 cm



Leyenda

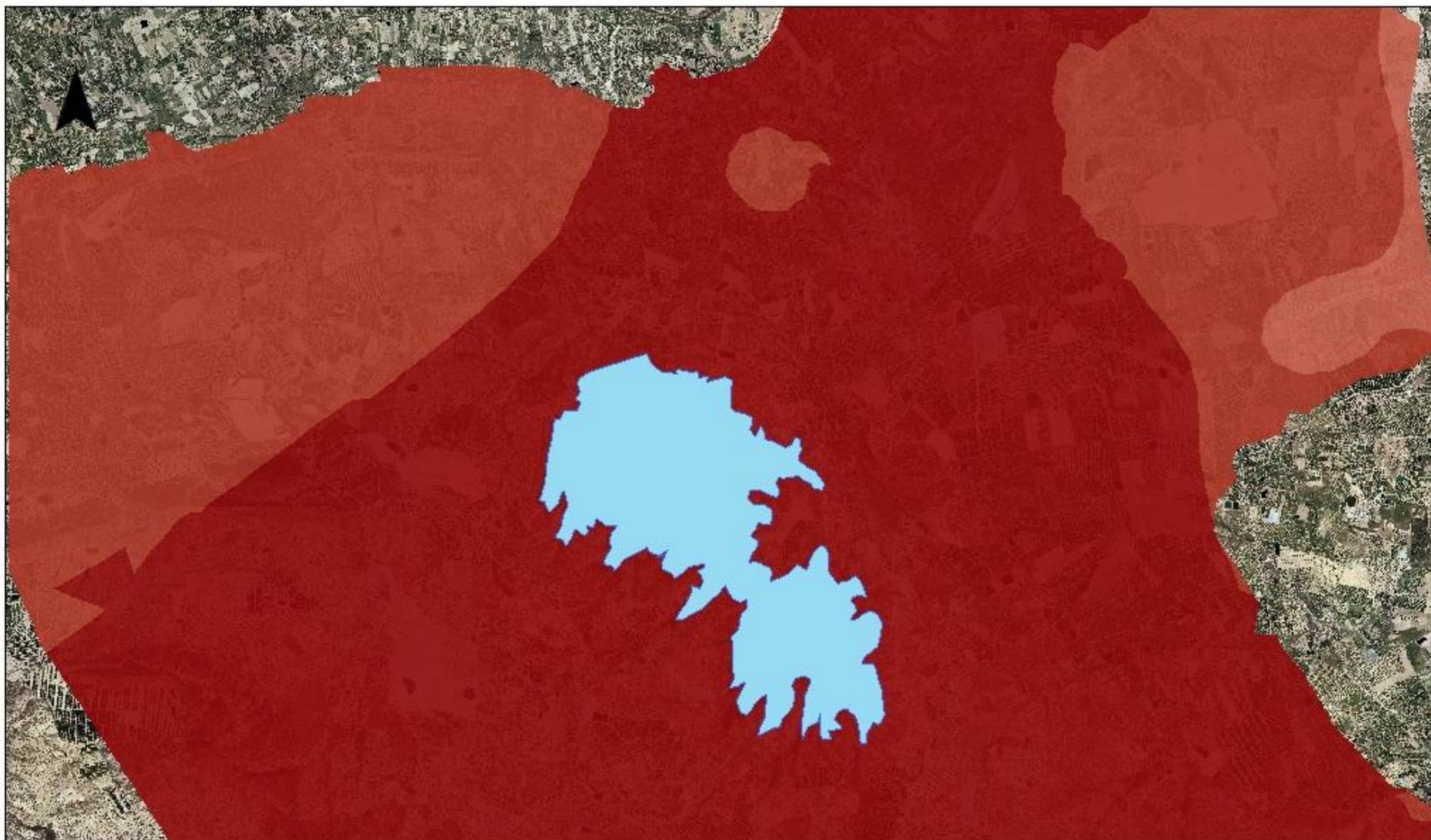
Carbonatos %



 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Carbonatos en el suelo
40-60 cm



Leyenda

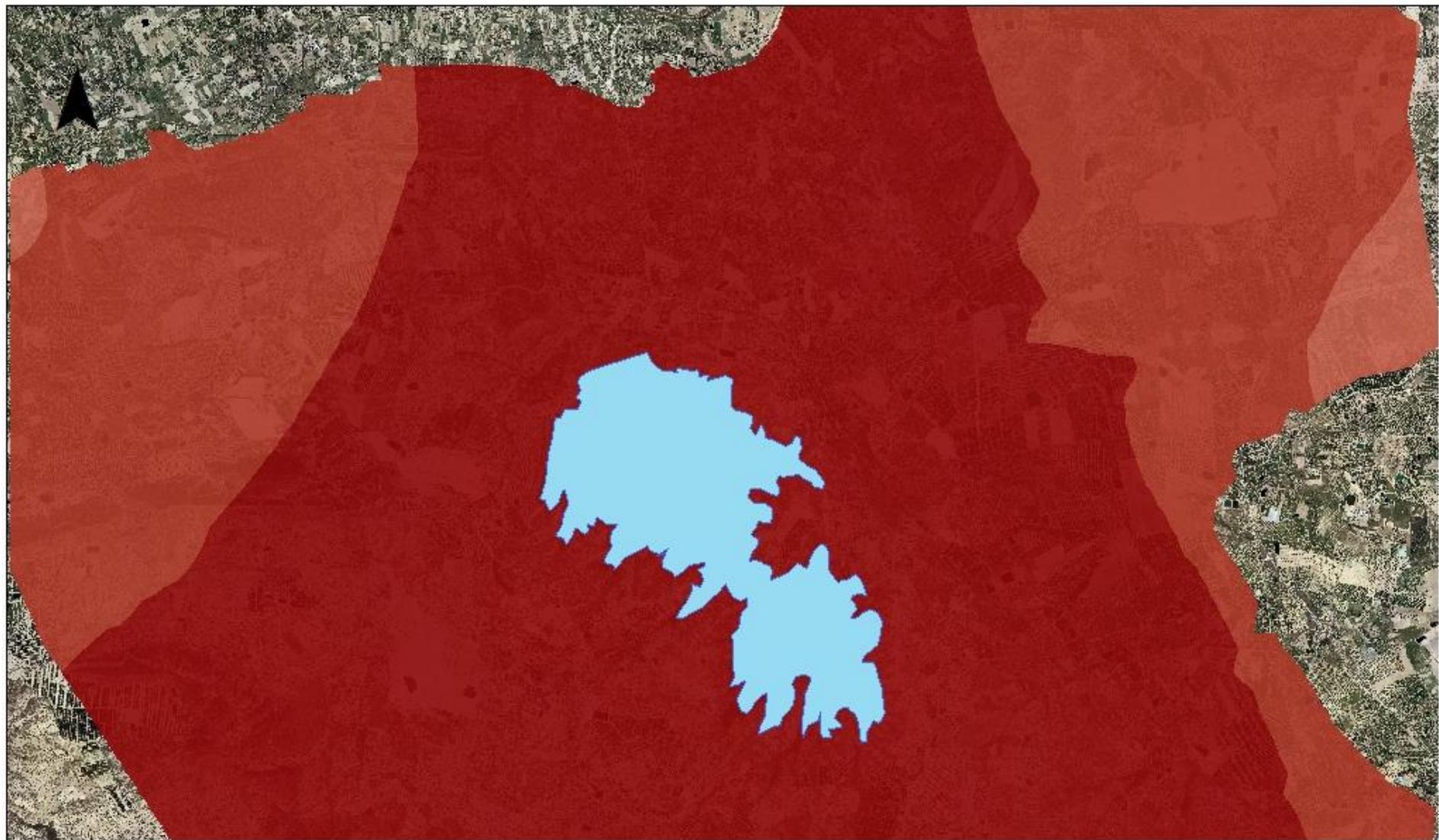
Carbonatos %

	<25		30 - 35		40 - 45
	25 - 30		35 - 40		>45

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Carbonatos en el suelo
60-80 cm



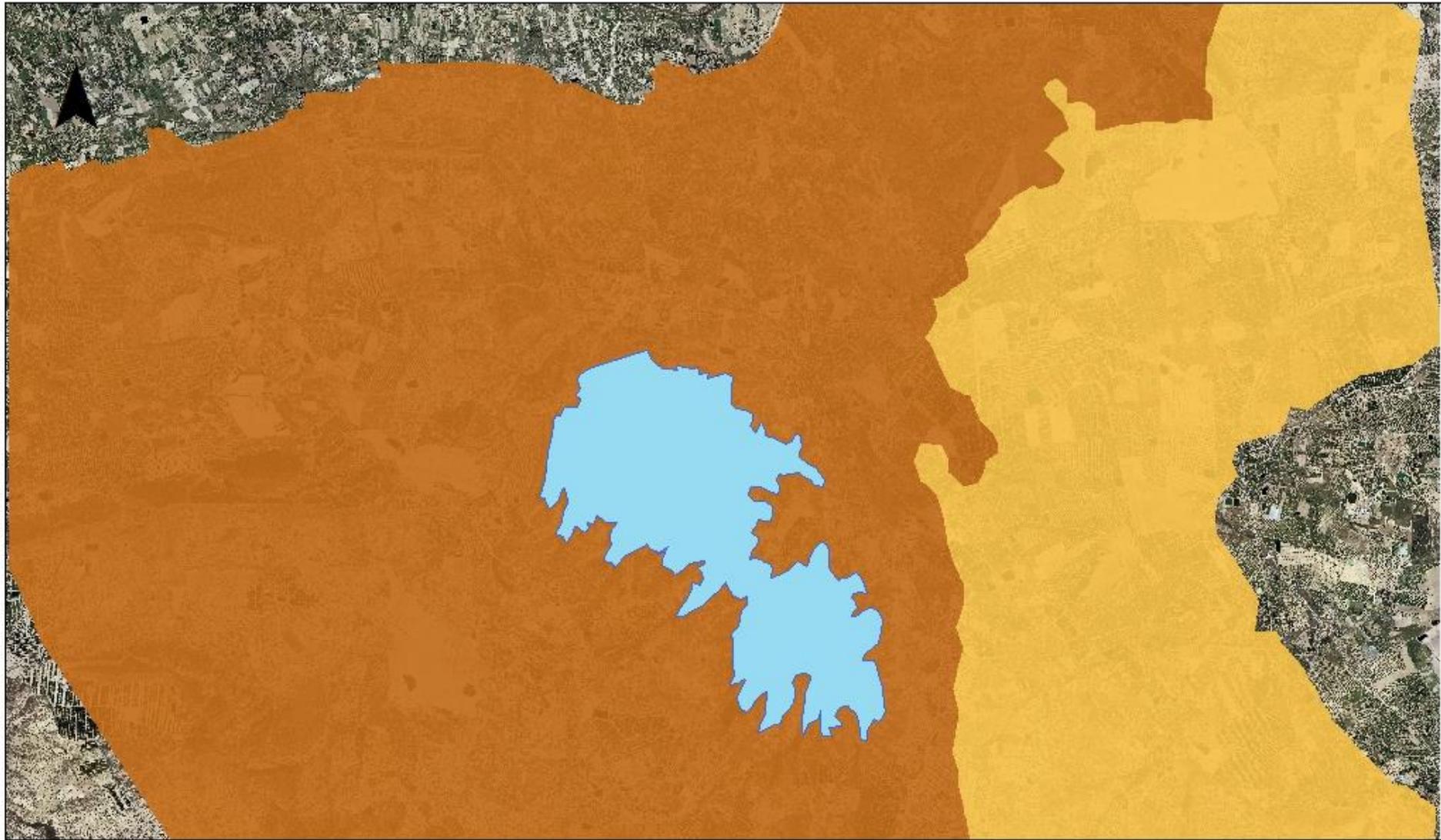
Leyenda

Carbonatos %	 <25	 30 - 35	 40 - 45
	 25 - 30	 35 - 40	 >45

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Carbonatos en el suelo
80-100 cm**



Fracción Textural Arcilla
0-20 cm

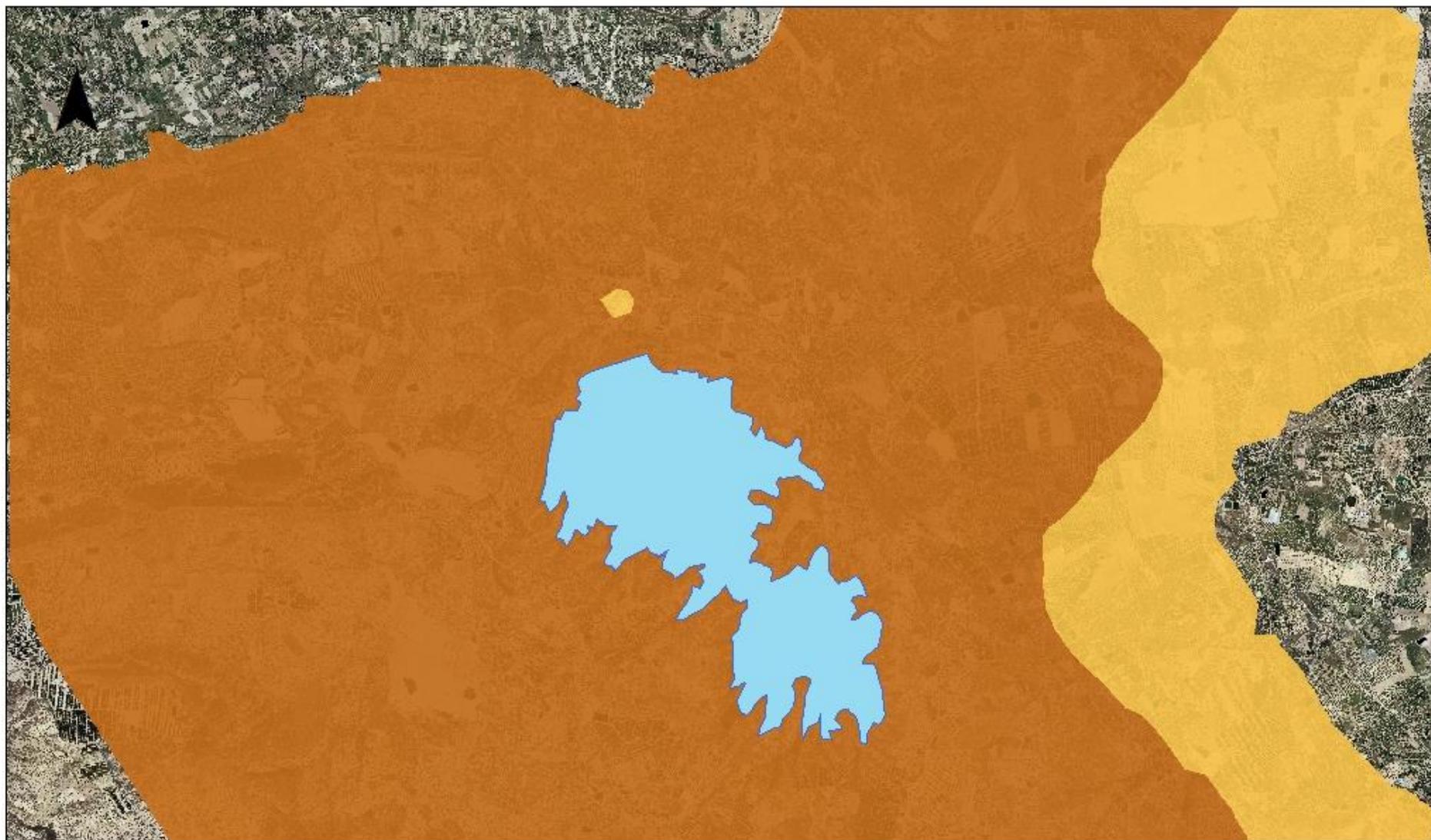
Leyenda

Arcilla %



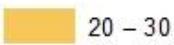
Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Arcilla
20-40 cm

Leyenda

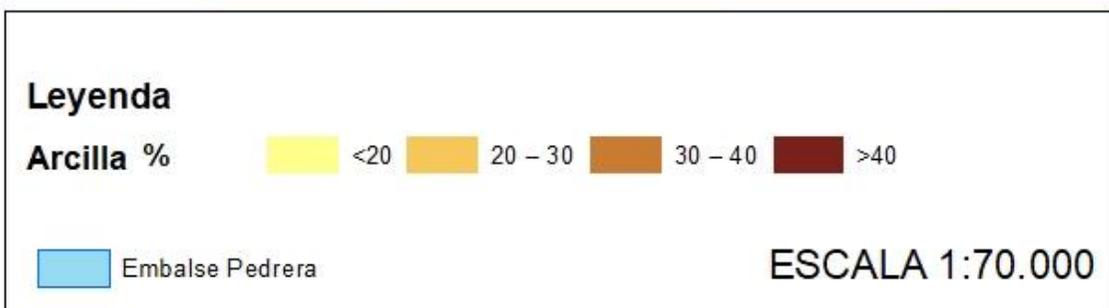
Arcilla %  <20  20 - 30  30 - 40  40 - 50

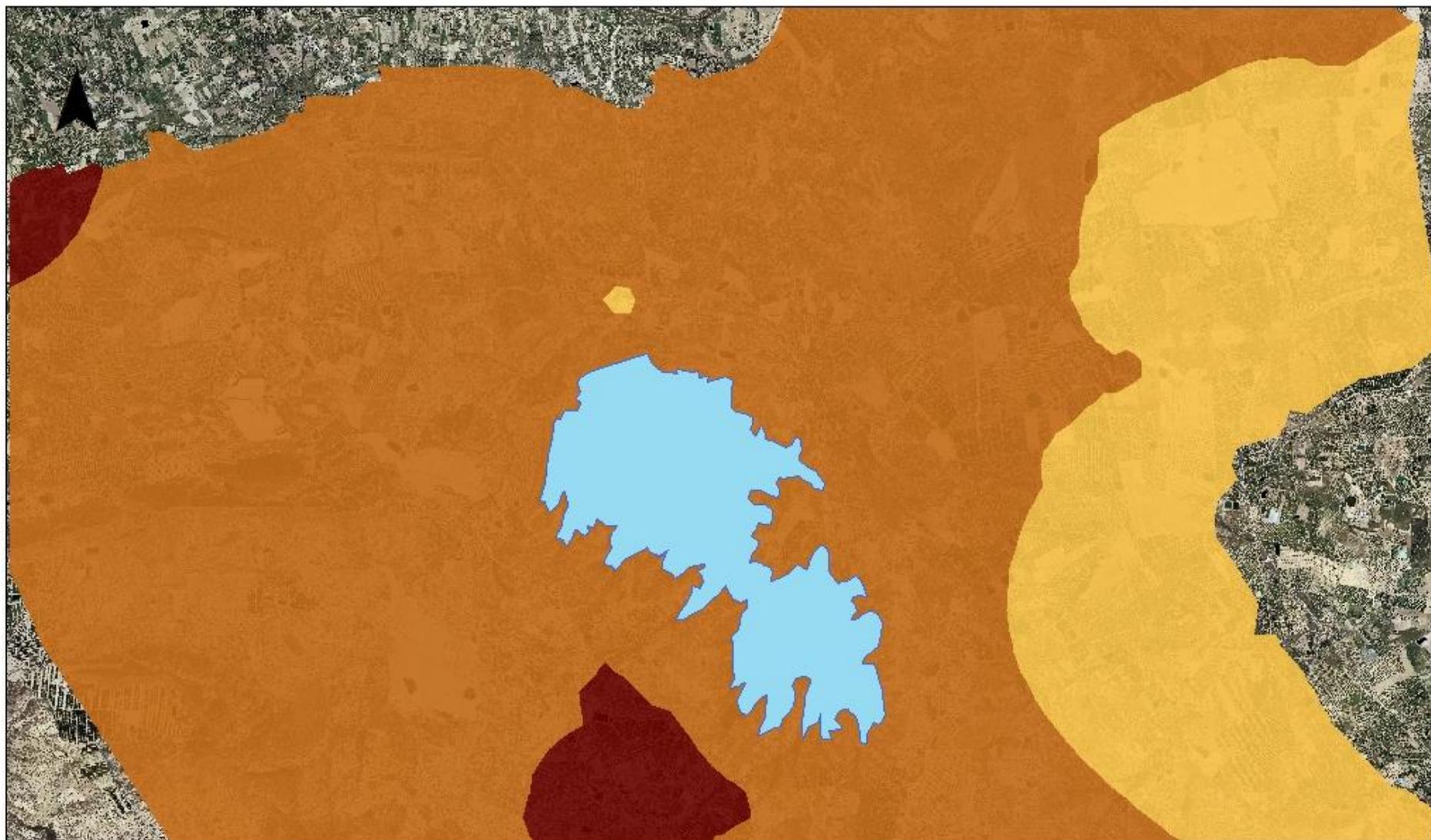
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Arcilla
40-60 cm





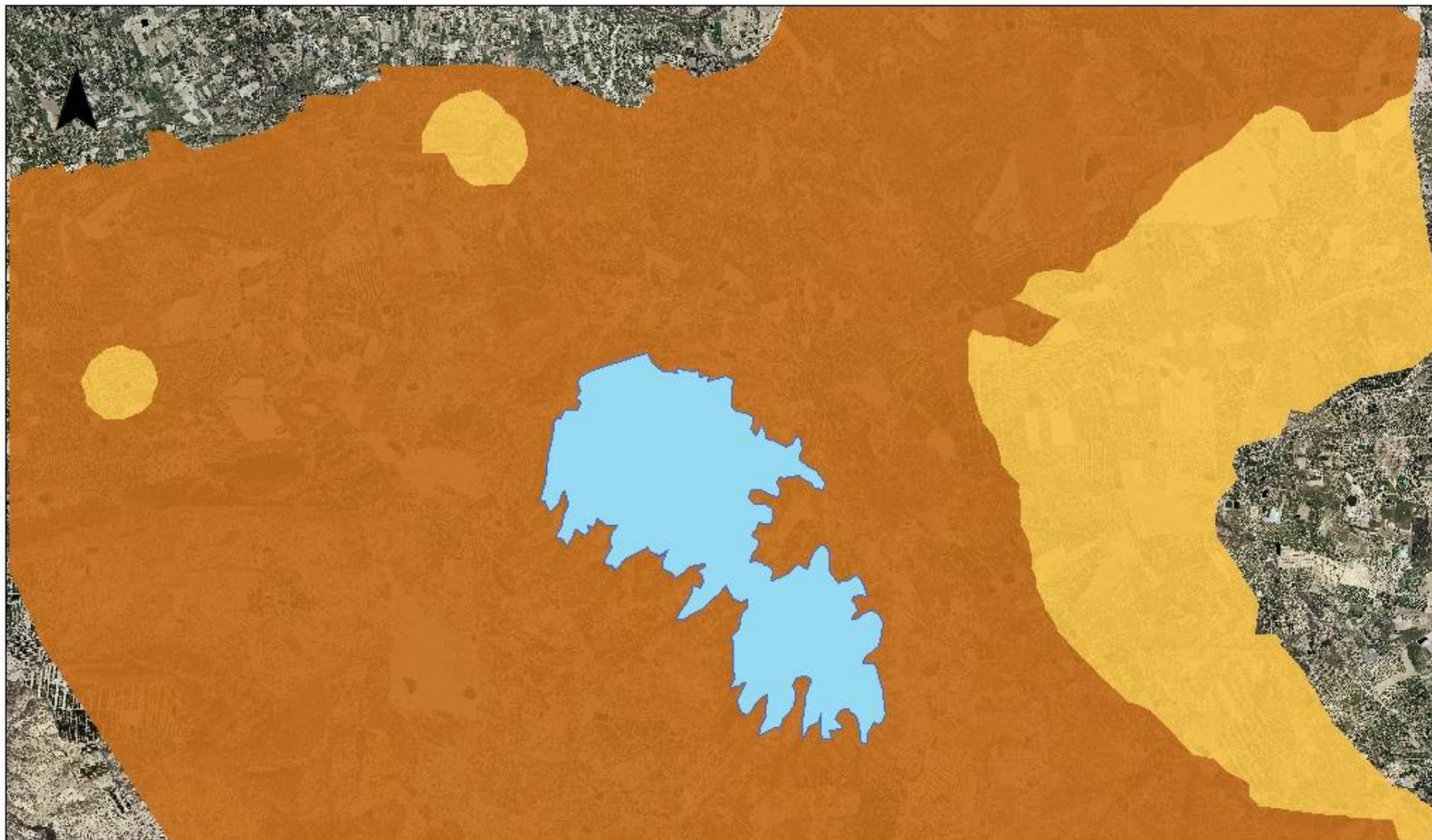
Fracción Textural Arcilla
60-80 cm

Leyenda

Arcilla %  <20  20 – 30  30 – 40  >40

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



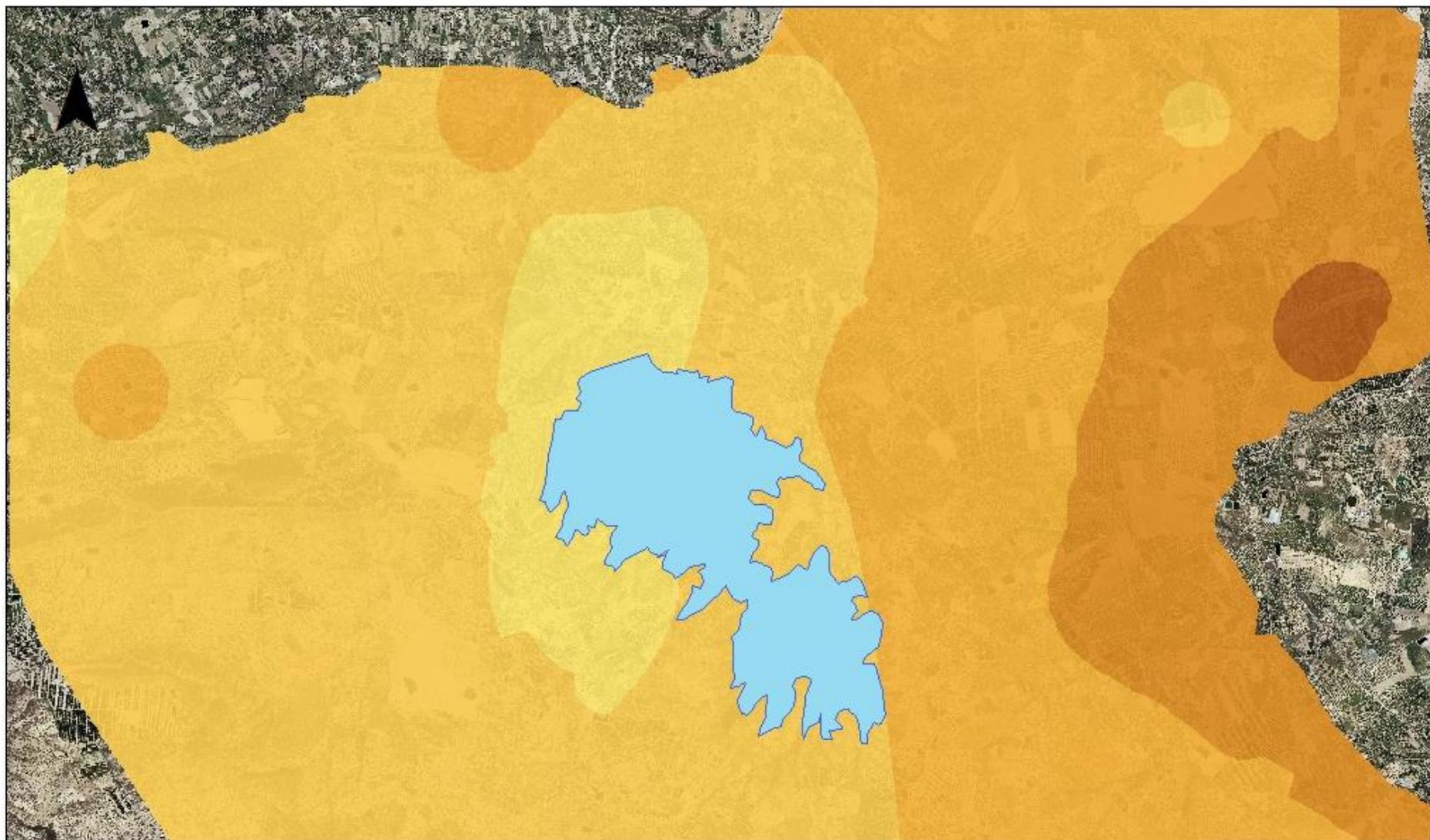
Leyenda

Arcilla % **Filled Contours**

	<20		20 - 30		30 - 40
	Embalse Pedrera		40 - 50		

ESCALA 1:70.000

**Fracción Textural Arcilla
80-100 cm**



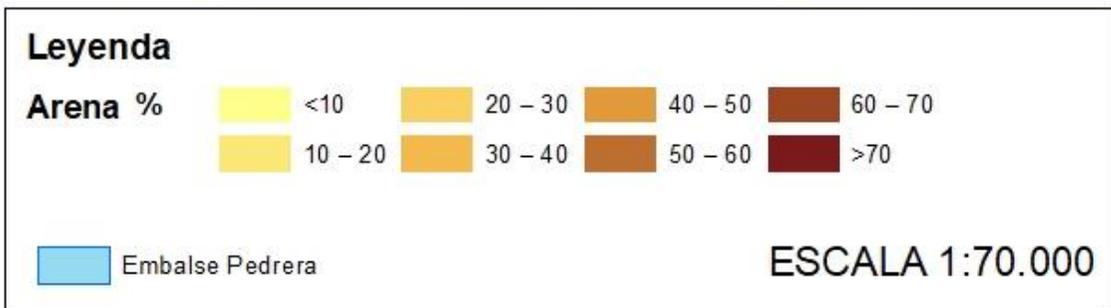
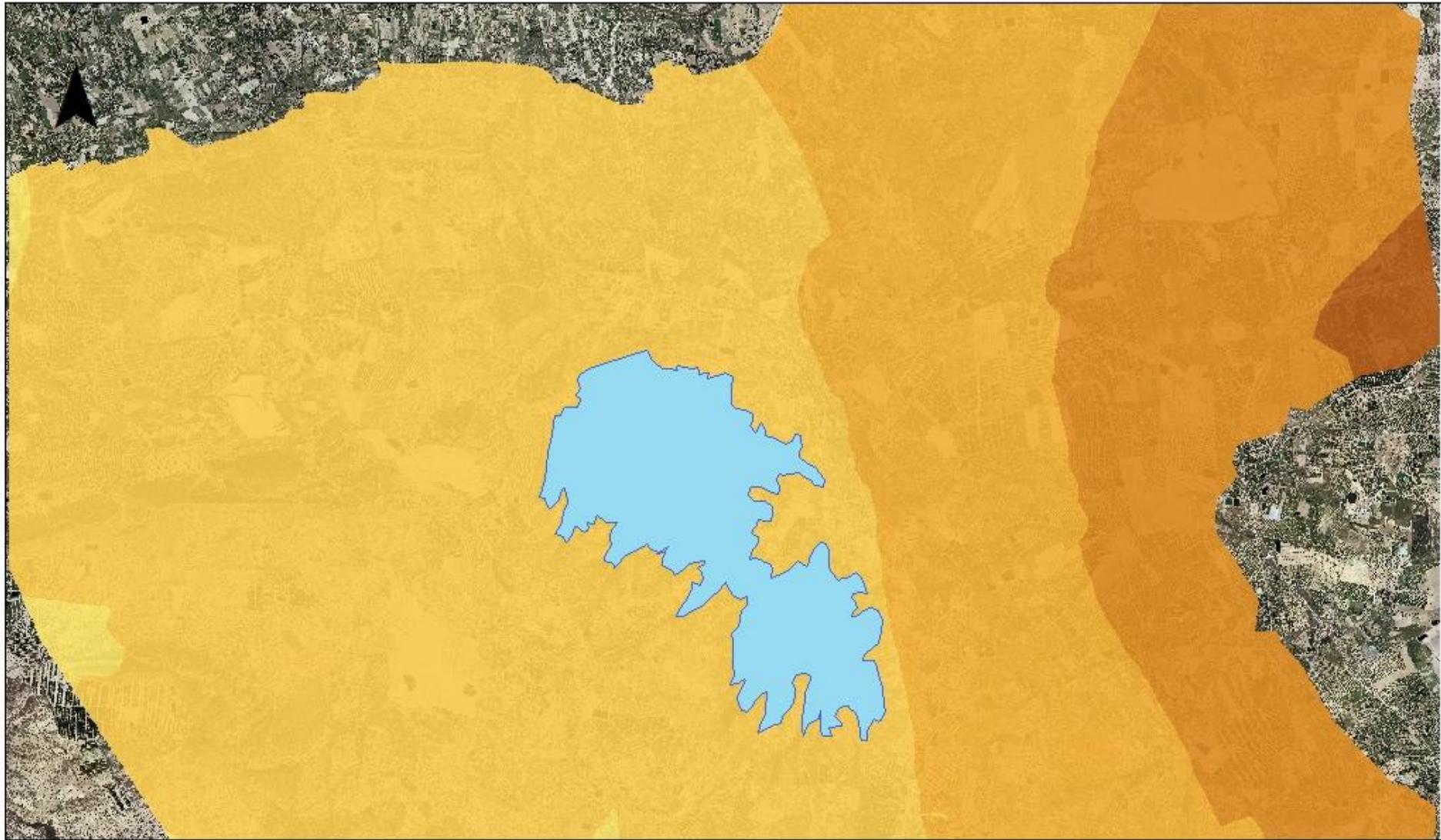
Fracción Textural Arena
0-20 cm

Leyenda

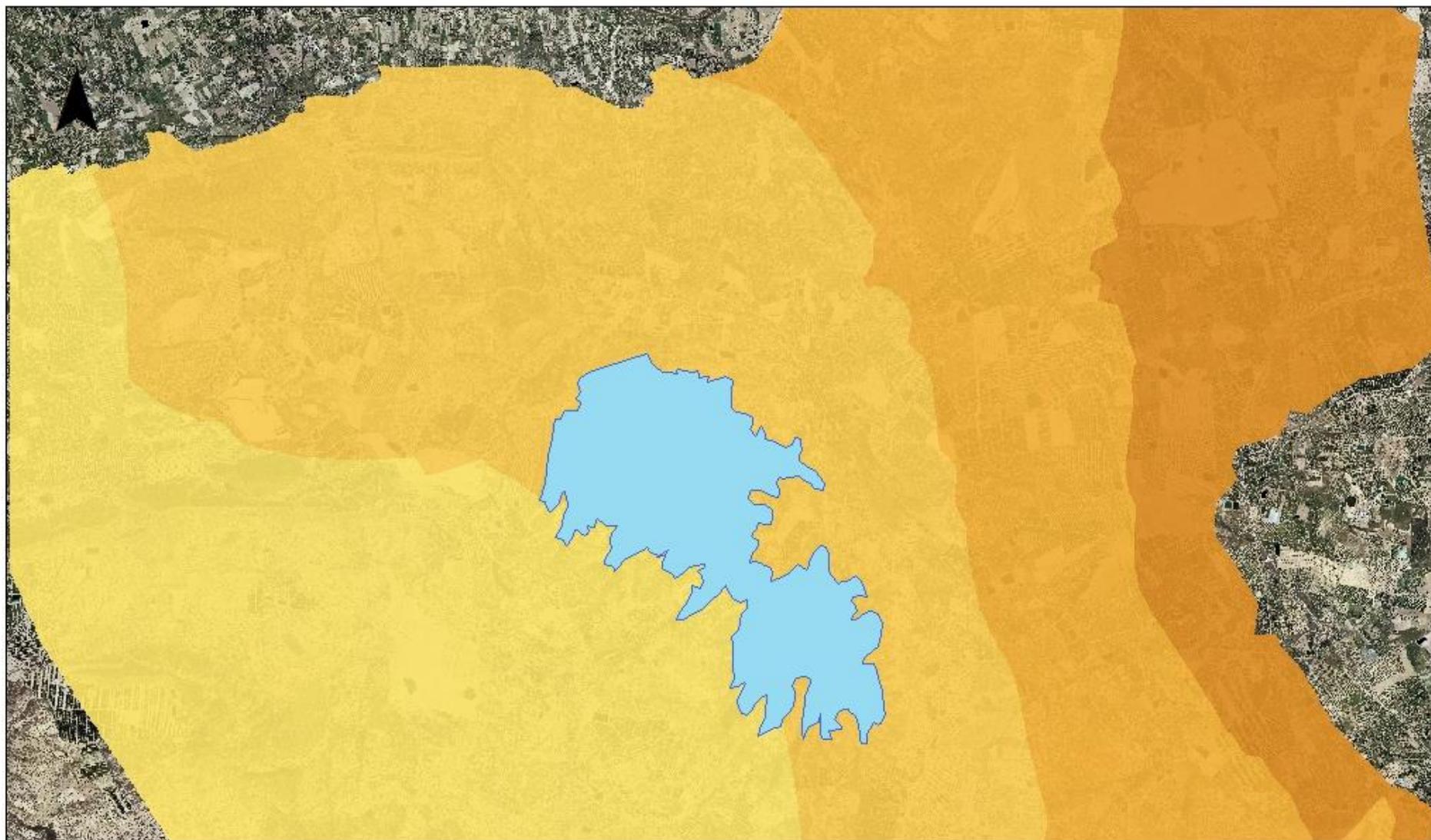
Arena %	<10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	>70

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



**Fracción Textural Arena
20-40 cm**



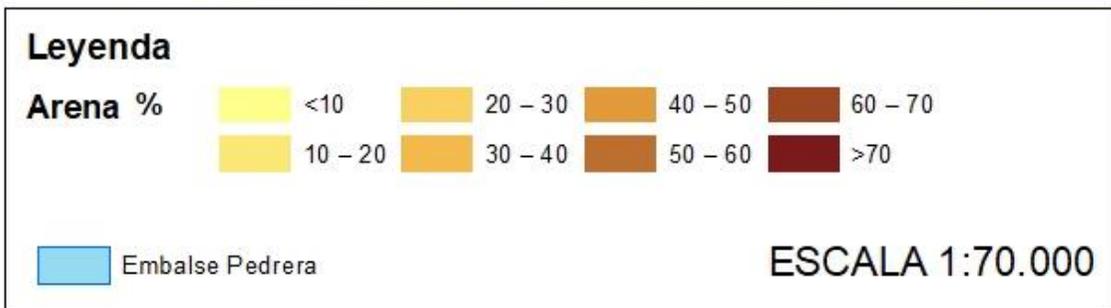
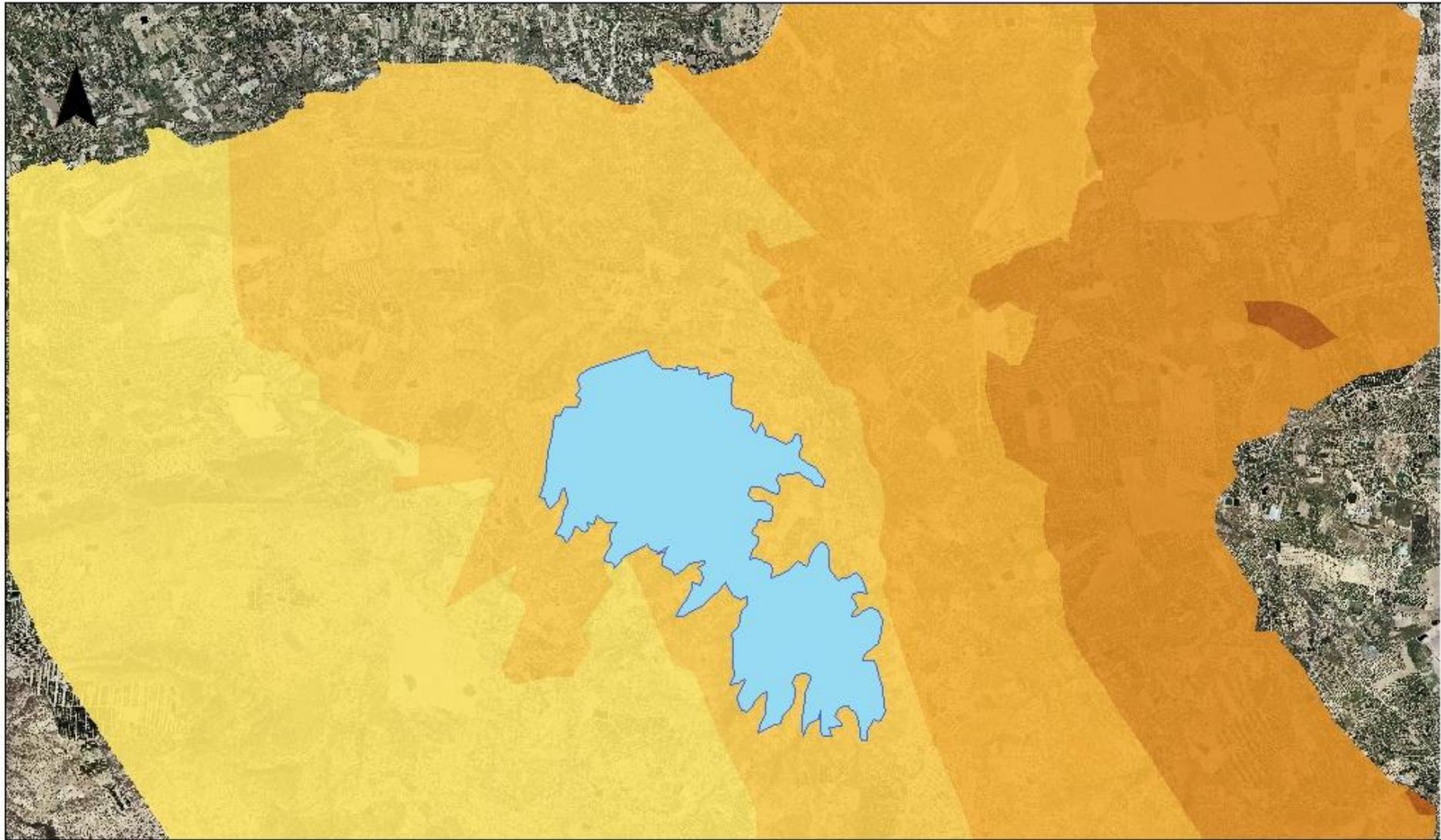
Fracción Textural Arena
40-60 cm

Leyenda

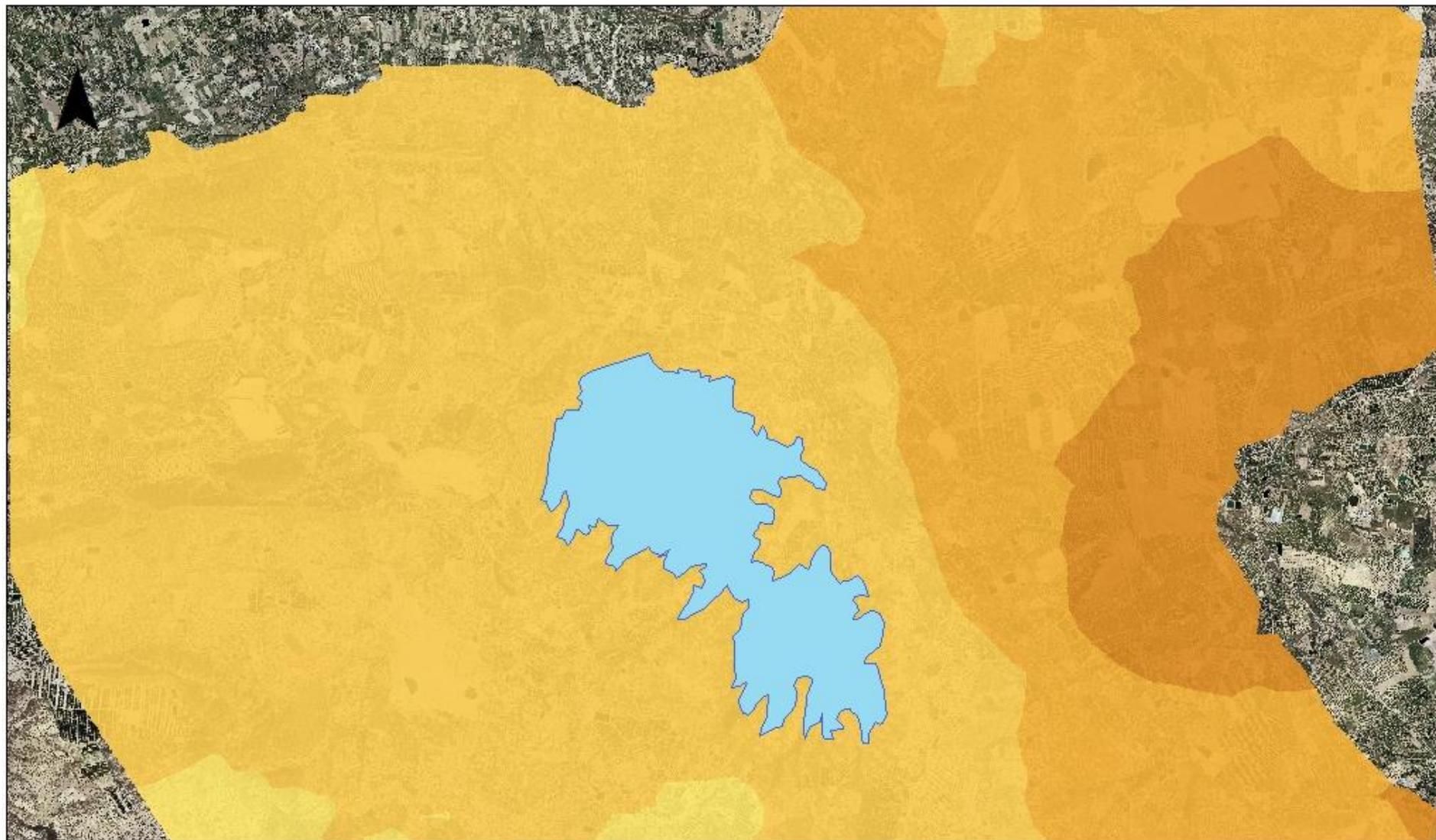
Arena %	<10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	>70

Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Arena
60-80 cm



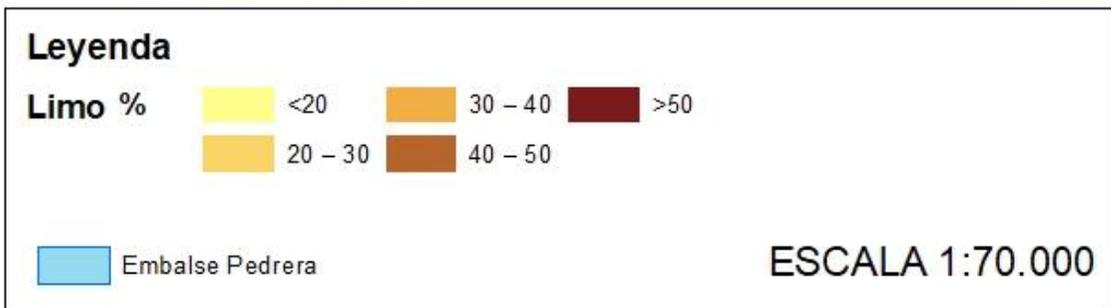
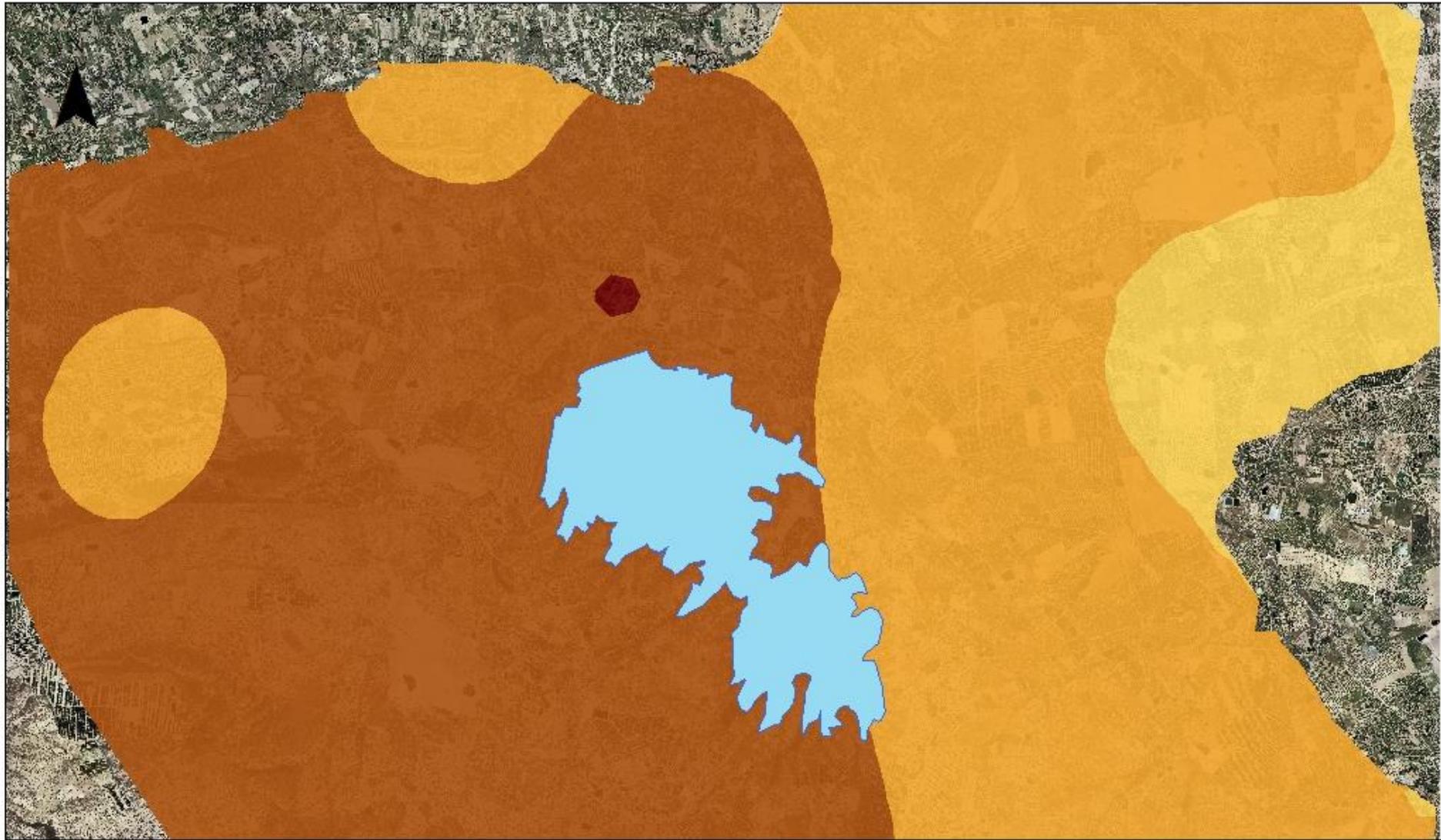
Fracción Textural Arena
80-100 cm

Leyenda

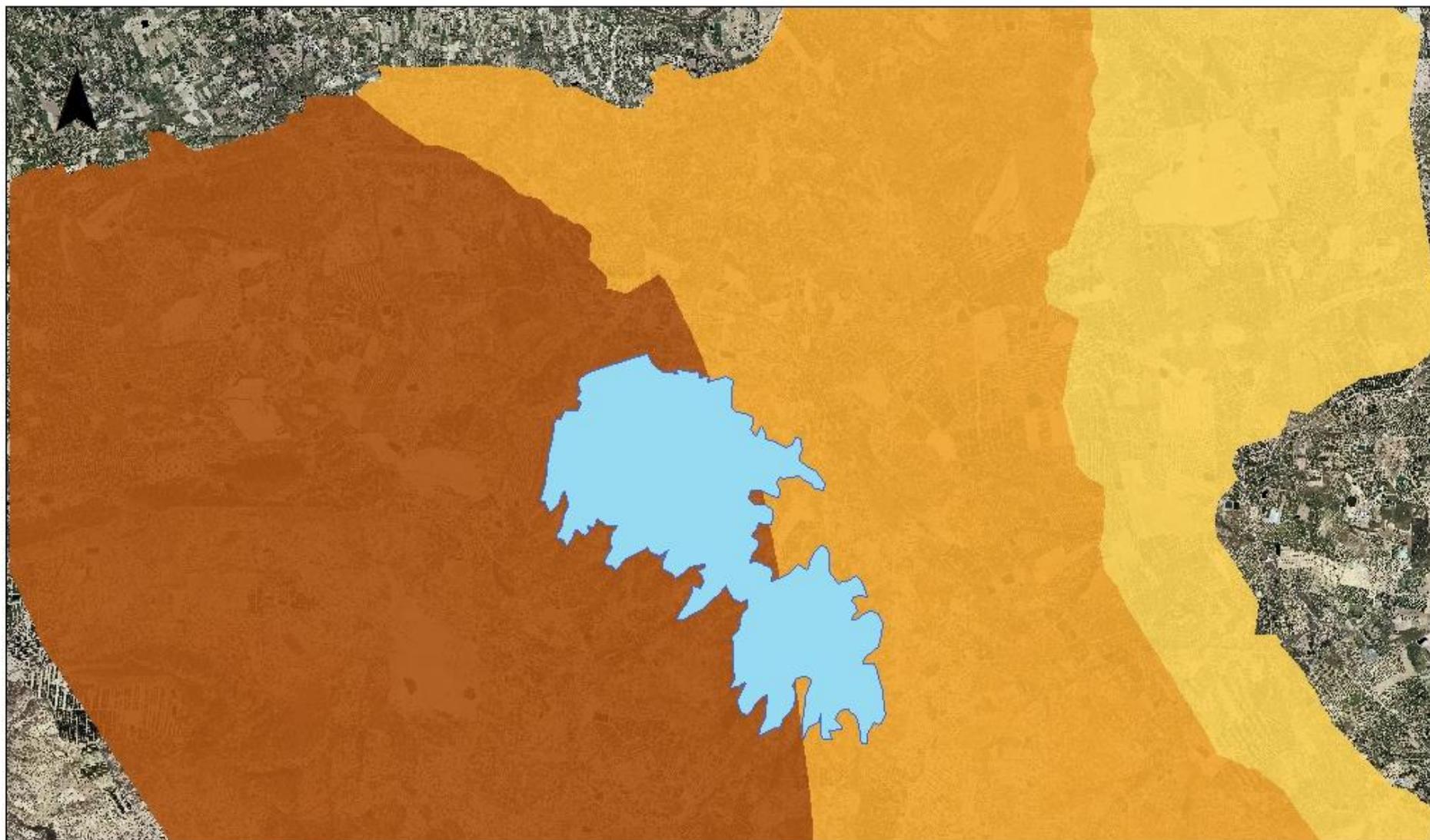
Arena %	 <10	 20 - 30	 40 - 50	 60 - 70
	 10 - 20	 30 - 40	 50 - 60	 >70

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Limo
0-20 cm



Fracción Textural Limo
20-40 cm

Leyenda

Limo %	 <20	 30 - 40	 >50
	 20 - 30	 40 - 50	

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Limo
40-60 cm

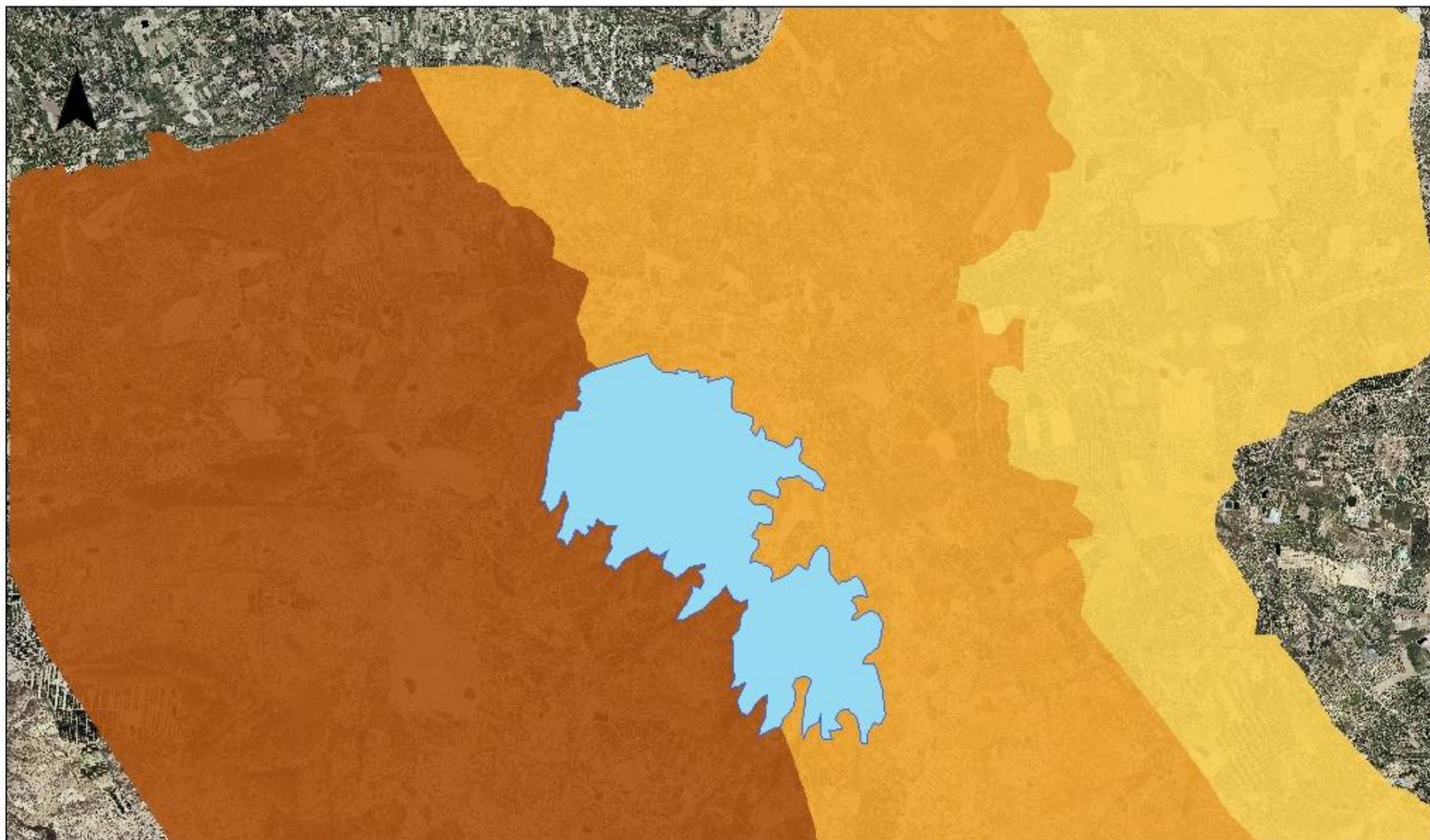
Leyenda

Limo %

	<20		30 - 40		>50
	20 - 30		40 - 50		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Fracción Textural Limo
60-80 cm

Leyenda

Limo %

	<20		30 - 40		50 - 60
	20 - 30		40 - 50		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



Leyenda

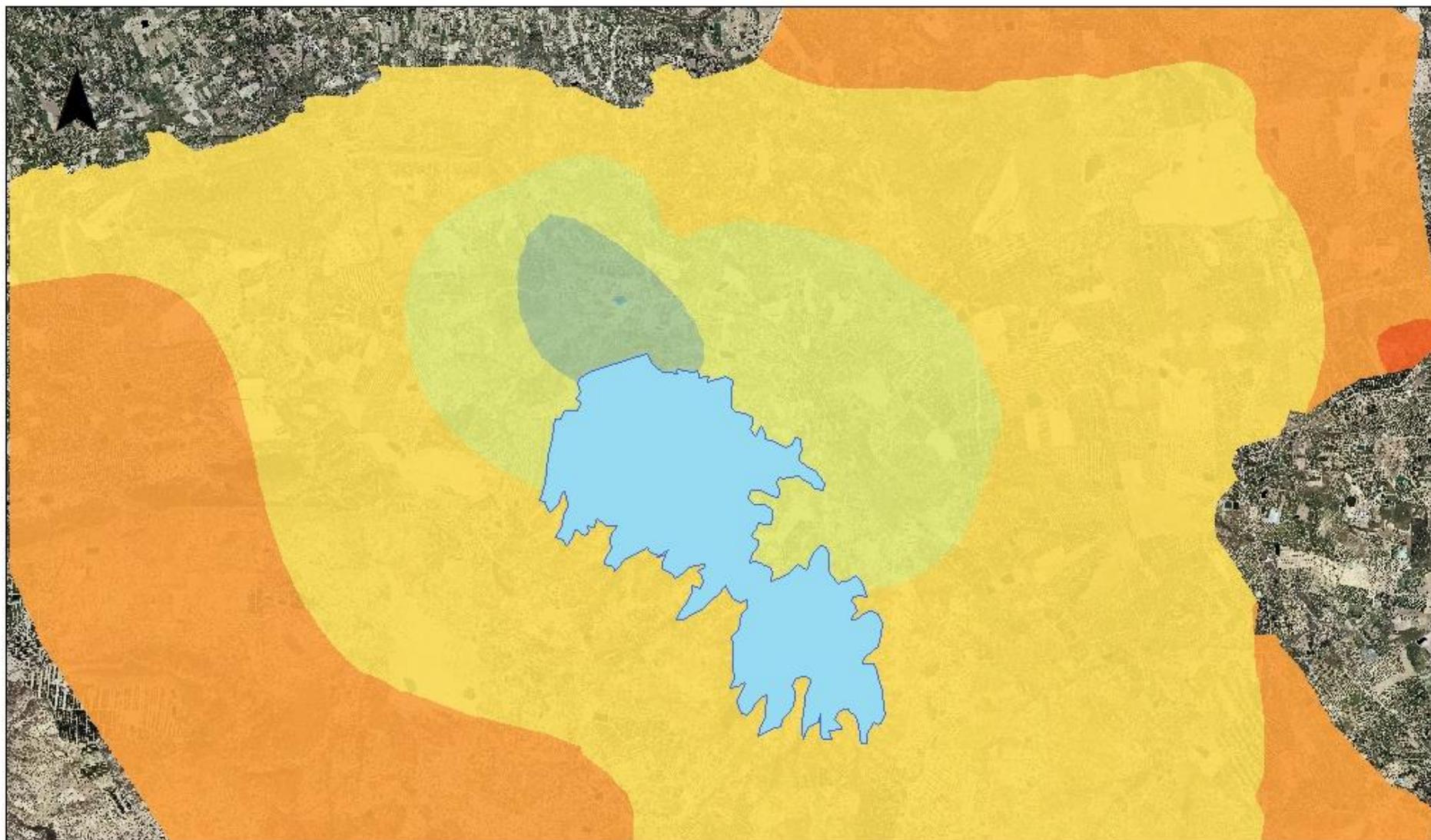
Limo %

	<20		30 - 40		>50
	20 - 30		40 - 50		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Fracción Textural Limo
80-100 cm



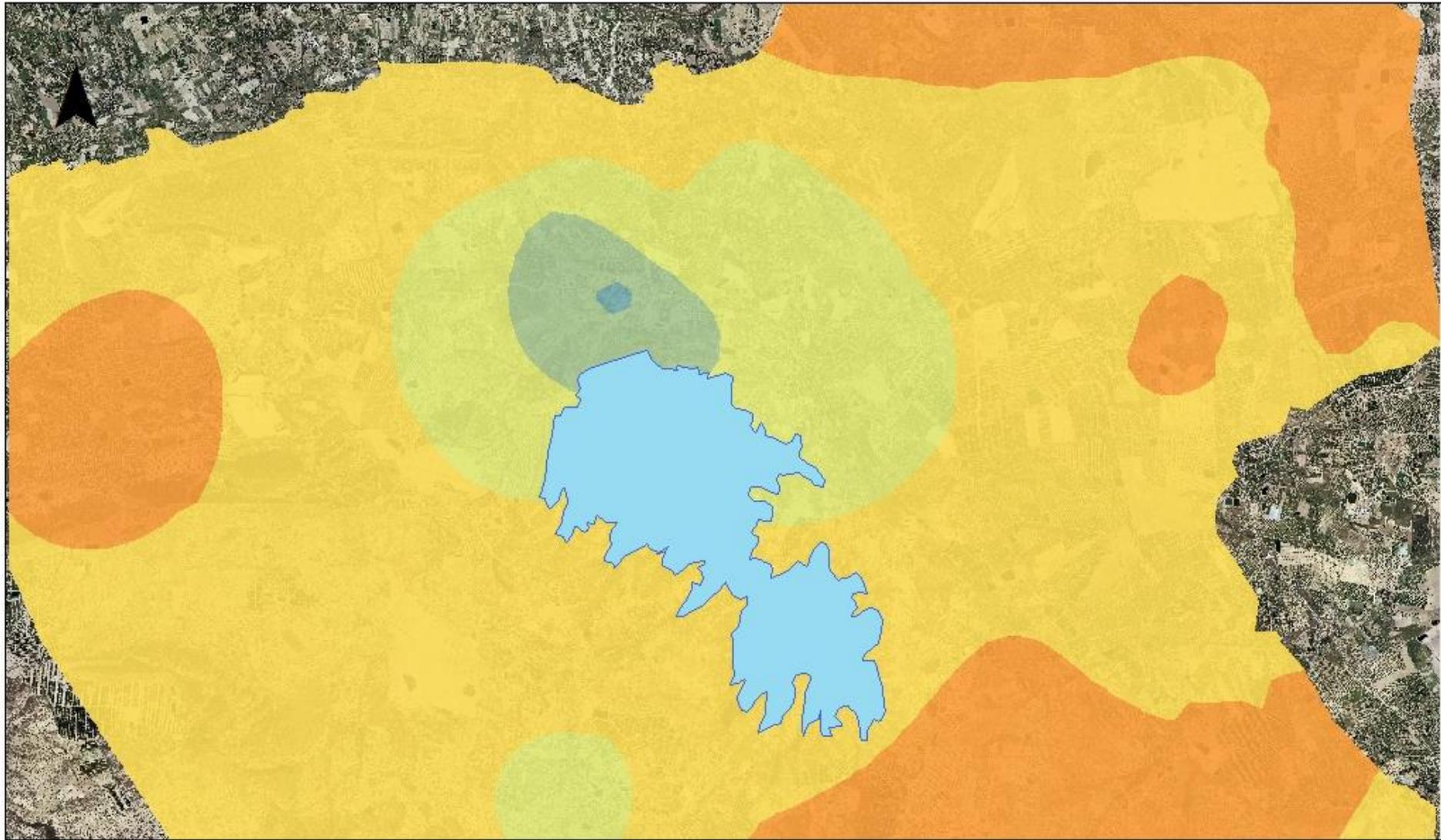
Leyenda

pH 1/2.5	 <7,5	 8 – 8,25	 8,5 – 8,75	 9 – 9,25
	 7,5 – 8	 8,25 – 8,5	 8,75 – 9	 >9,25

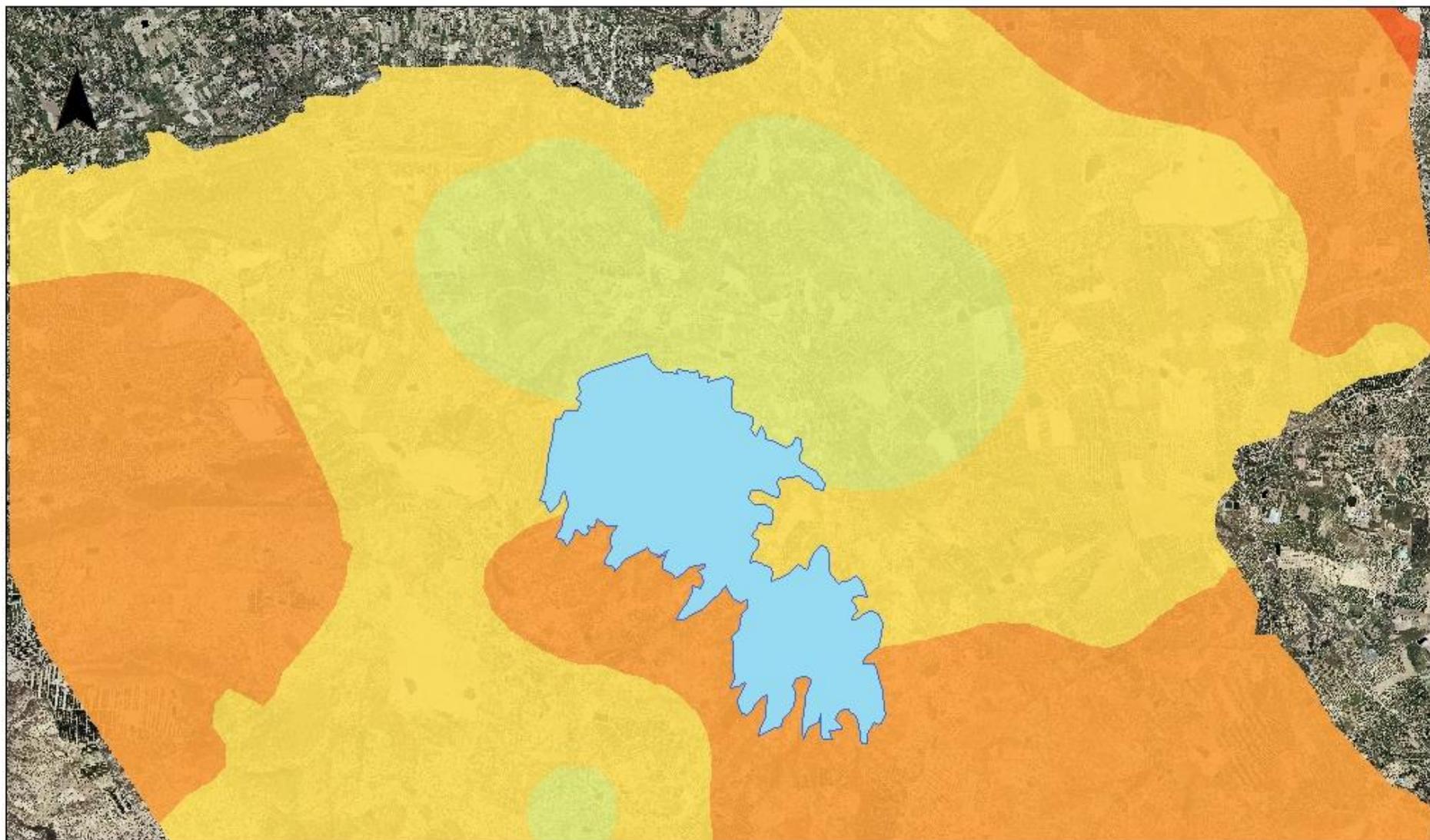
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

pH 1/2.5 (agua) del suelo
0-20 cm



**pH 1/2.5 (agua) del suelo
20-40 cm**



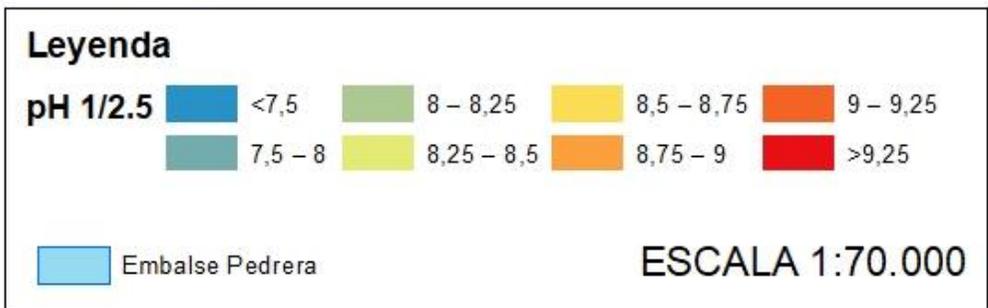
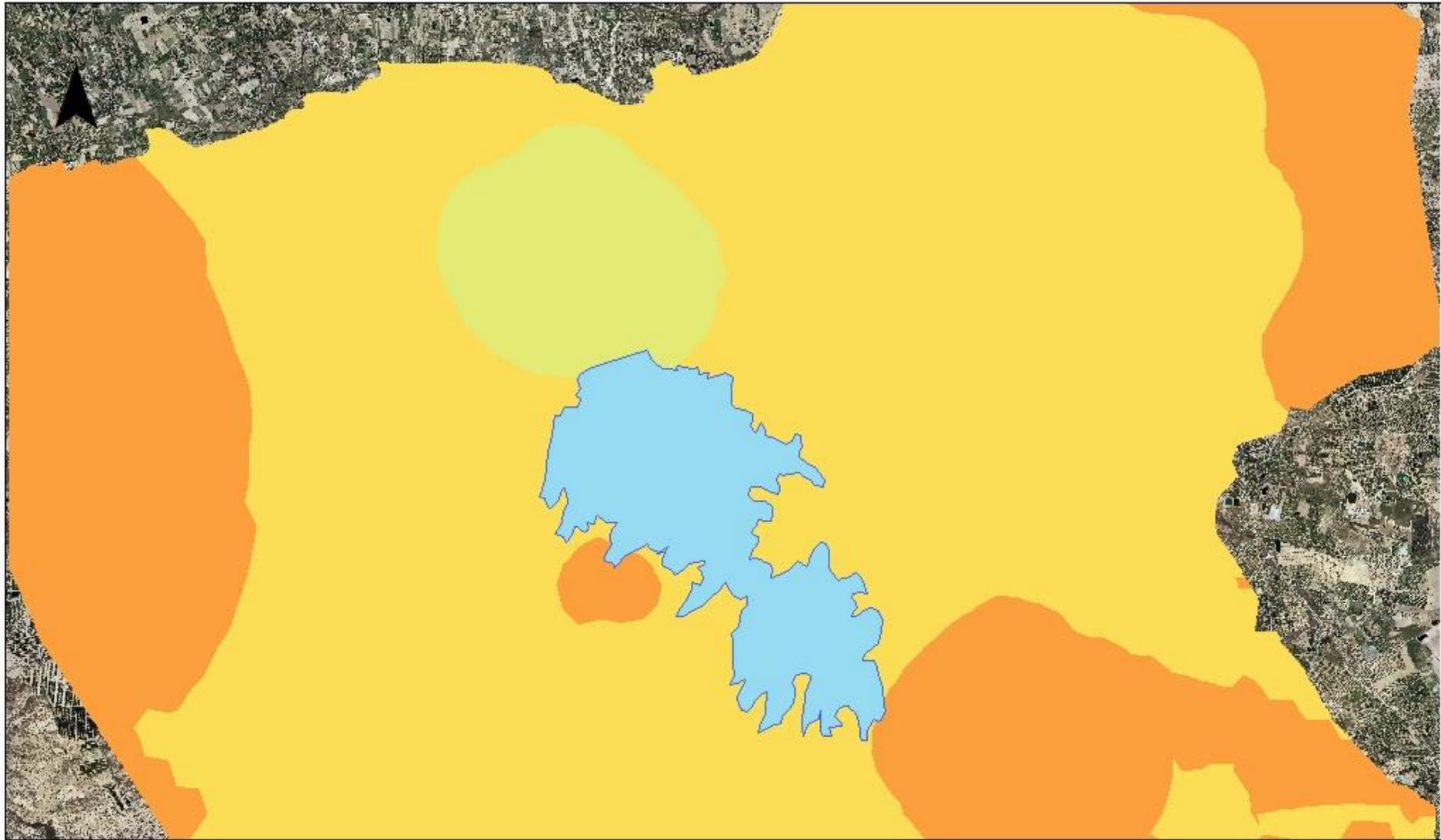
Leyenda

pH 1/2.5	 < 7,5	 8 – 8,25	 8,5 – 8,75	 9 – 9,25
	 7,5 – 8	 8,25 – 8,5	 8,75 – 9	 >9,25

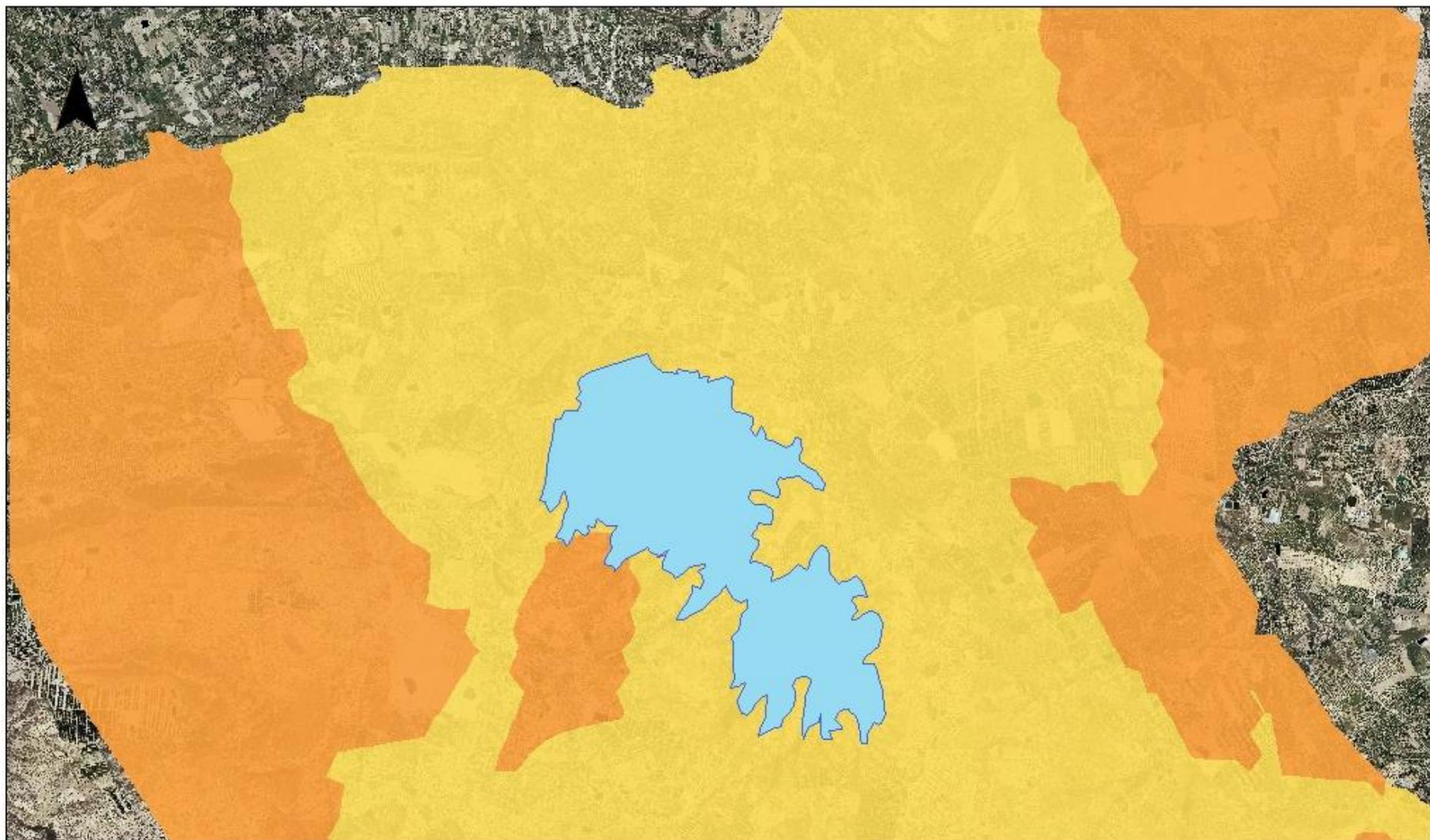
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

pH 1/2.5 (agua) del suelo
40-60 cm



pH 1/2.5 (agua) del suelo
60-80 cm



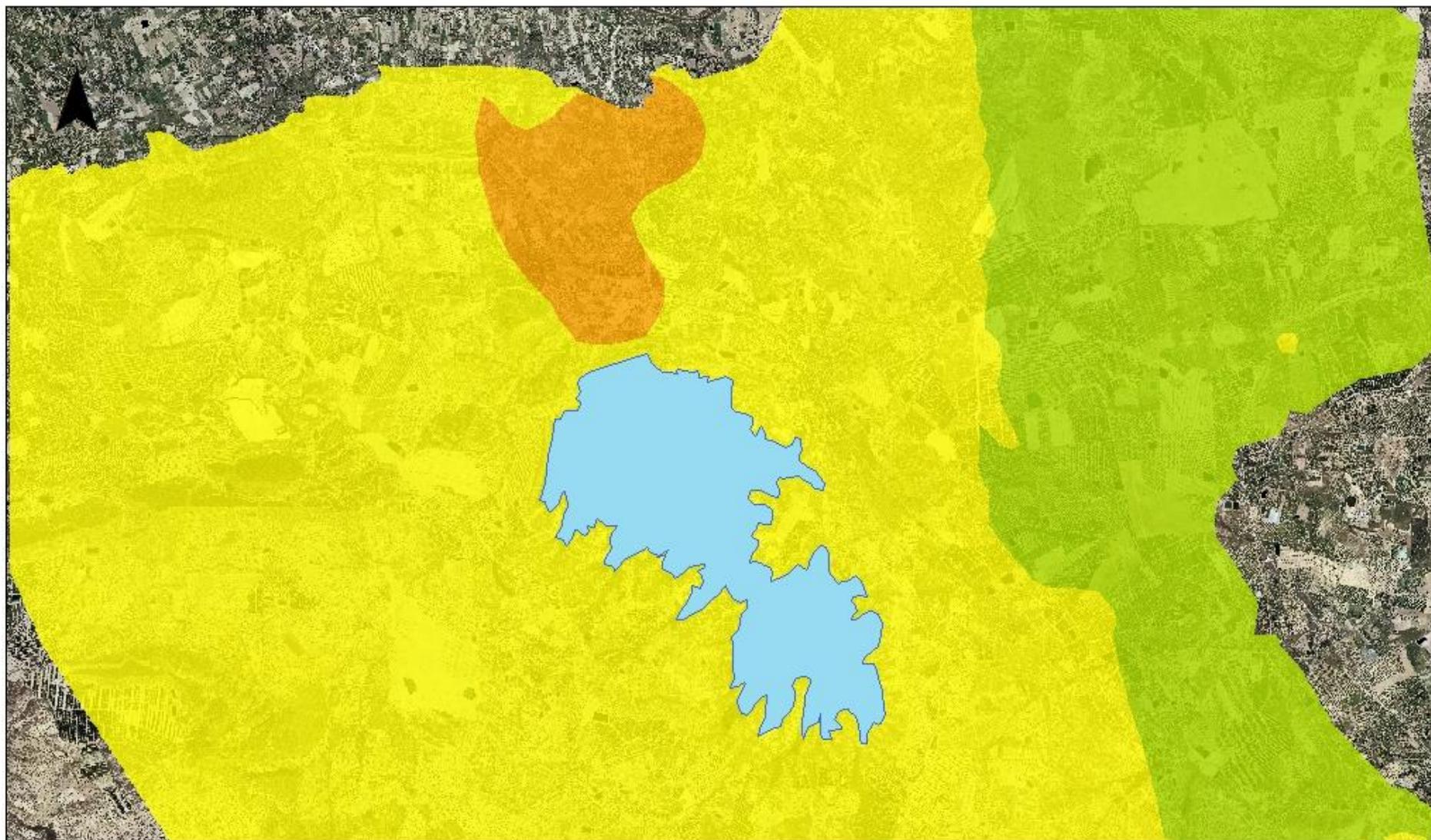
Leyenda

pH 1/2.5	 <7,5	 8 – 8,25	 8,5 – 8,75	 9 – 9,25
	 7,5 – 8	 8,25 – 8,5	 8,75 – 9	 >9,25

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

pH 1/2.5 (agua) del suelo
80-100 cm



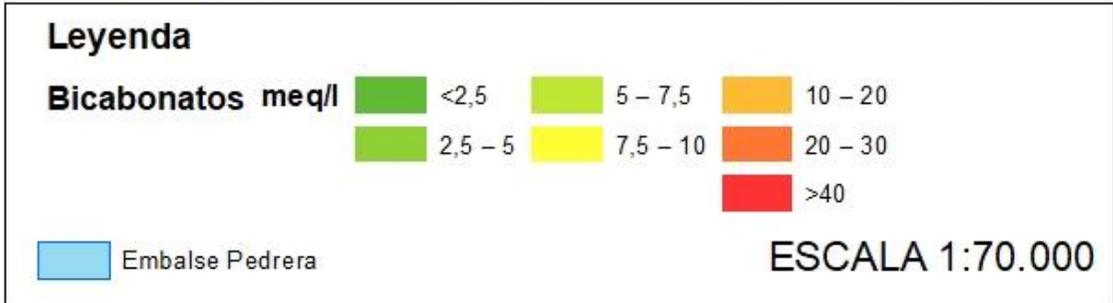
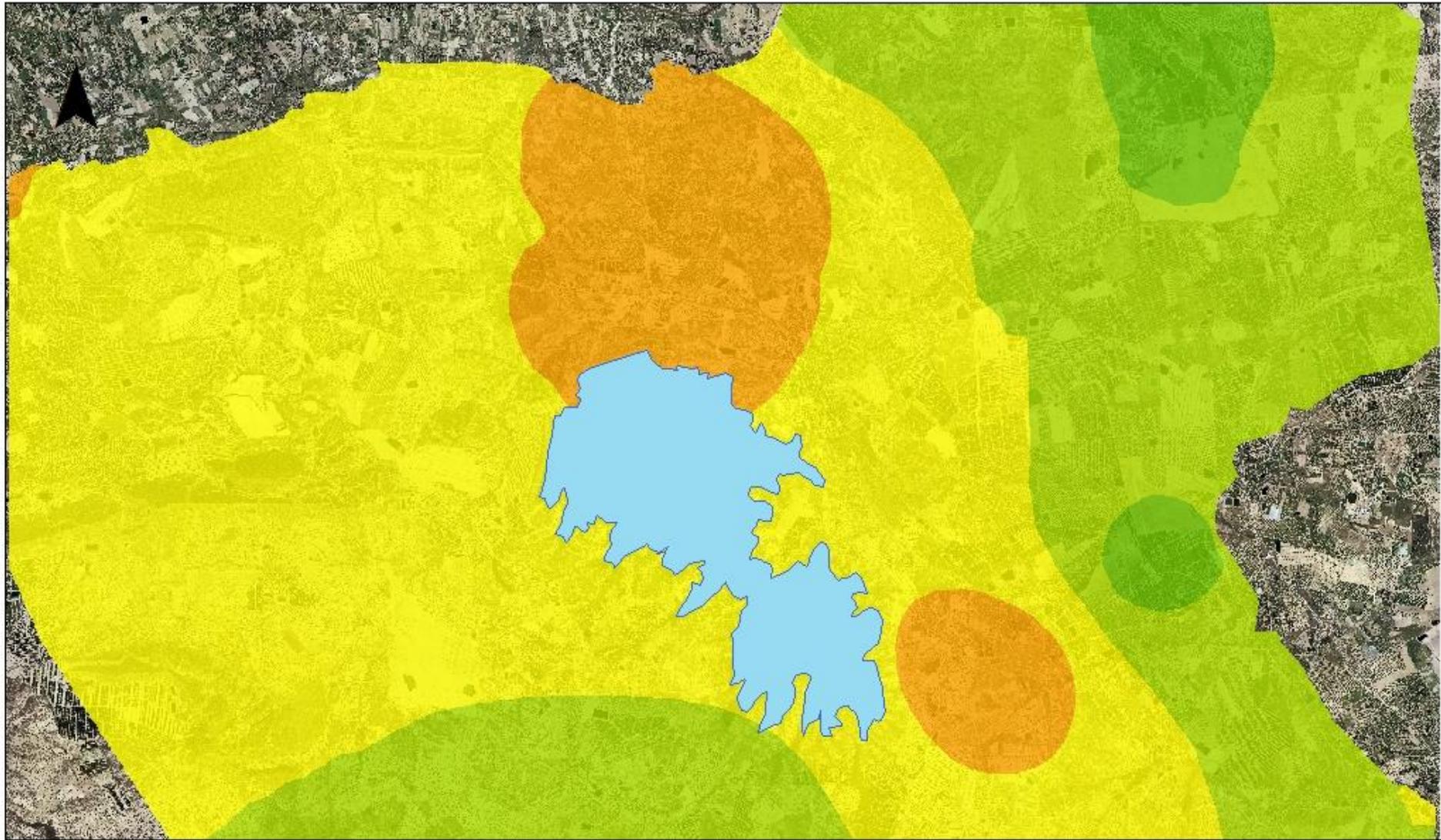
Leyenda

Bicarbonatos meq/l	 <2,5	 5 - 7,5	 10 - 20
	 2,5 - 5	 7,5 - 10	 20 - 30
			 >40

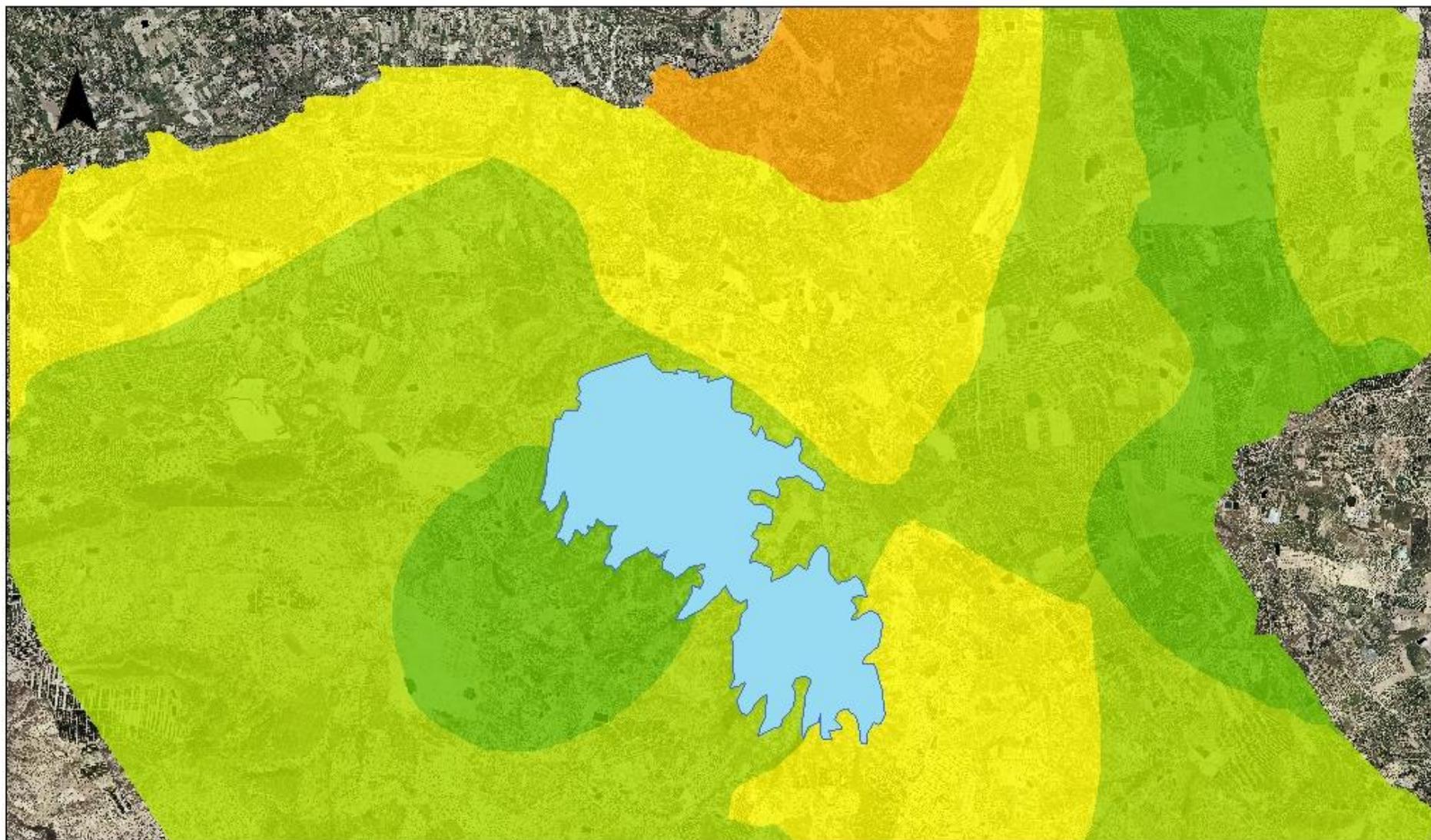
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Bicarbonato
en suelo
0-20 cm**



**Concentración de Bicarbonato
en suelo
20-40 cm**



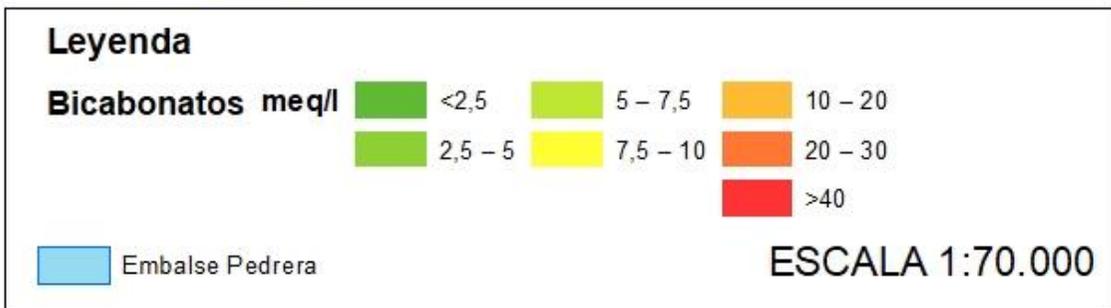
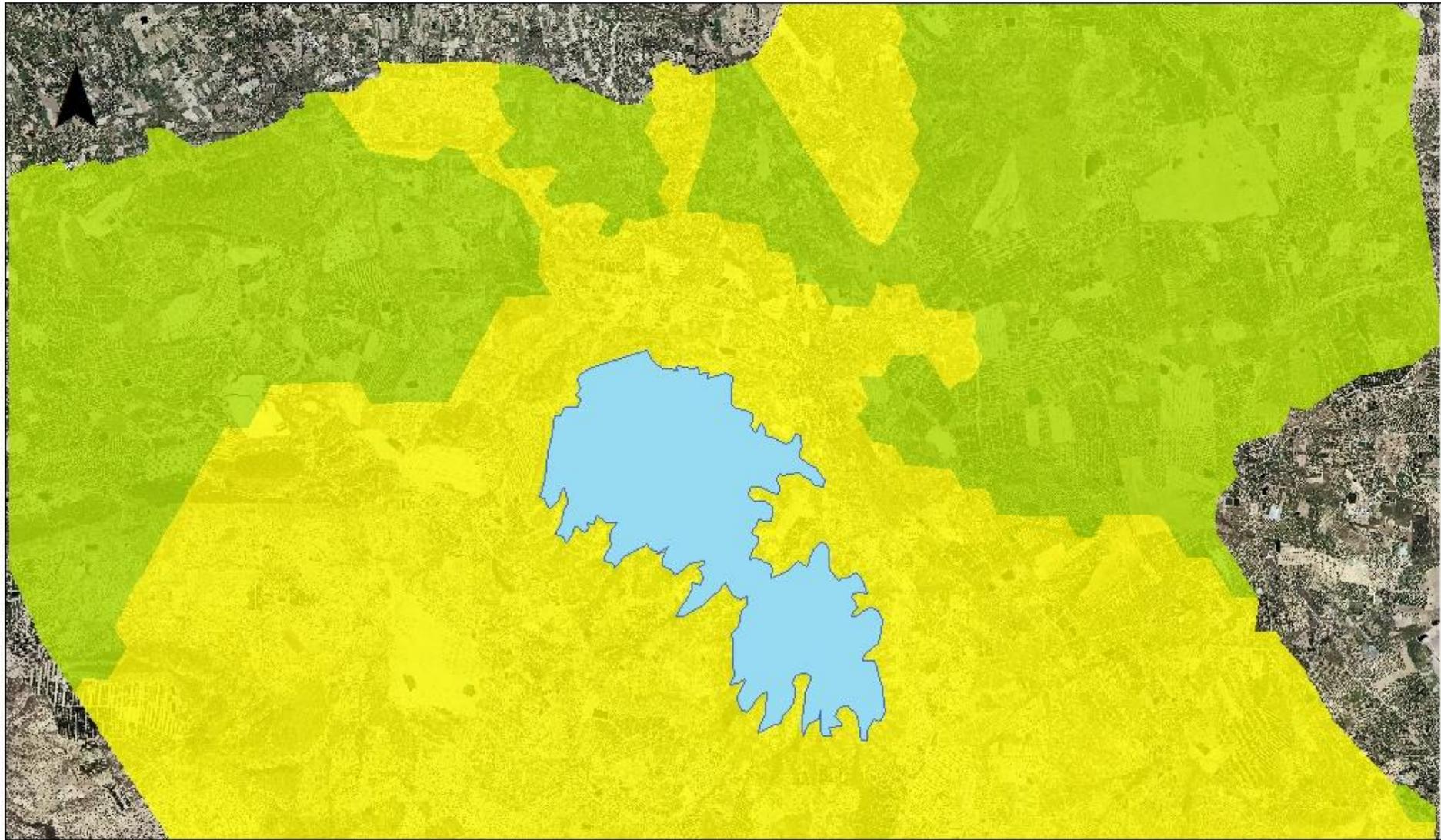
Leyenda

Bicarbonatos meq/l	 <2,5	 5 - 7,5	 10 - 20
	 2,5 - 5	 7,5 - 10	 20 - 30
			 >40

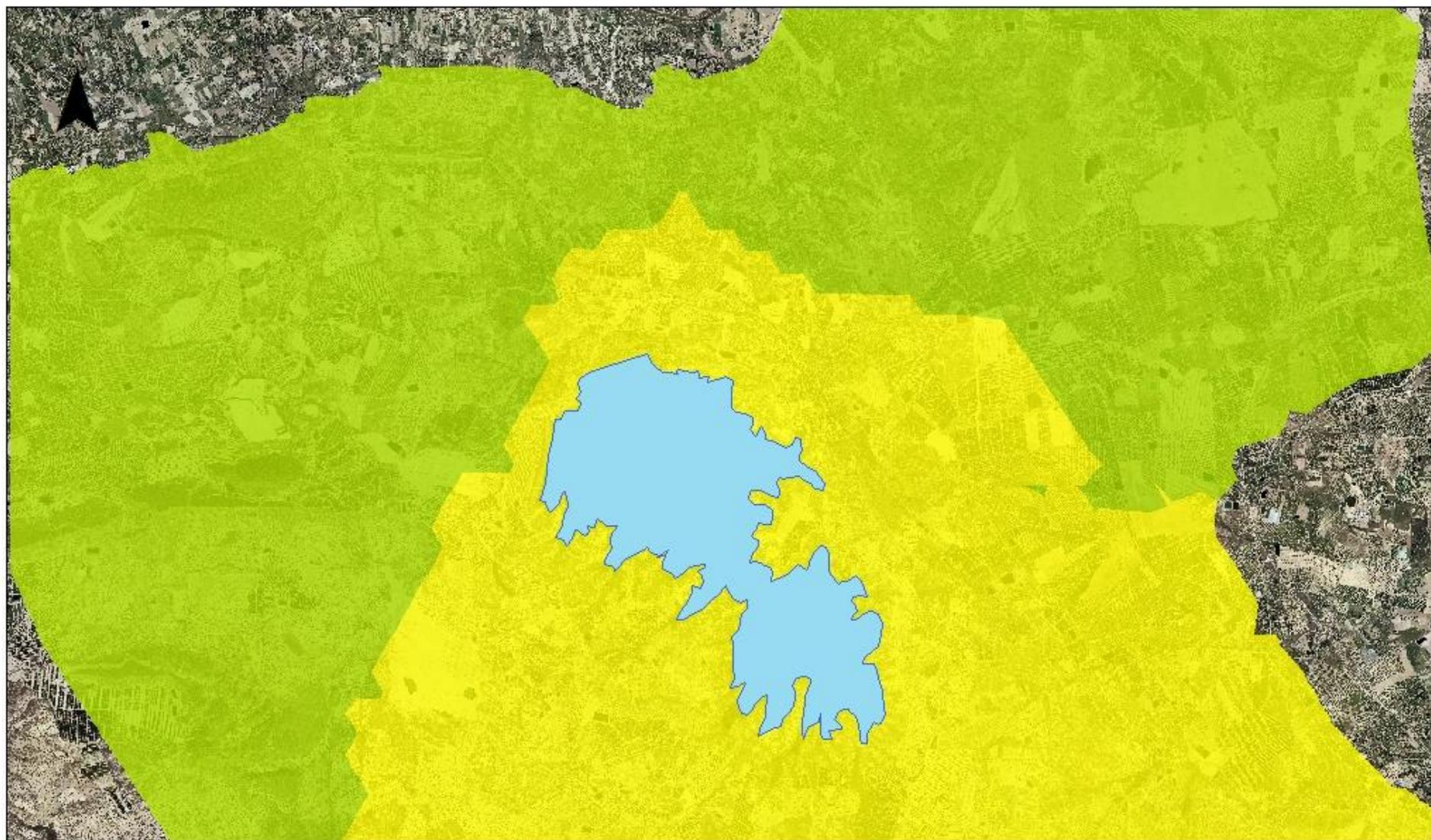
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Bicarbonato
en suelo
40-60 cm**



Concentración de Bicarbonato
en suelo
60-80 cm



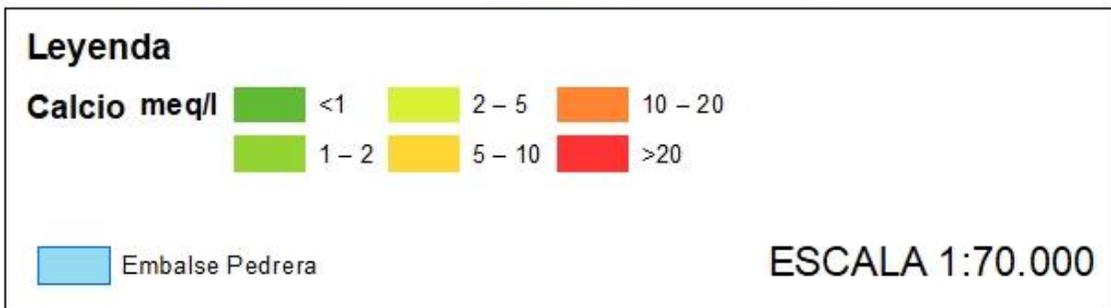
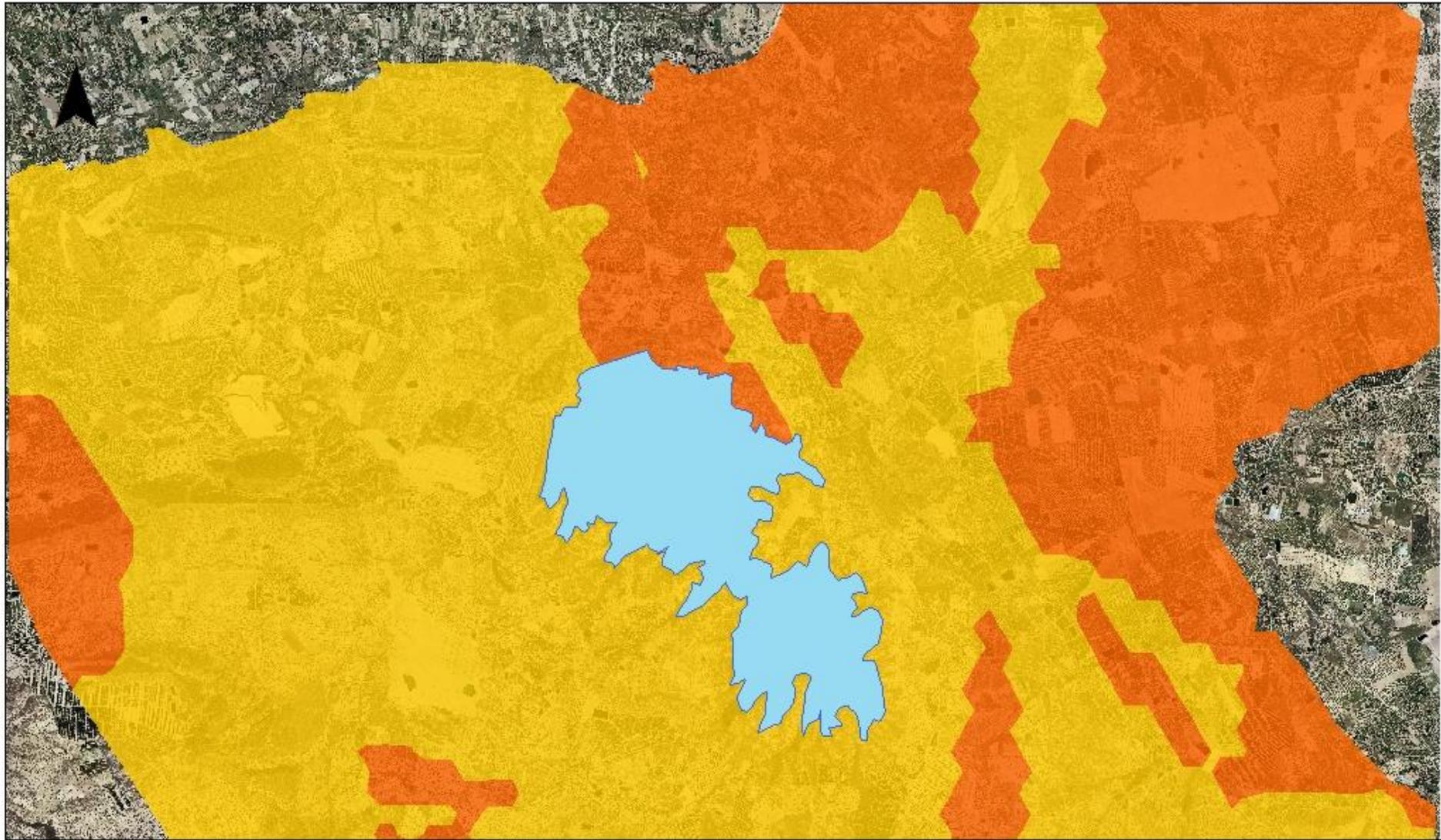
Leyenda

Bicarbonatos meq/l	 <2,5	 5 - 7,5	 10 - 20
	 2,5 - 5	 7,5 - 10	 20 - 30
			 >40

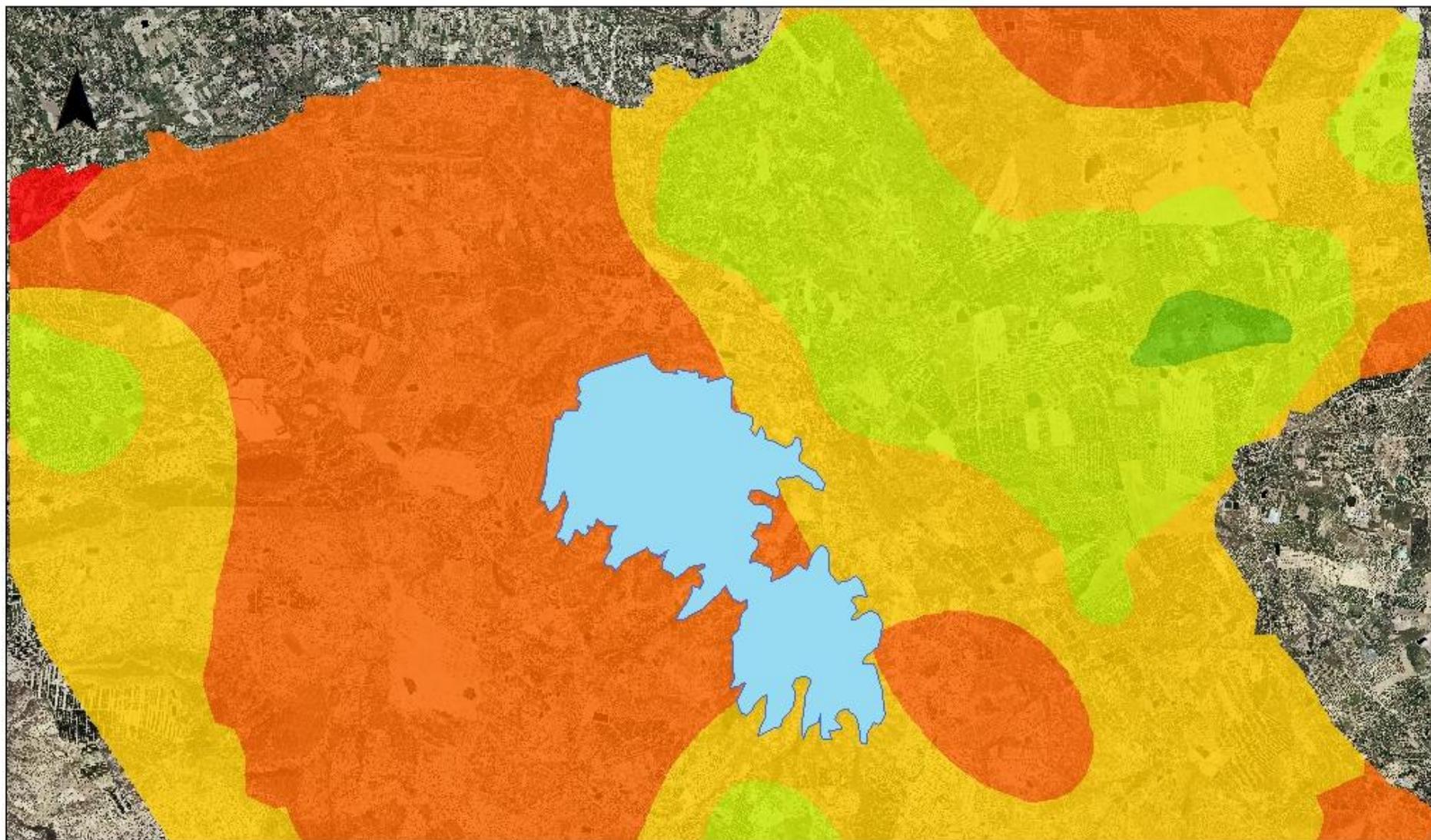
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Bicarbonato
en suelo
80-100 cm**



Concentración de Calcio
en suelo
0-20 cm



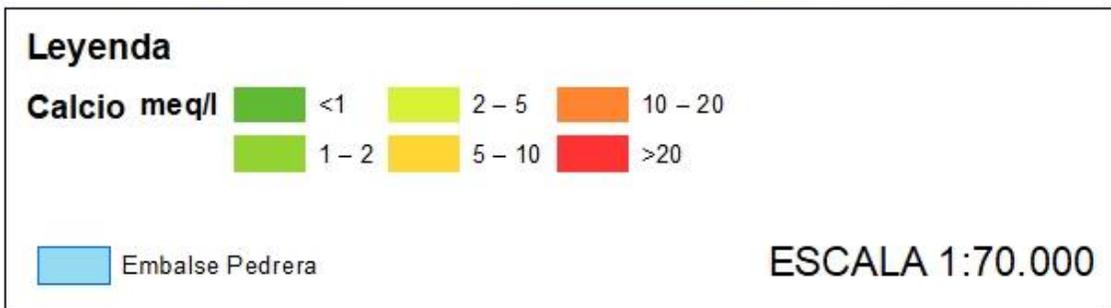
Leyenda

Calcio meq/l	 <1	 2 - 5	 10 - 20
	 1 - 2	 5 - 10	 >20

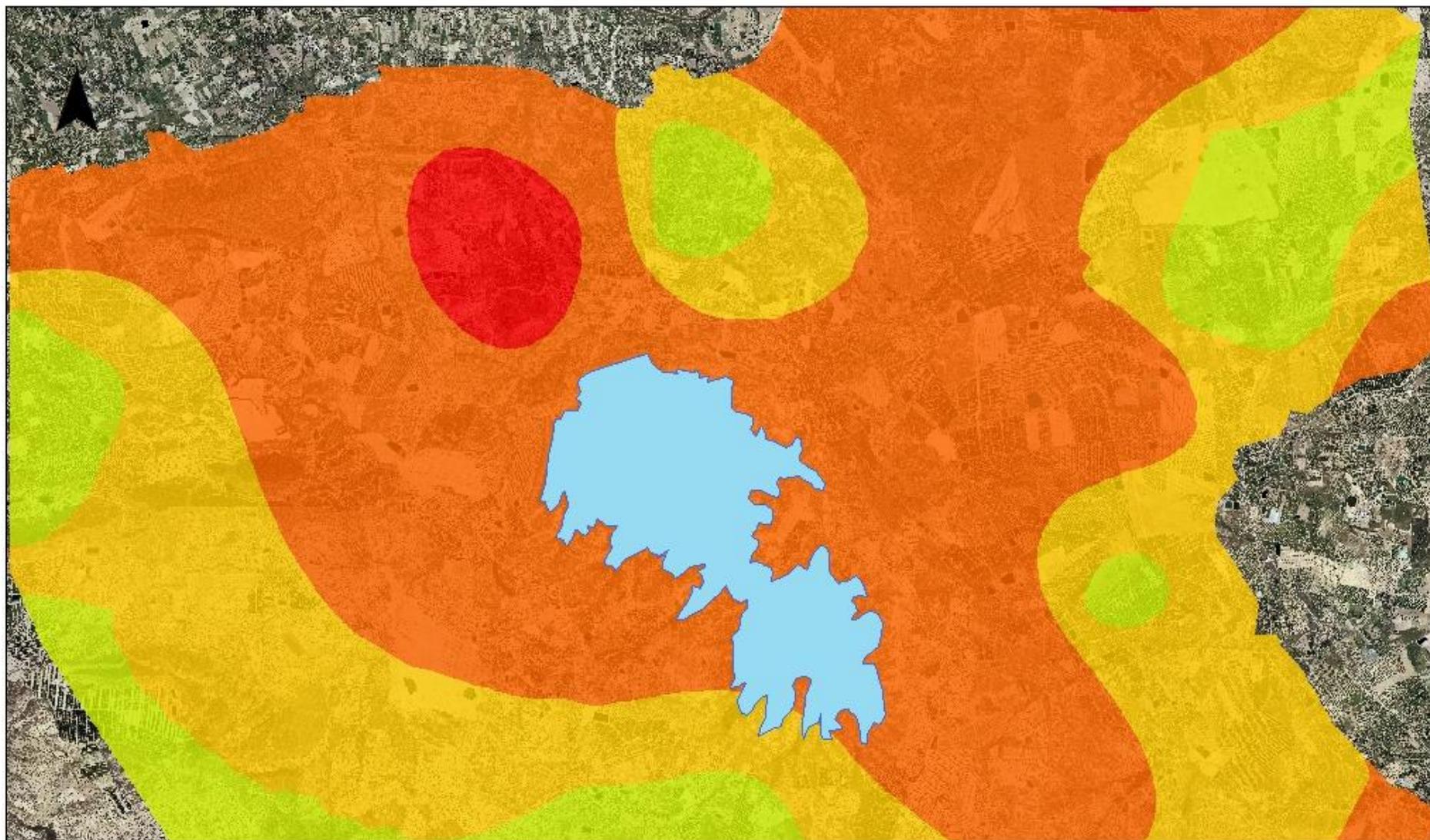
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Calcio
en suelo
20-40 cm**



Concentración de Calcio
en suelo
40-60 cm



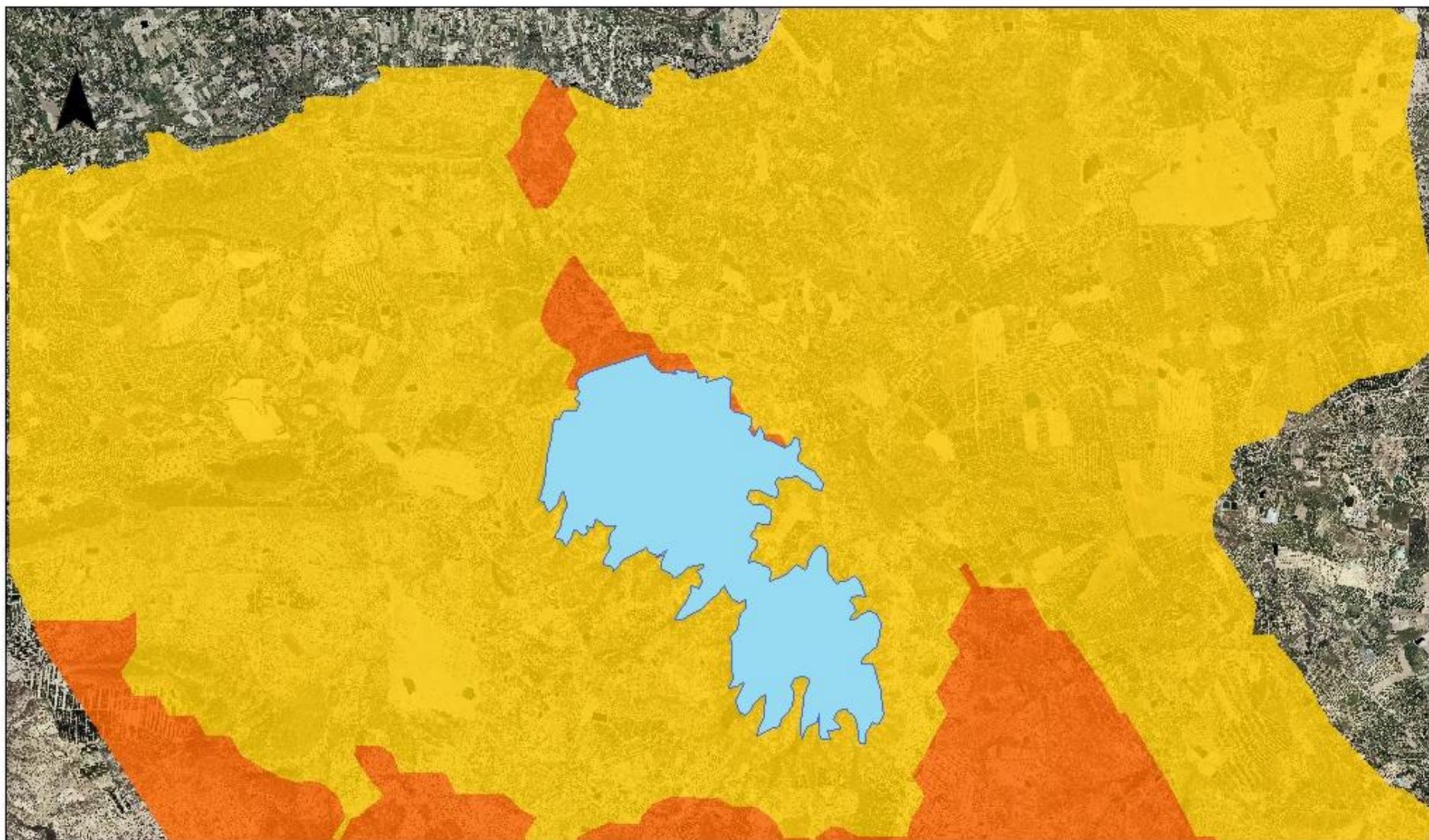
Concentración de Calcio
en suelo
60-80 cm

Leyenda

Calcio meq/l	 <1	 2 - 5	 10 - 20
	 1 - 2	 5 - 10	 >20

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



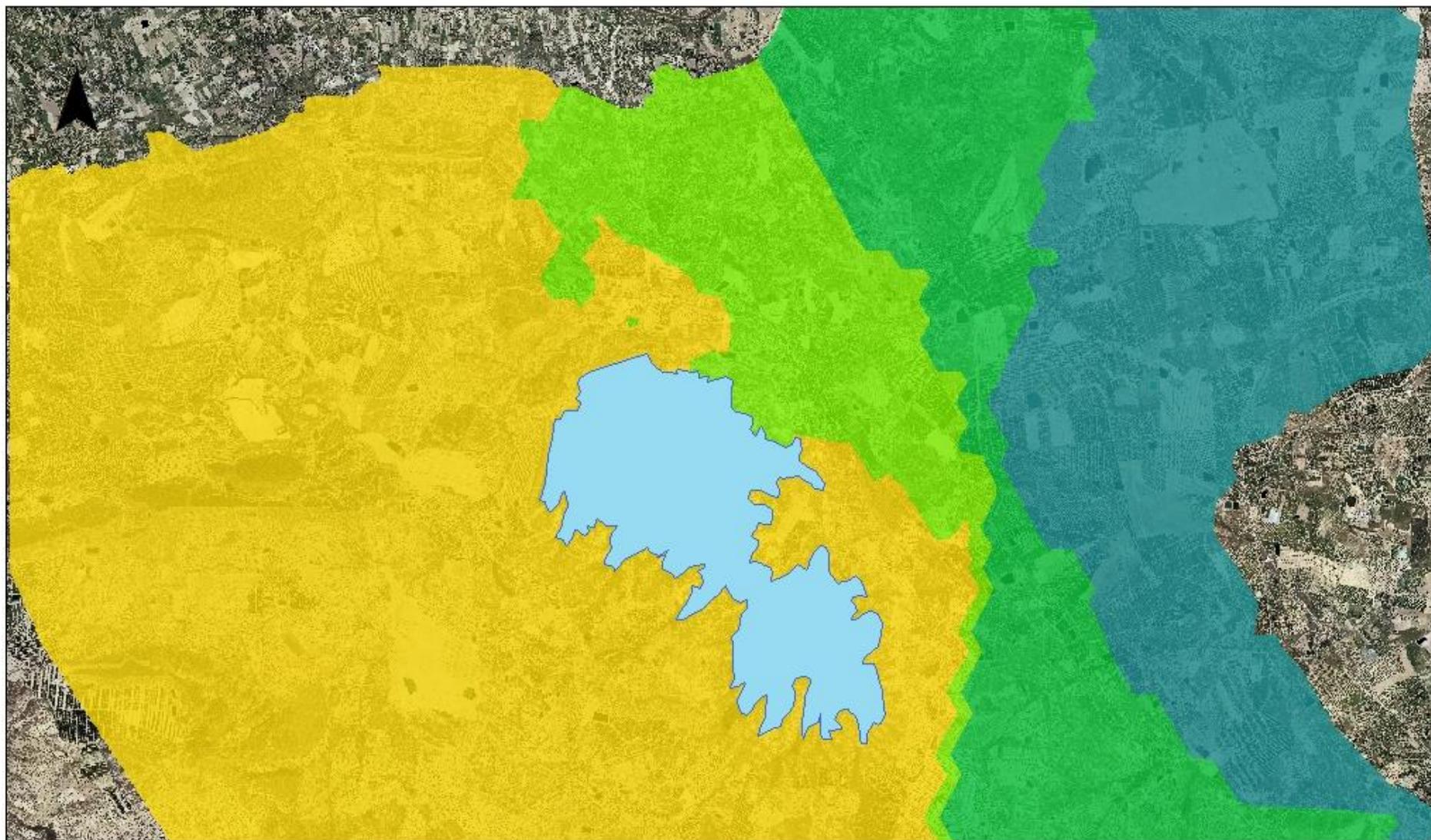
Leyenda

Calcio meq/l	 <1	 2 - 5	 10 - 20
	 1 - 2	 5 - 10	 >20

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Concentración de Calcio
en suelo
80-100 cm



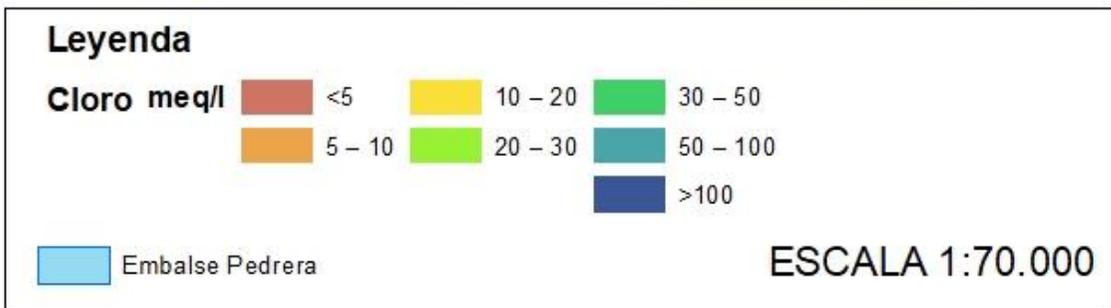
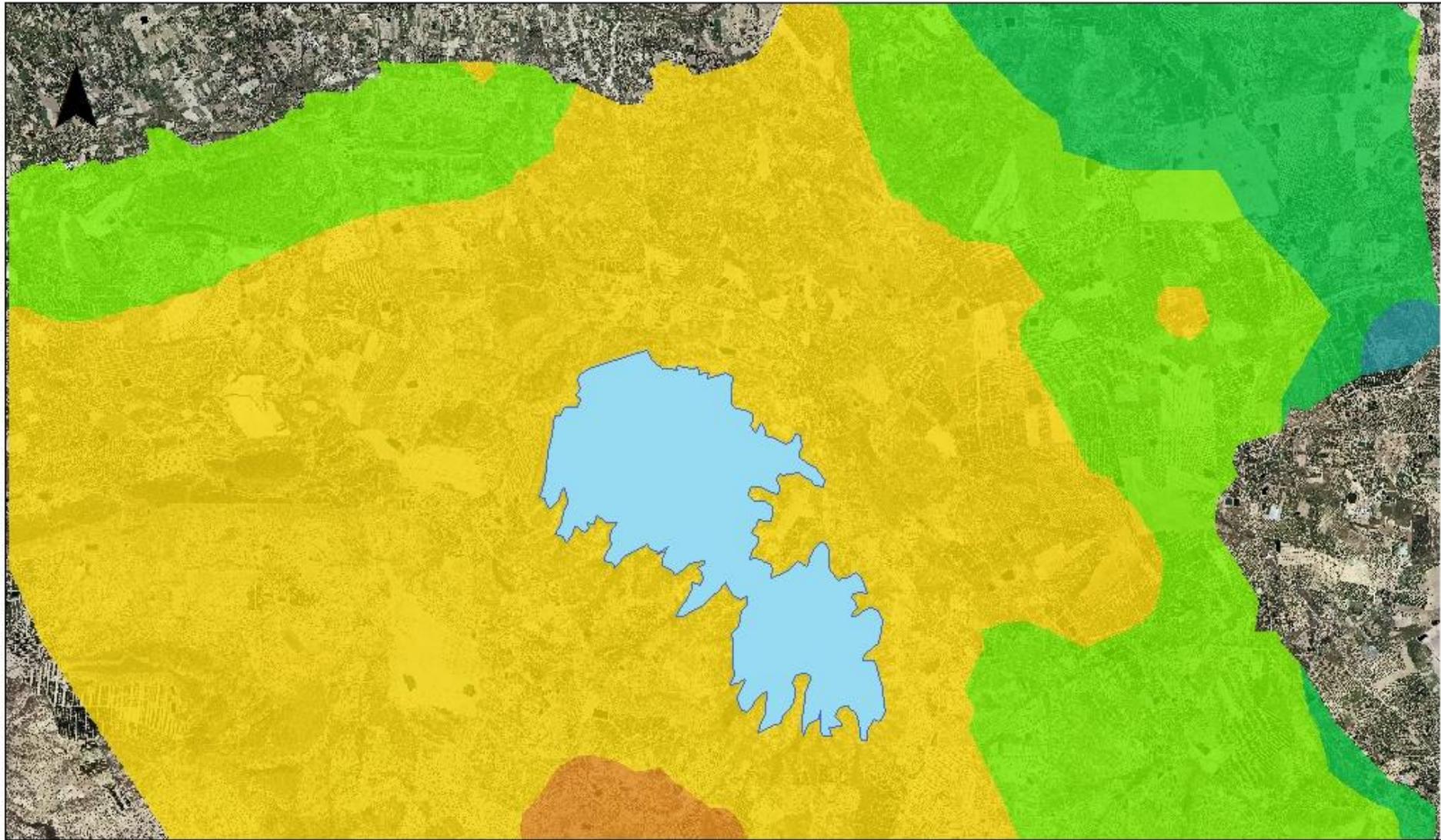
Leyenda

Cloro meq/l	 <5	 10 - 20	 30 - 50
	 5 - 10	 20 - 30	 50 - 100
			 >100

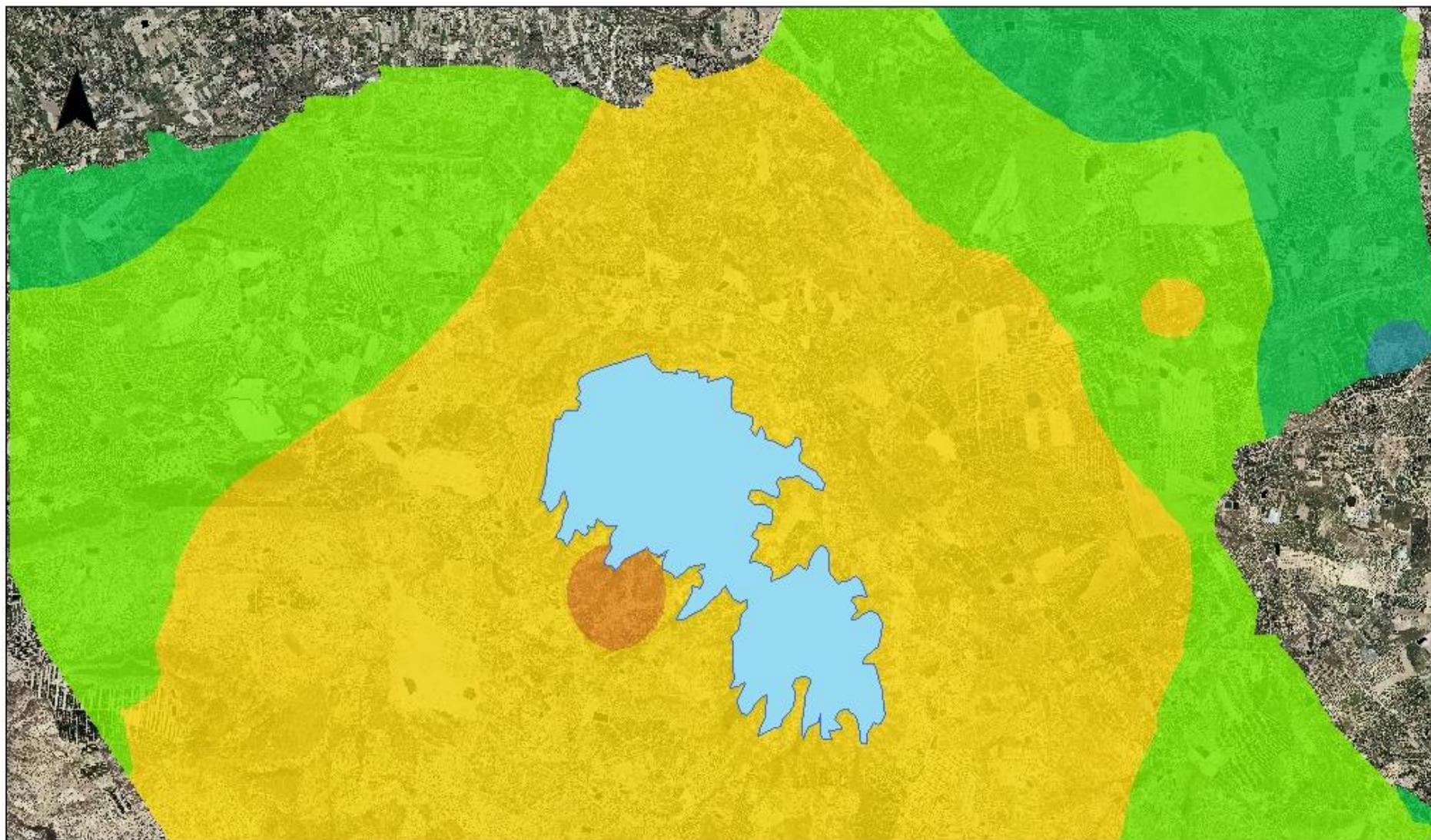
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Cloruro
en suelo
0-20 cm**



Concentración de Cloruro
en suelo
20-40 cm



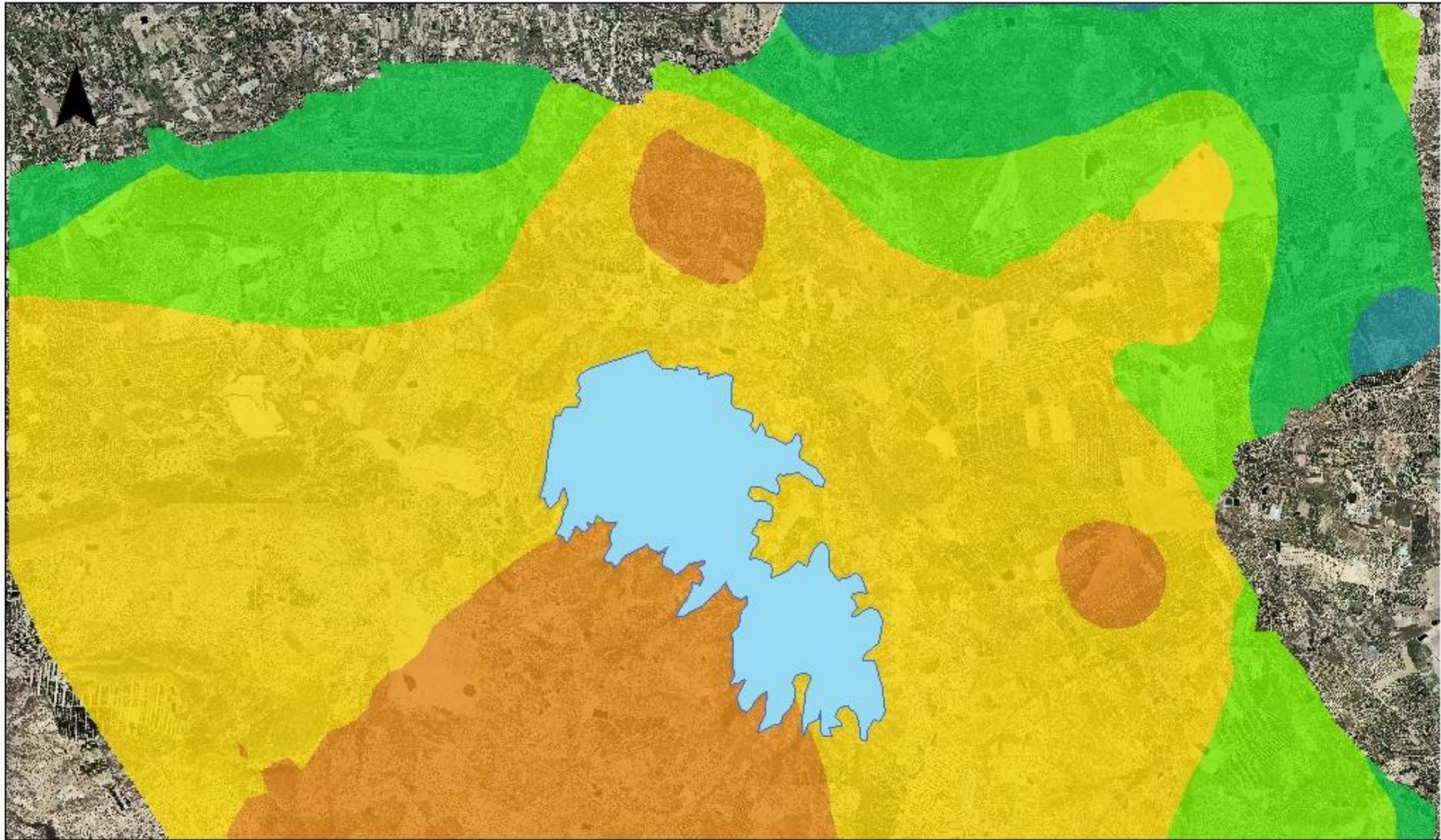
Leyenda

Cloro meq/l	 <5	 10 – 20	 30 – 50
	 5 – 10	 20 – 30	 50 – 100
			 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Cloruro
en suelo
40-60 cm**



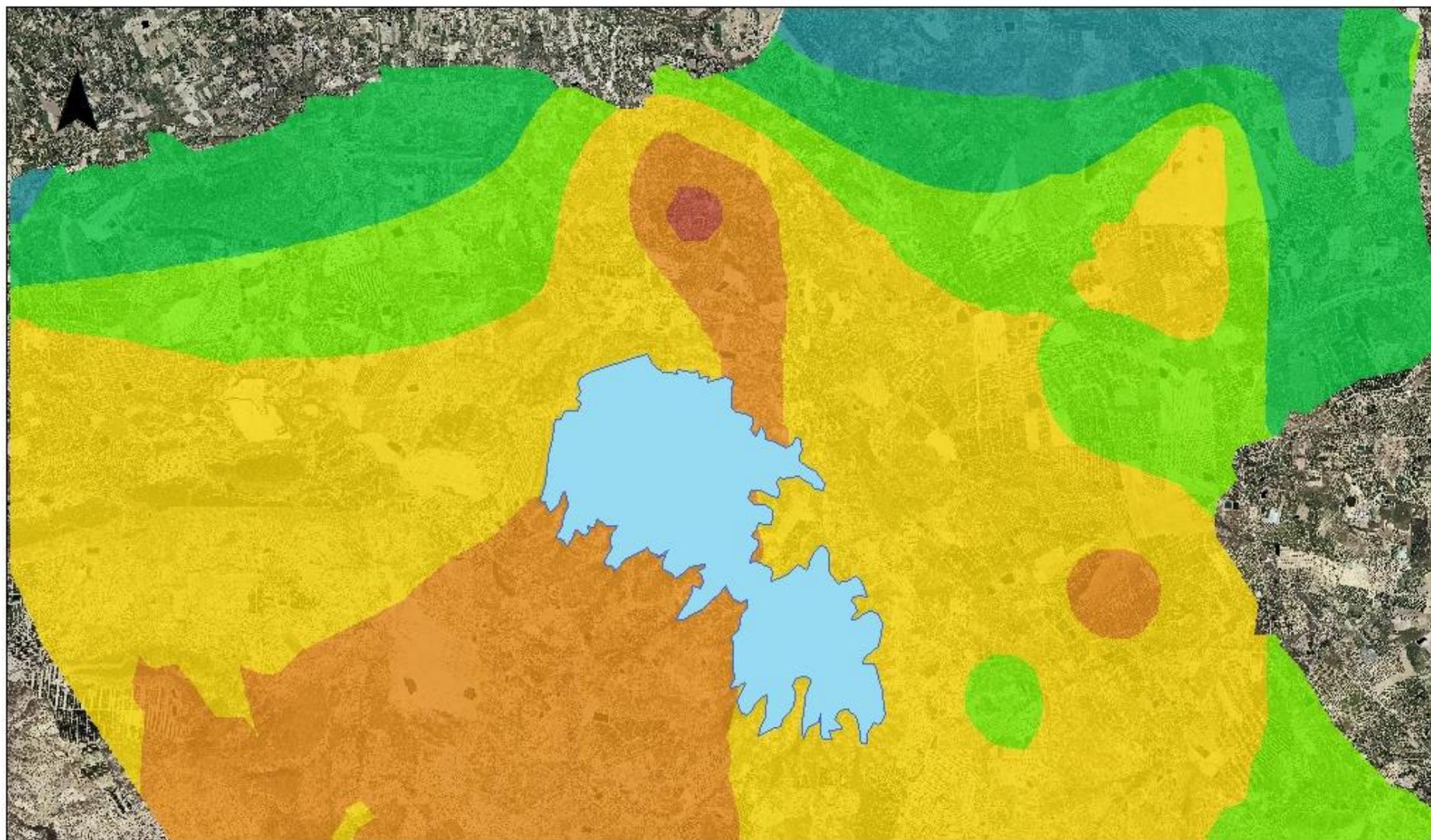
Leyenda

Cloro meq/l	 <5	 10 - 20	 30 - 50
	 5 - 10	 20 - 30	 50 - 100
			 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Cloruro
en suelo
60-80 cm**



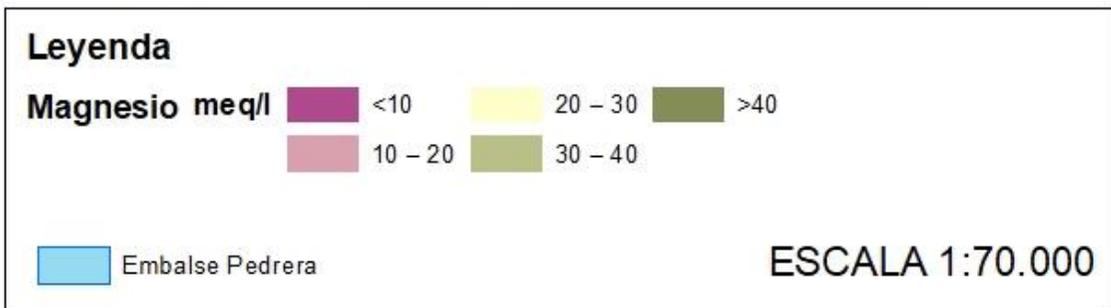
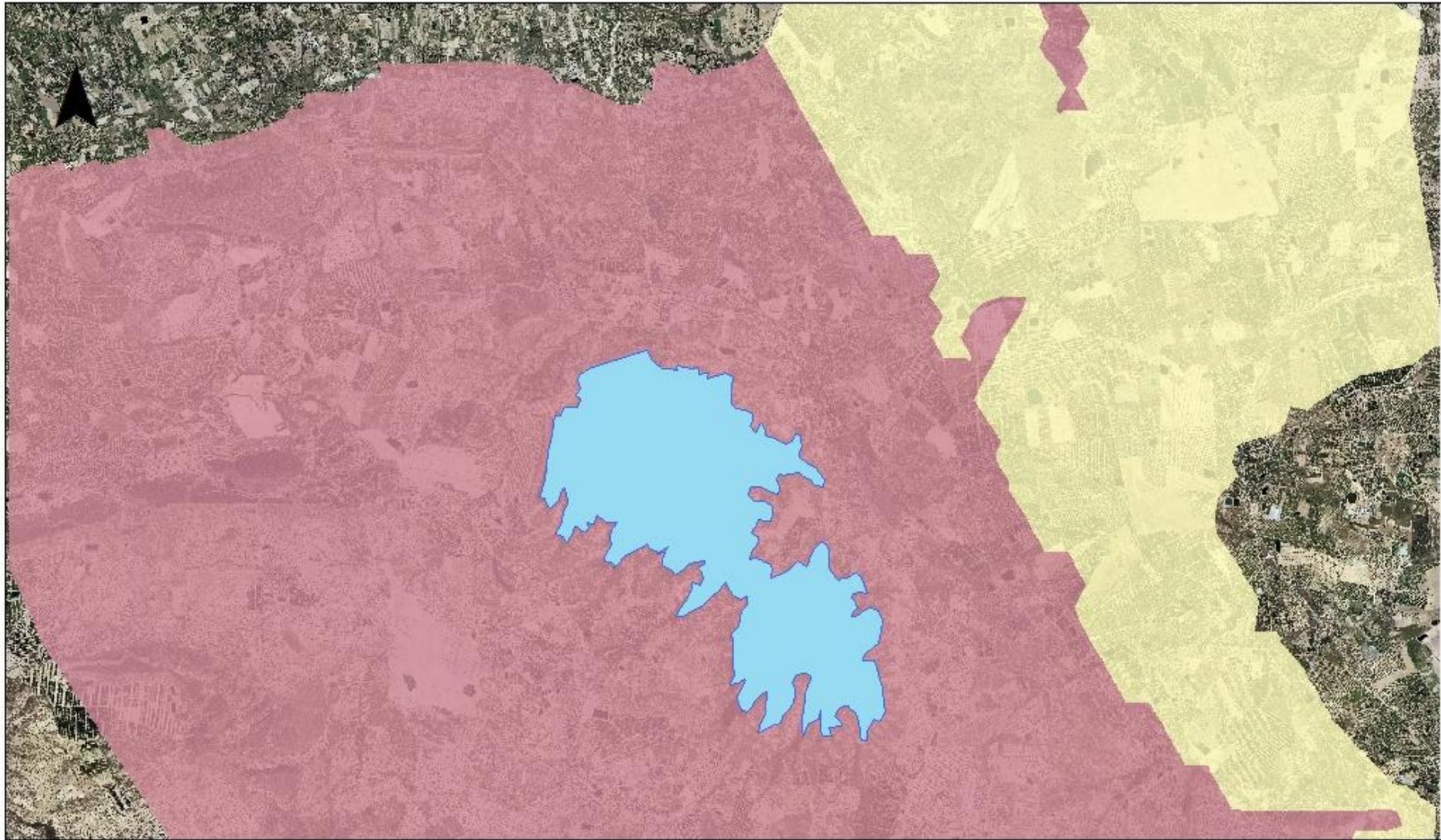
Leyenda

Cloro meq/l	 <5	 10 - 20	 30 - 50
	 5 - 10	 20 - 30	 50 - 100
			 >100

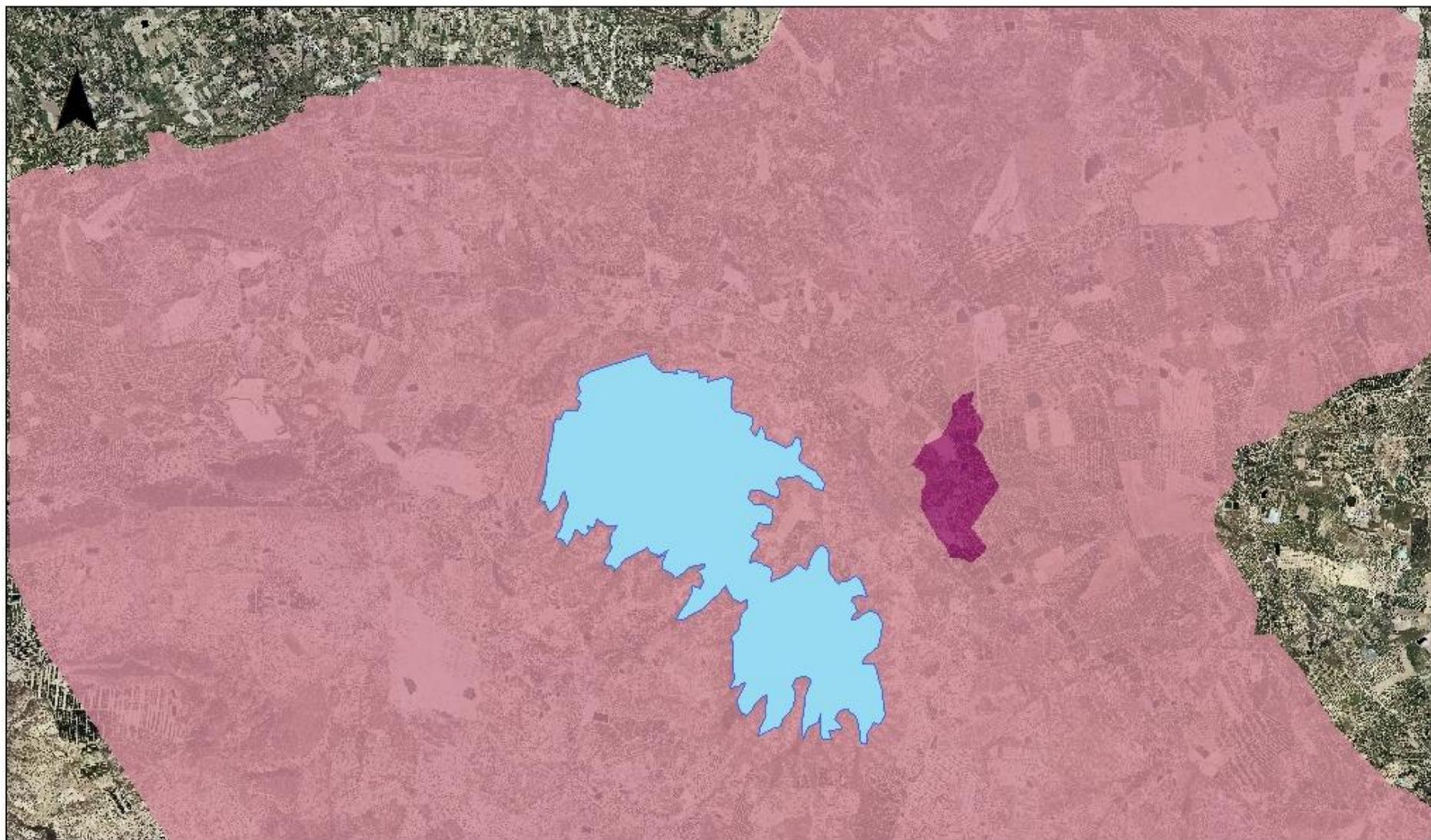
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Concentración de Cloruro
en suelo
80-100 cm



Concentración de Magnesio
en suelo
0-20 cm



Leyenda

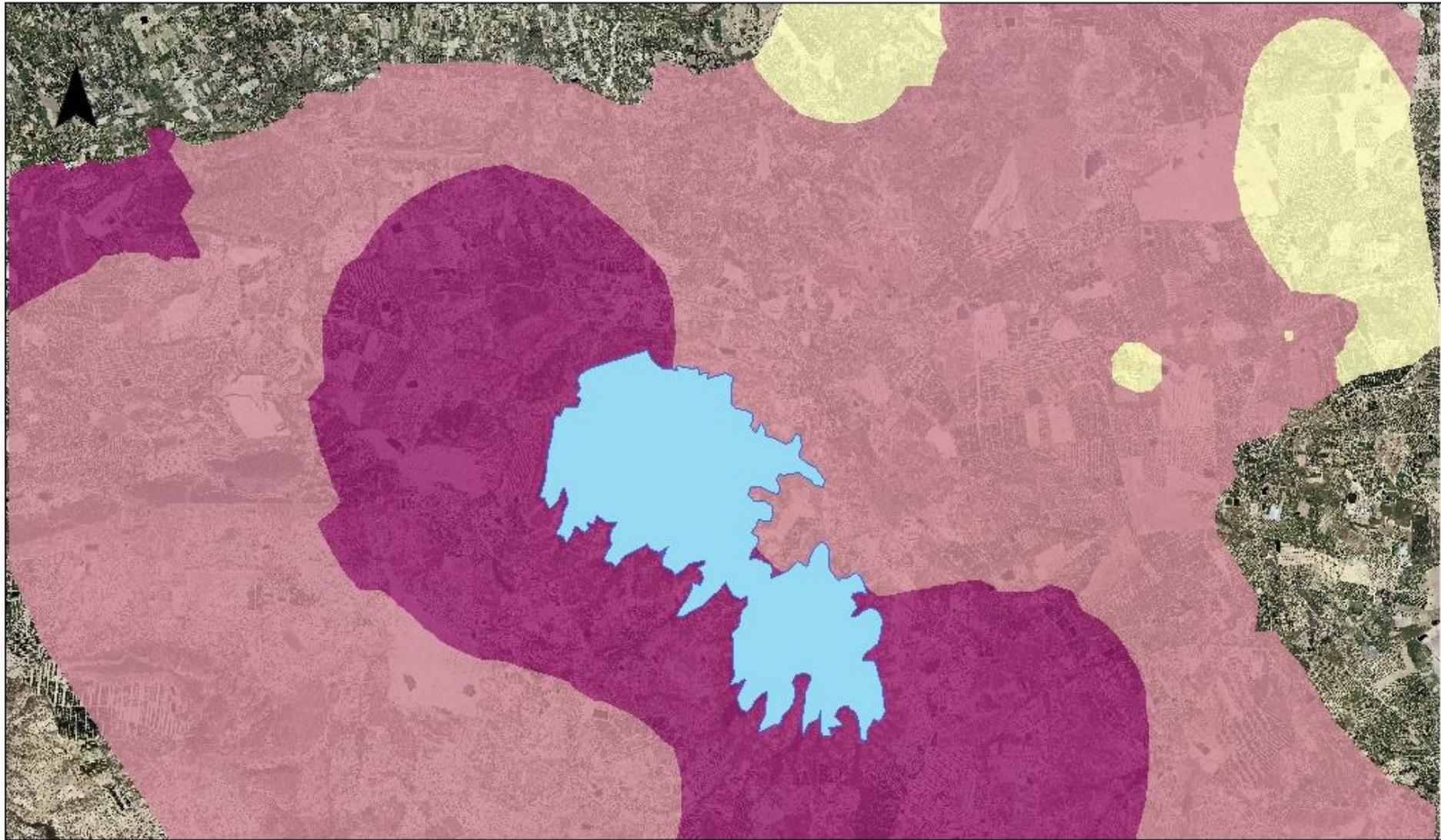
Magnesio meq/l

	<10		20 – 30		>40
	10 – 20		30 – 40		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Magnesio
en suelo
20-40 cm**



Leyenda

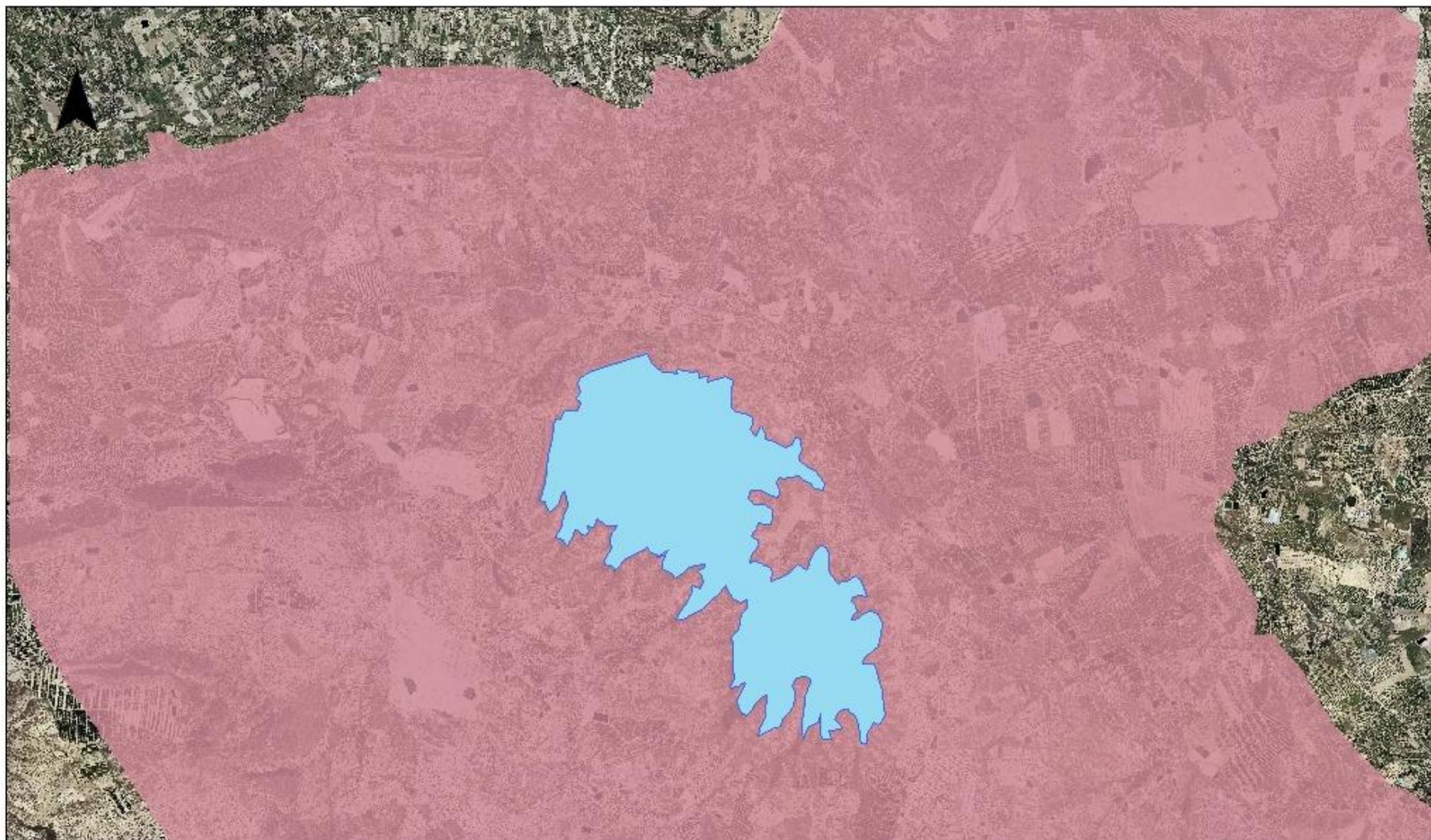
Magnesio meq/l

	<10		20 - 30		>40
	10 - 20		30 - 40		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Magnesio
en suelo
40-60 cm**



Leyenda

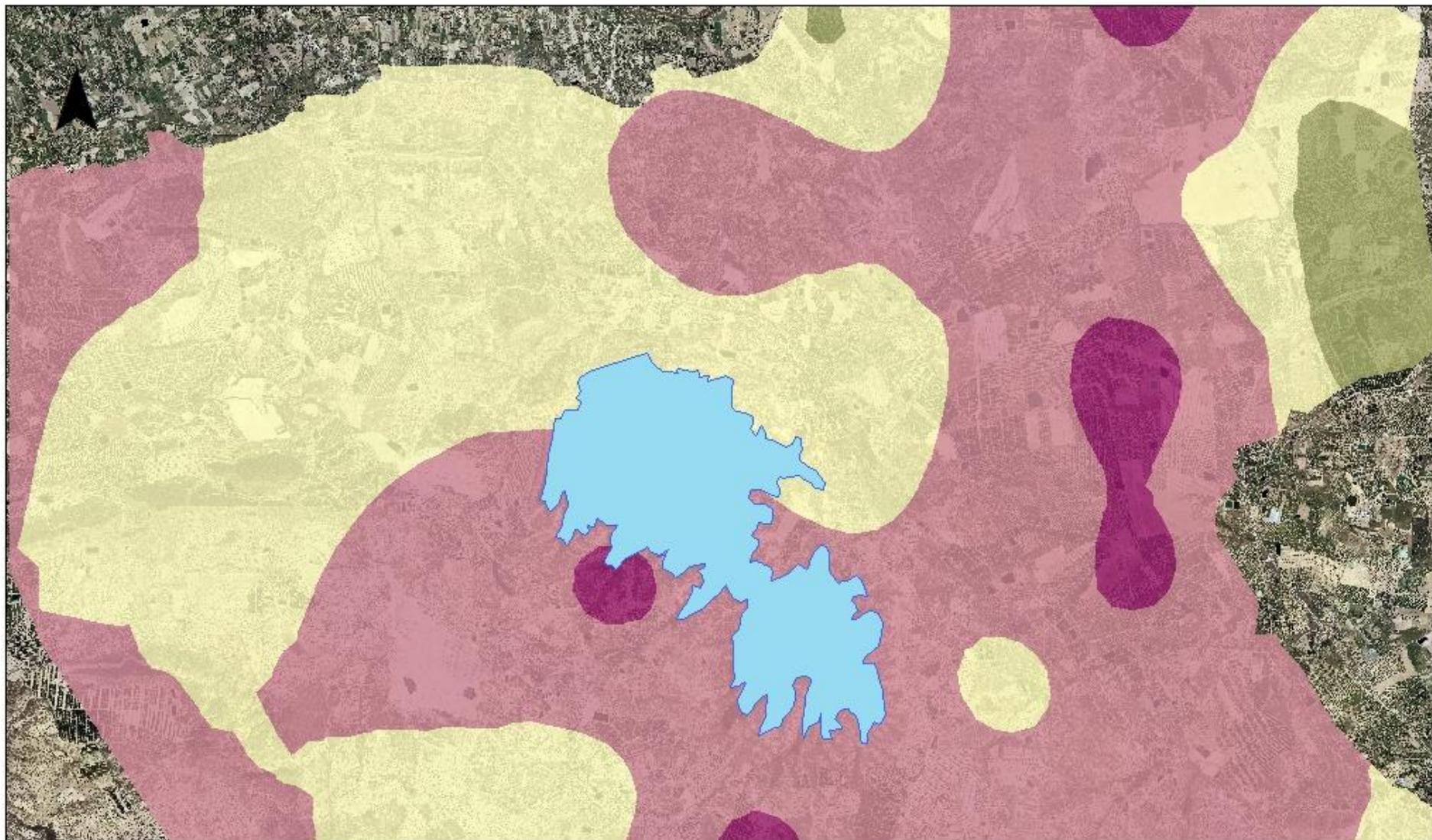
Magnesio meq/l

	<10		20 - 30		>40
	10 - 20		30 - 40		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Magnesio
en suelo
60-80 cm**



Leyenda

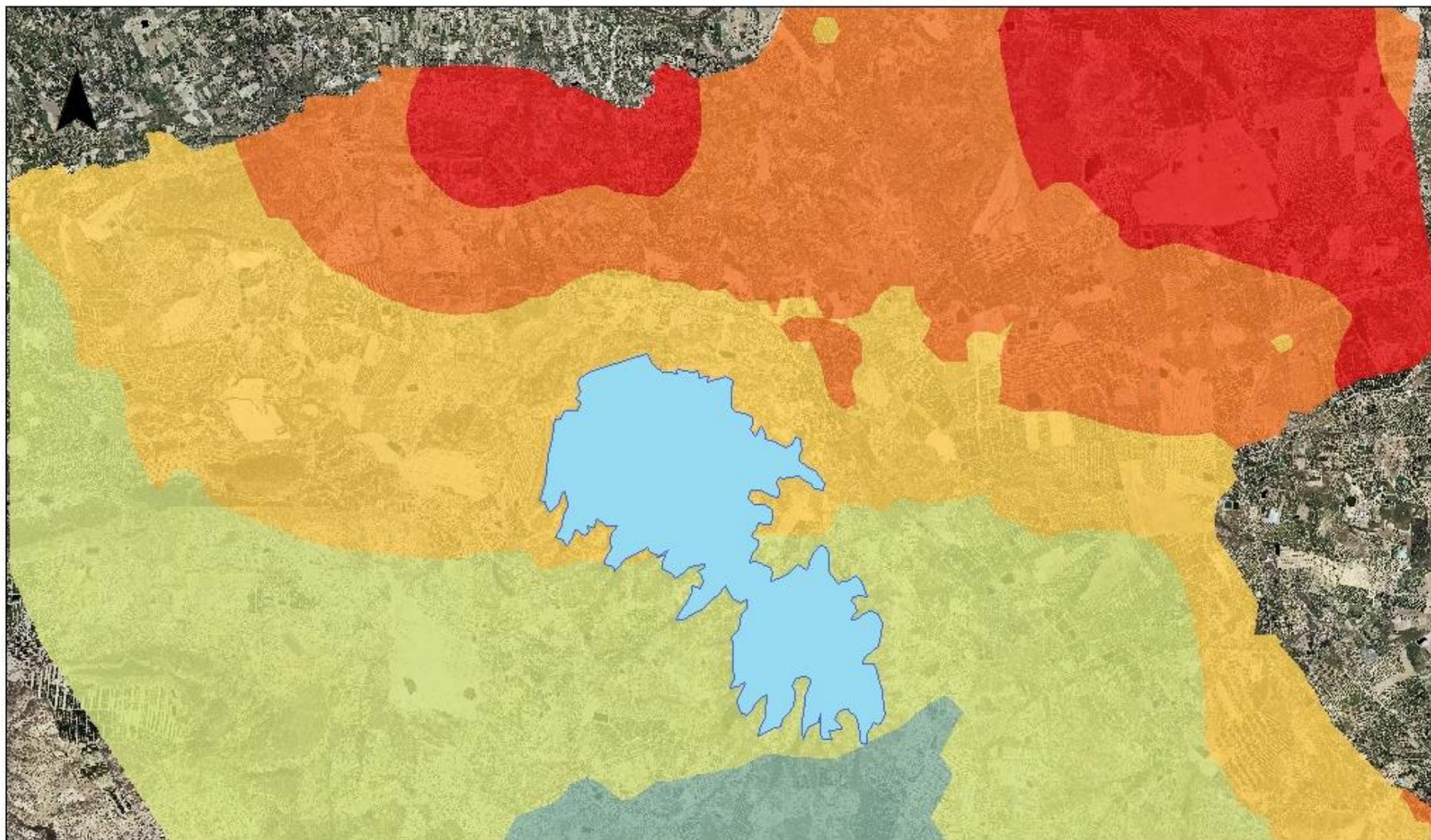
Magnesio meq/l

	<10		20 - 30		>40
	10 - 20		30 - 40		

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Concentración de Magnesio
en suelo
80-100 cm



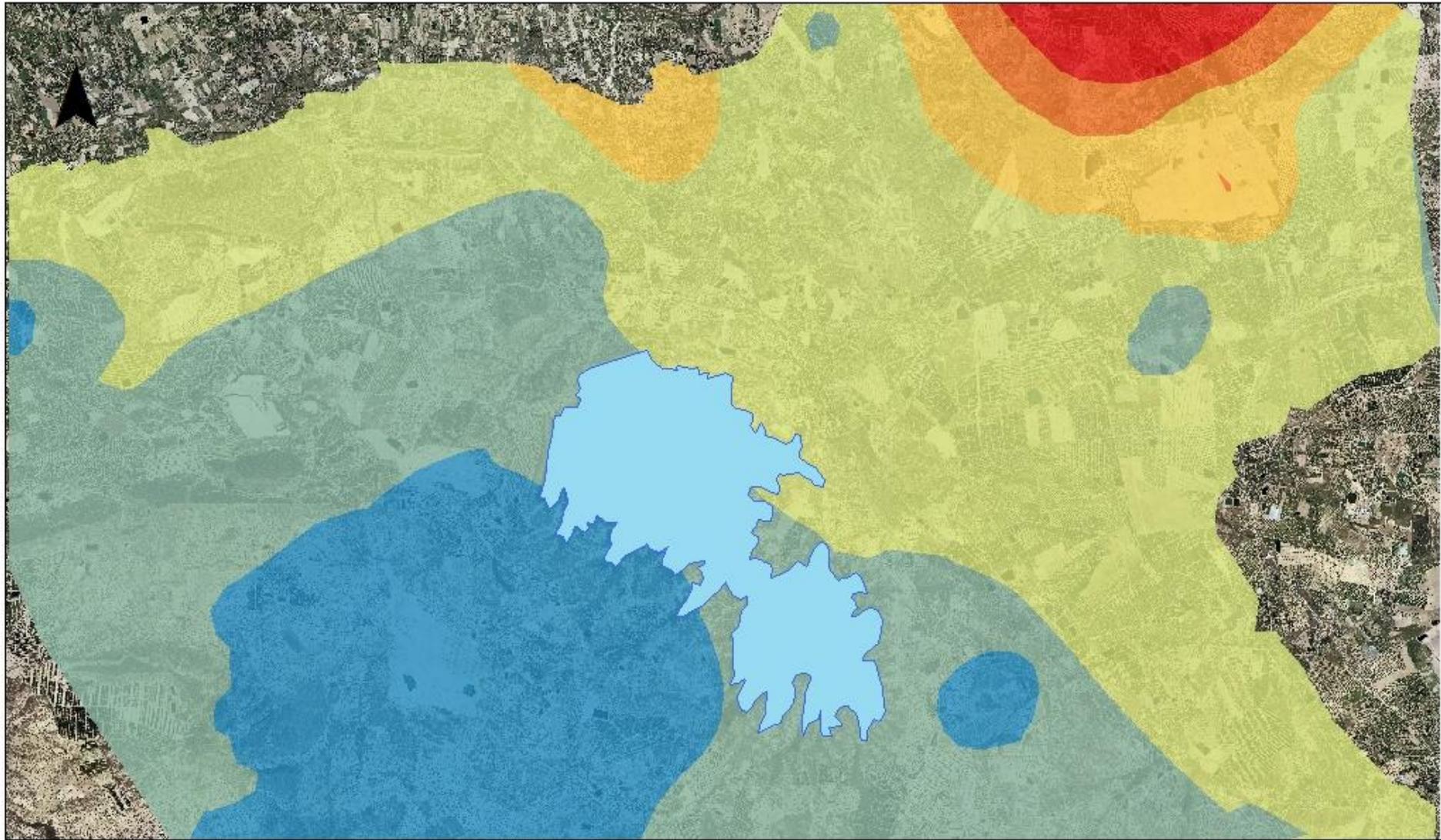
Leyenda

Potasio meq/l	 <math><0,25</math>	 $0,5 - 1$	 $1,5 - 2$
	 $0,25 - 0,5$	 $1 - 1,5$	 >2

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Potasio
en suelo
0-20 cm**



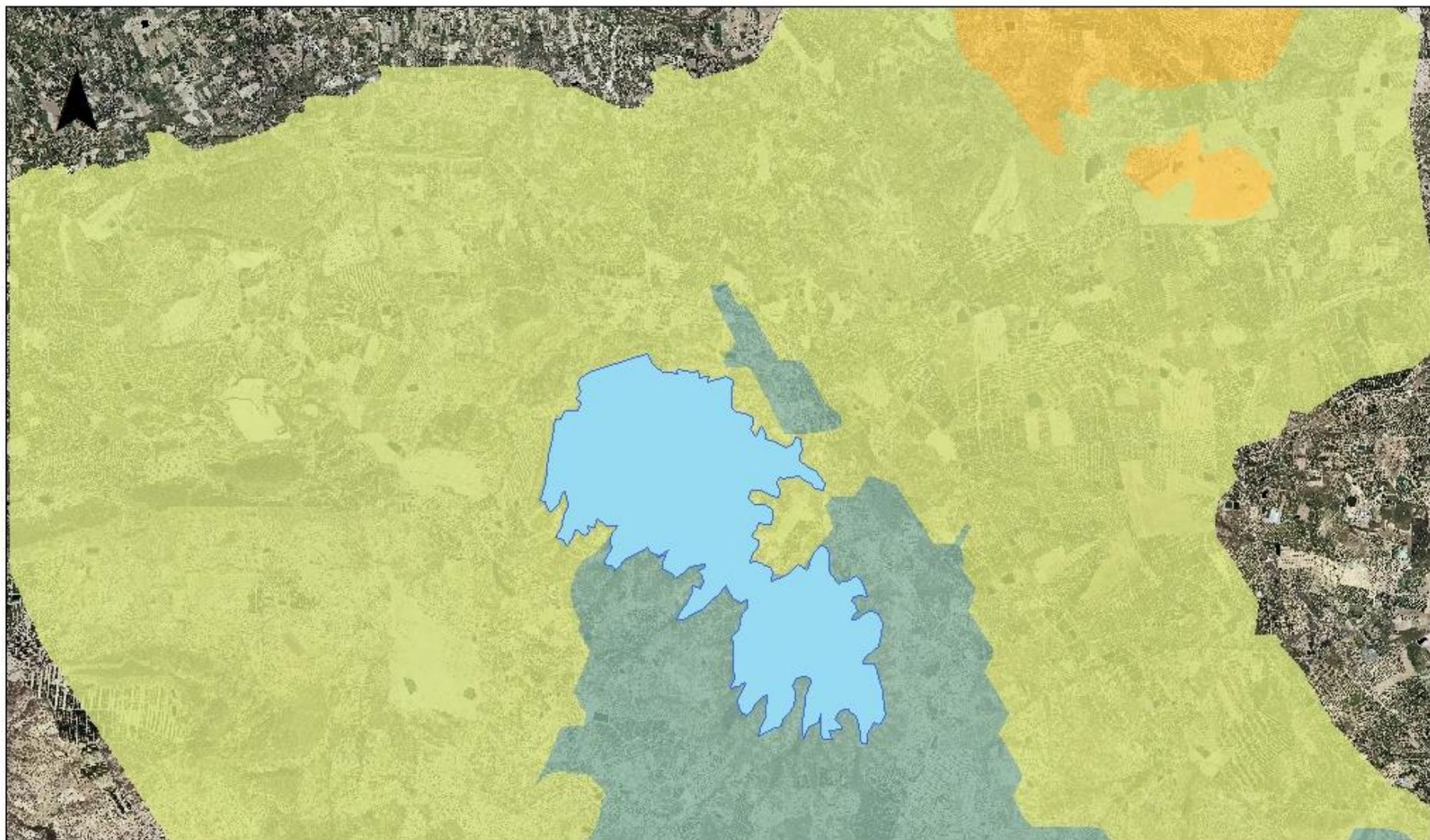
Leyenda

Potasio meq/l	 <math>< 0,25</math>	 $0,5 - 1$	 $1,5 - 2$
	 $0,25 - 0,5$	 $1 - 1,5$	 > 2

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Potasio
en suelo
20-40 cm**



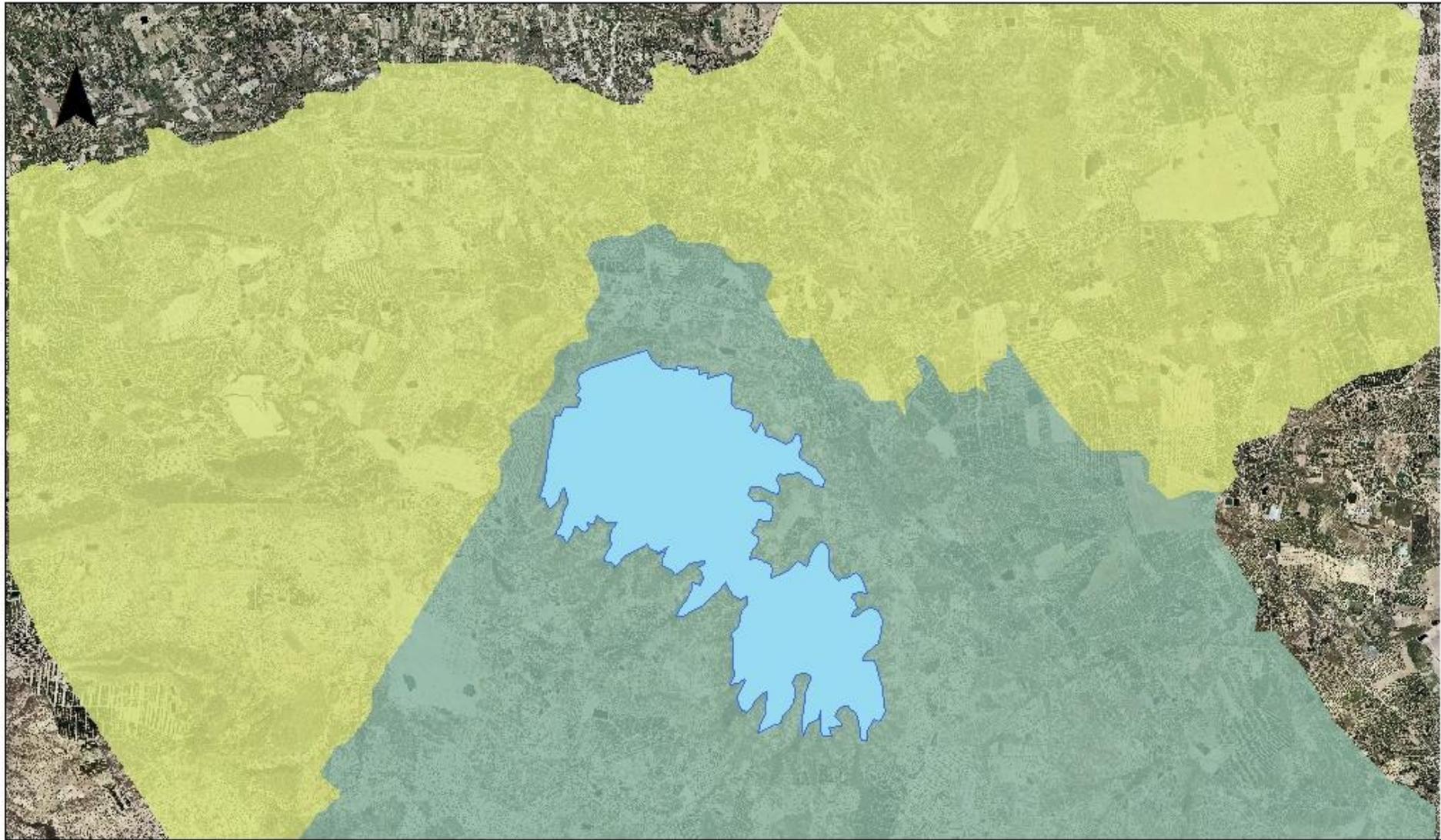
Leyenda

Potasio meq/l	 <0,25	 0,5 - 1	 1,5 - 2
	 0,25 - 0,5	 1 - 1,5	 >2

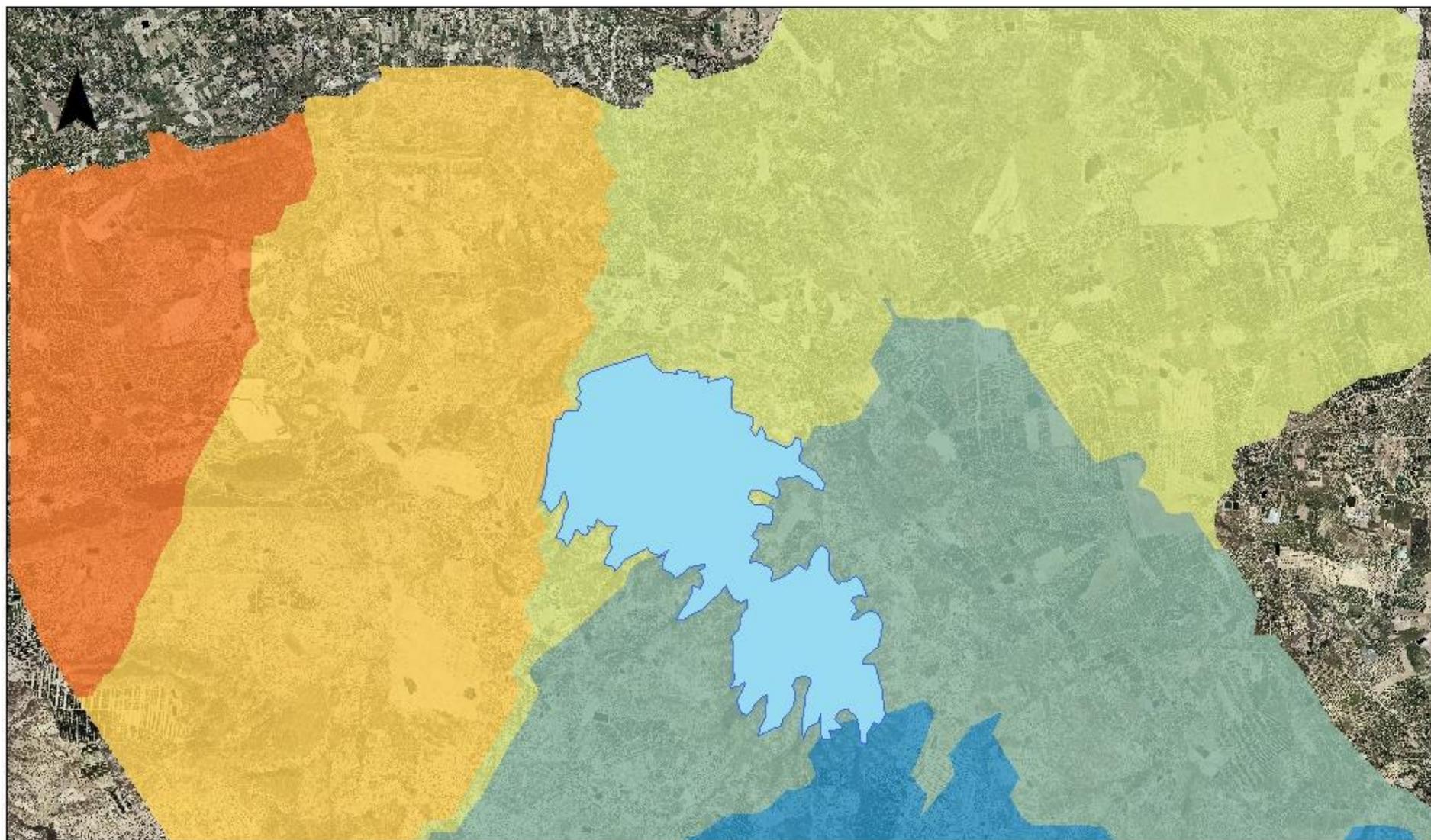
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Potasio
en suelo
40-60 cm**



Concentración de Potasio
en suelo
60-80 cm



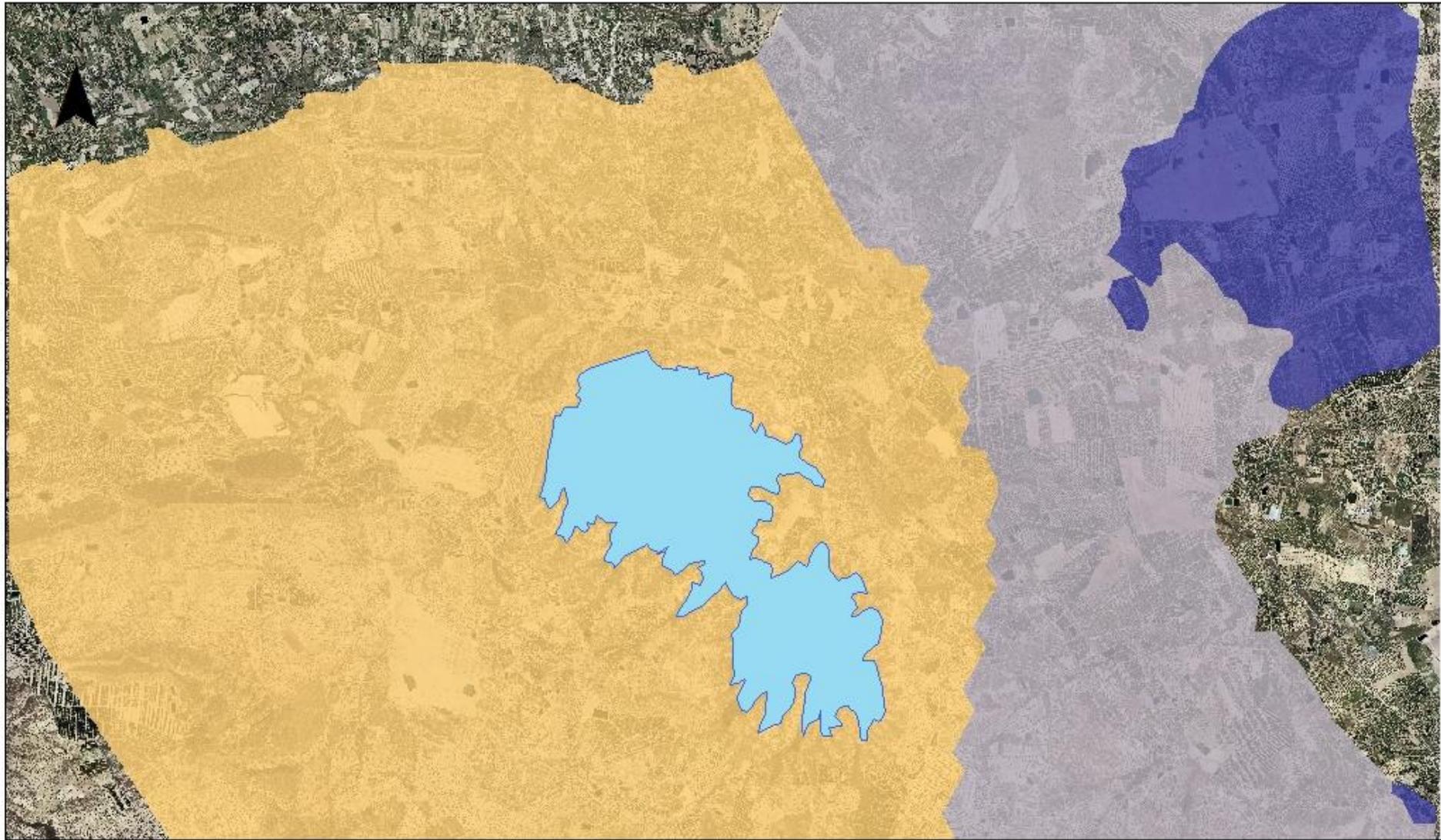
Leyenda

Potasio meq/l	 < 0,25	 0,5 - 1	 1,5 - 2
	 0,25 - 0,5	 1 - 1,5	 >2

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Potasio
en suelo
80-100 cm**



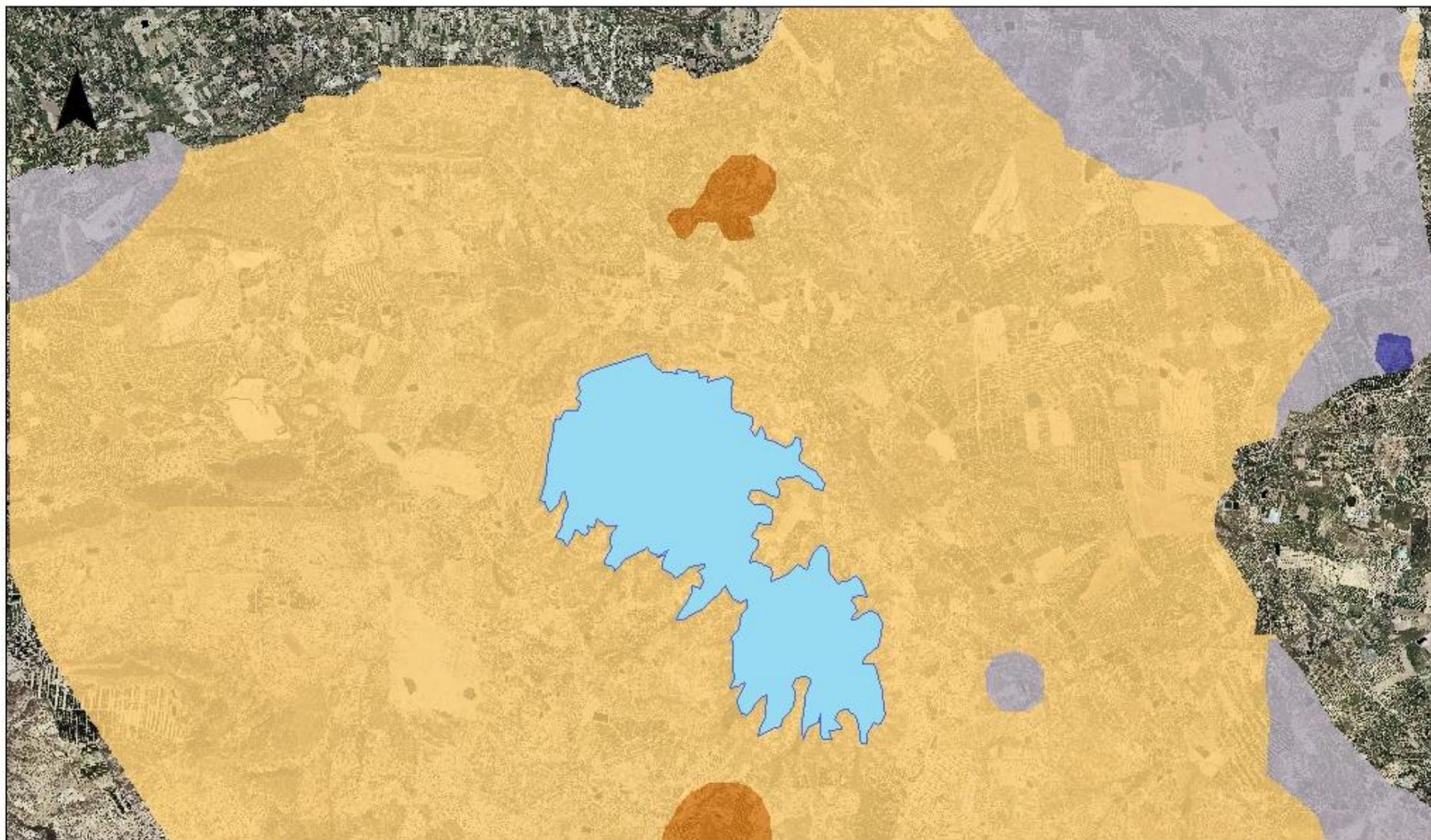
Leyenda

Sodio meq/l	 <5	 10 - 25	 50 - 100
	 5 - 10	 25 - 50	 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sodio
en suelo
0-20 cm**



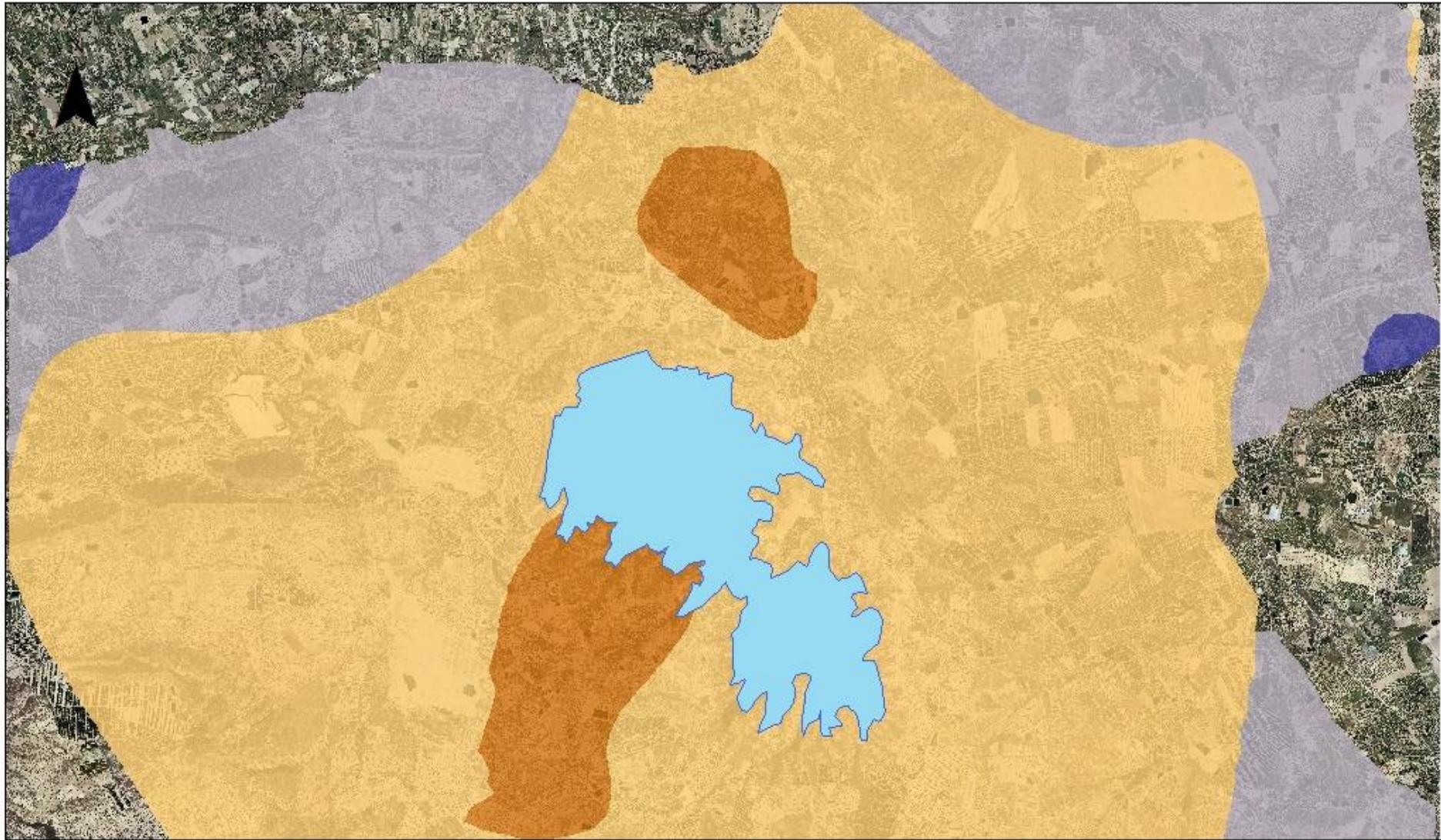
Leyenda

Sodio meq/l	 <5	 10 – 25	 50 – 100
	 5 – 10	 25 – 50	 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sodio
en suelo
20-40 cm**



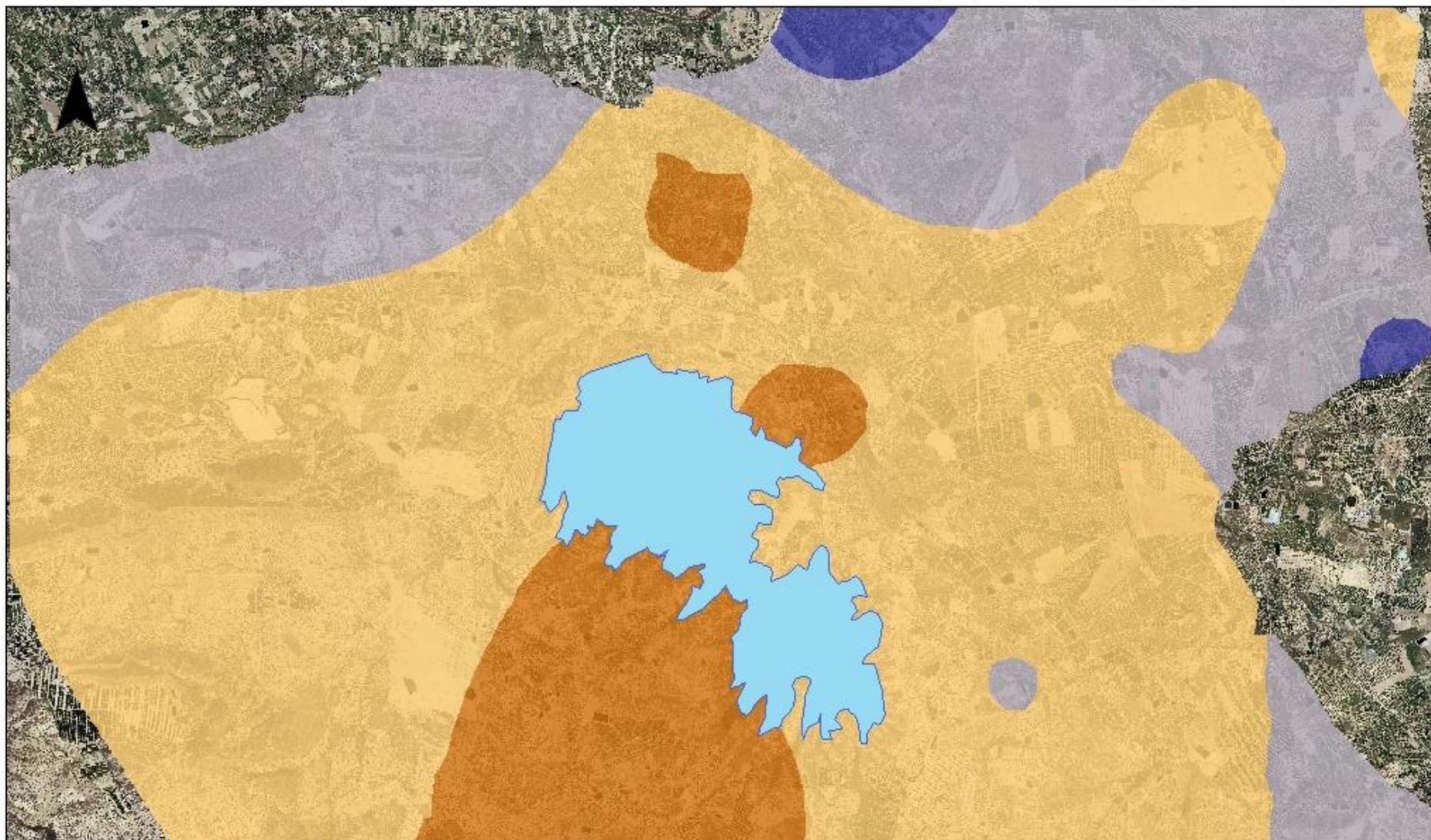
Leyenda

Sodio meq/l	 <5	 10 - 25	 50 - 100
	 5 - 10	 25 - 50	 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sodio
en suelo
40-60 cm**



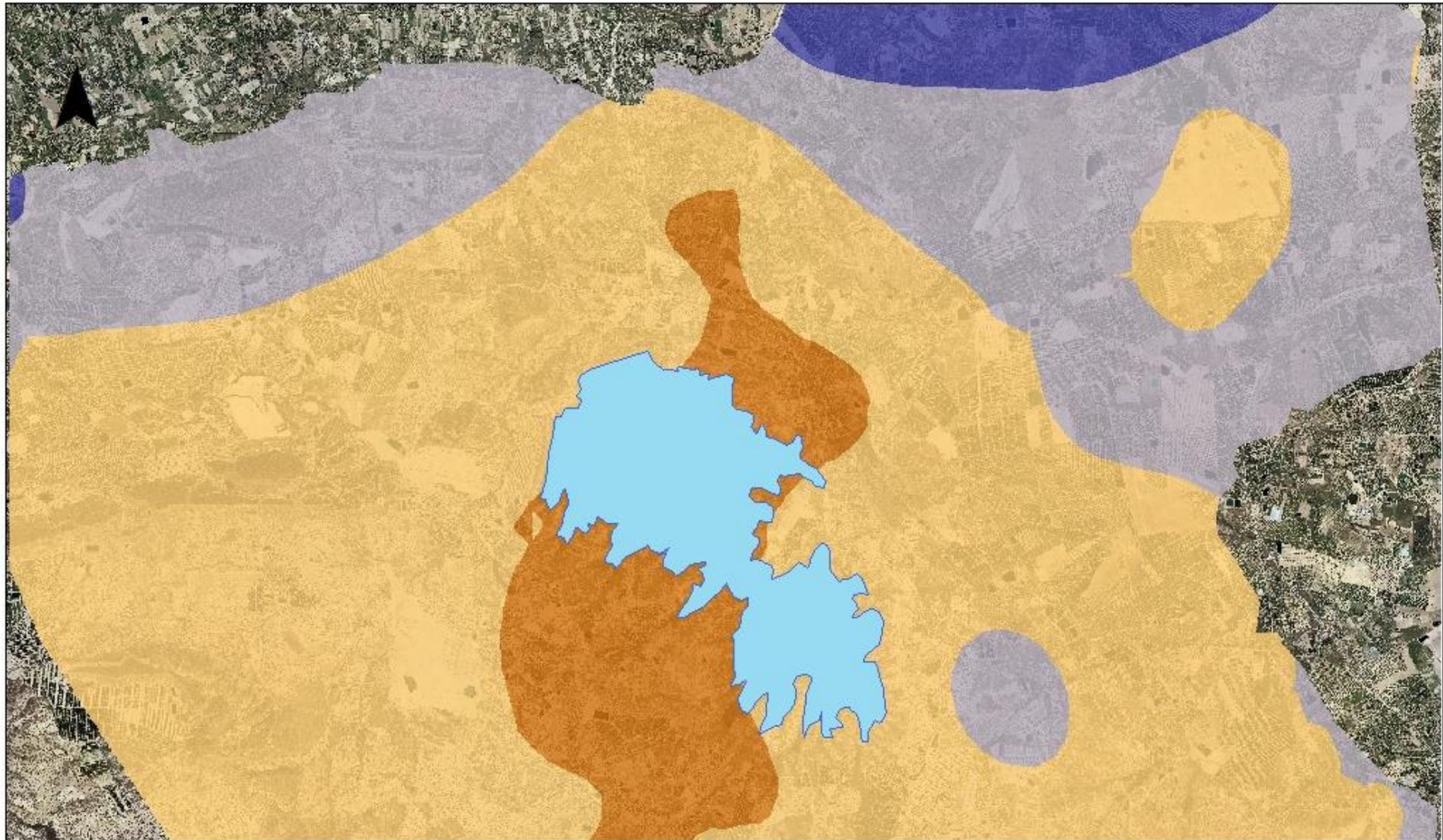
Concentración de Sodio
en suelo
60-80 cm

Leyenda

Sodio meq/l	 <5	 10 – 25	 50 – 100
	 5 – 10	 25 – 50	 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000



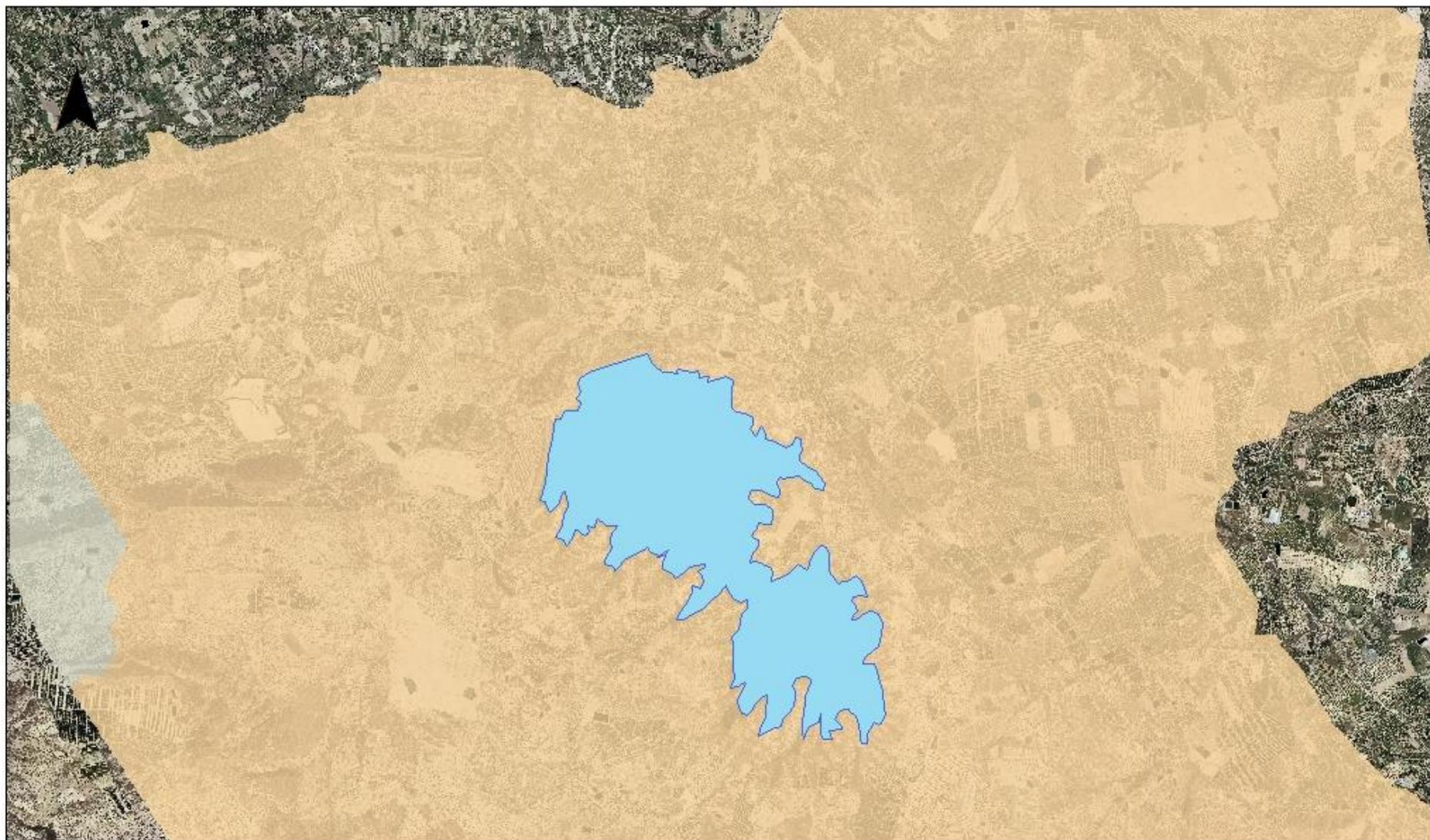
Leyenda

Sodio meq/l	 <5	 10 - 25	 50 - 100
	 5 - 10	 25 - 50	 >100

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sodio
en suelo
80-100 cm**



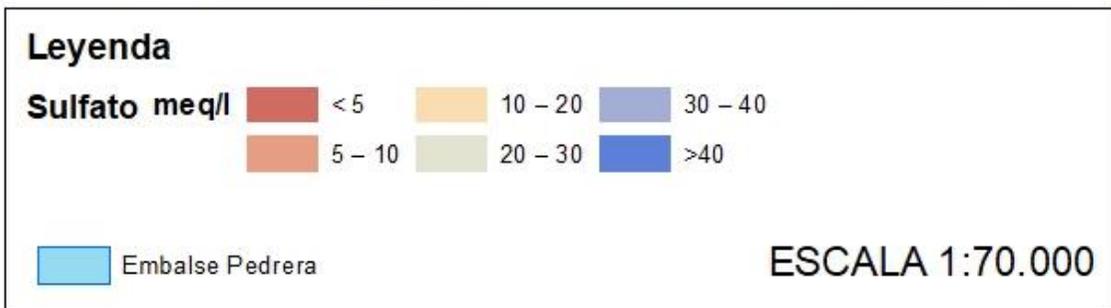
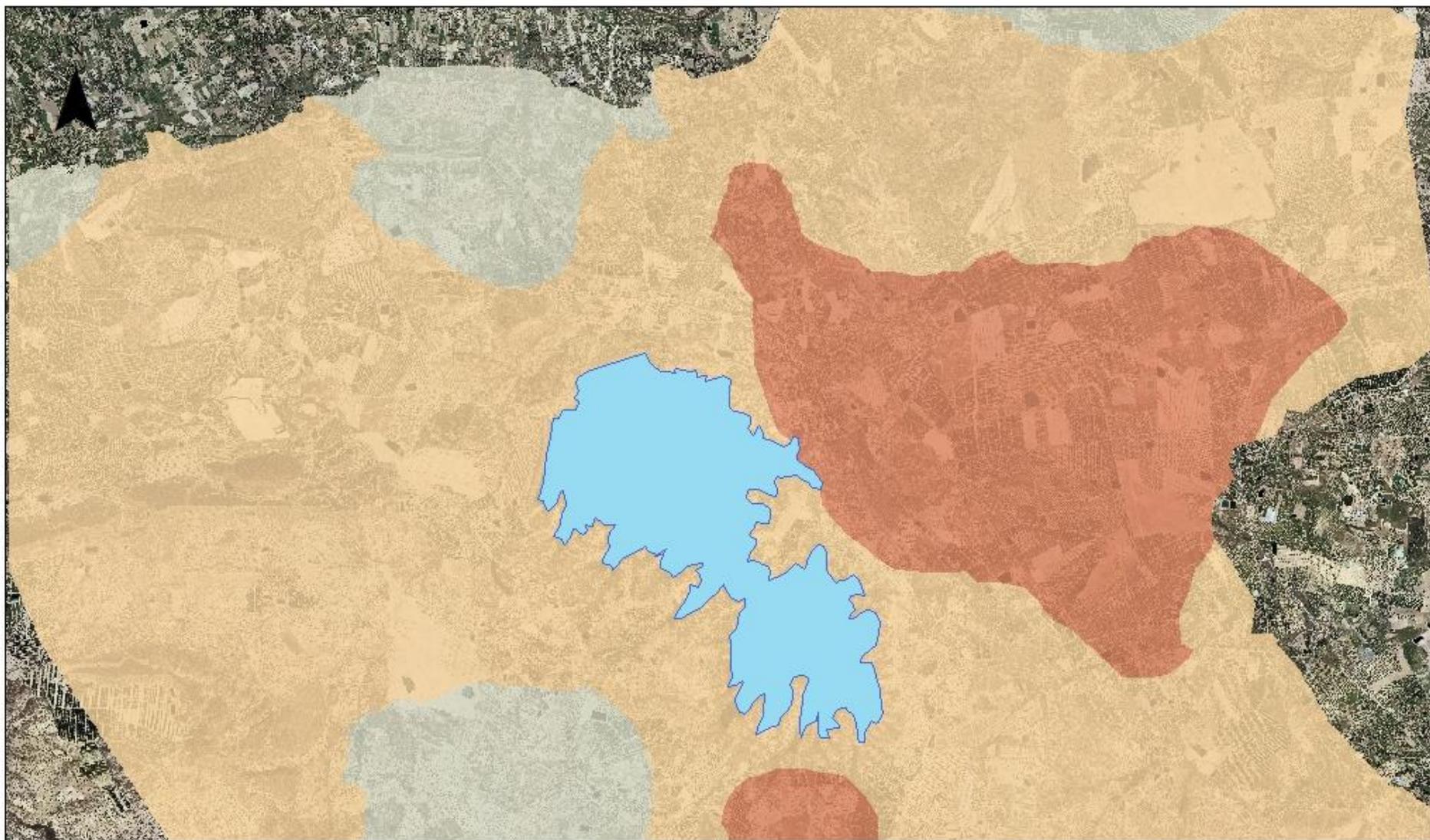
Leyenda

Sulfato meq/l	 < 5	 10 - 20	 30 - 40
	 5 - 10	 20 - 30	 >40

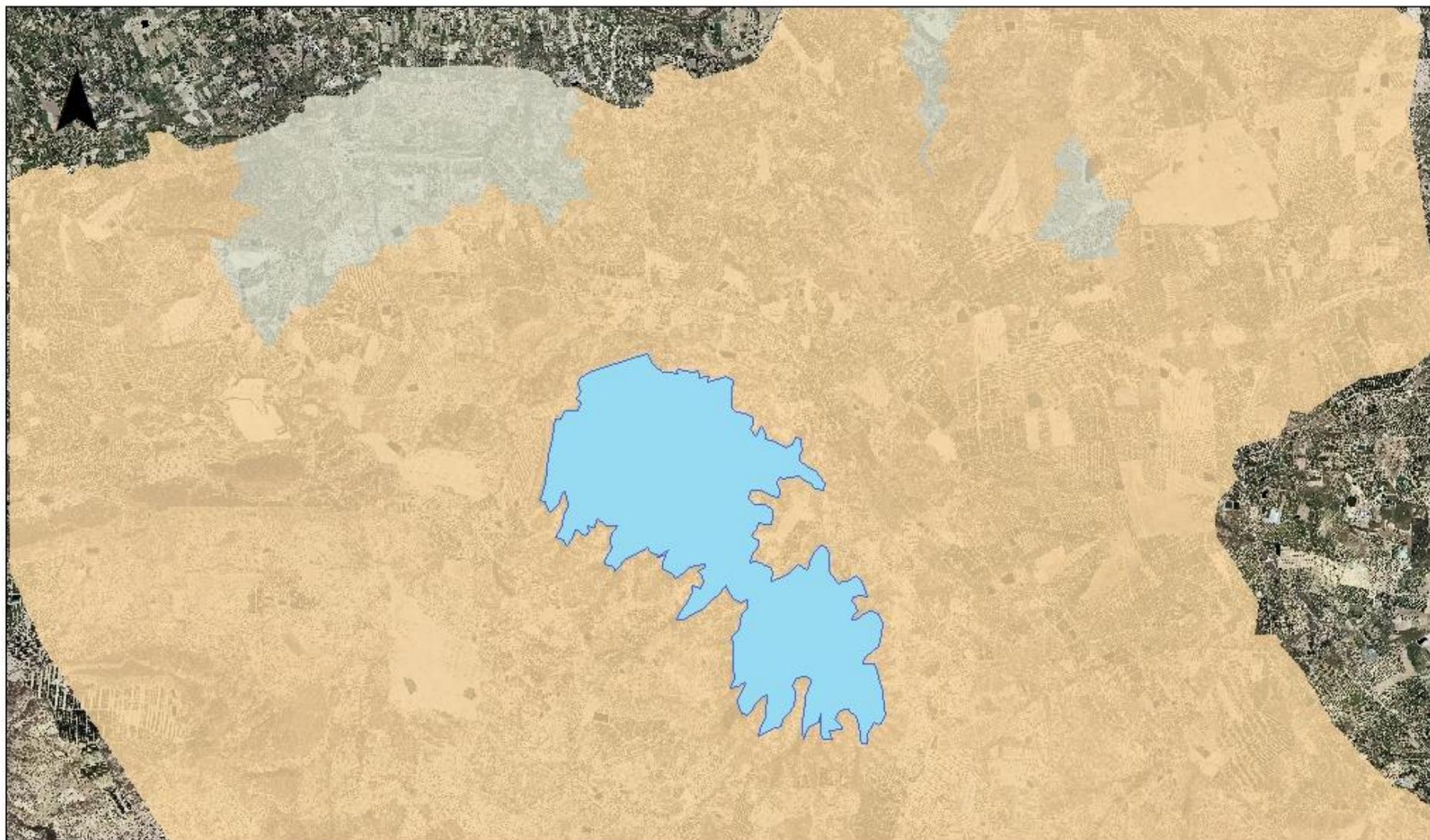
 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

Concentración de Sulfato
en suelo
0-20 cm



Concentración de Sulfato
en suelo
20-40 cm



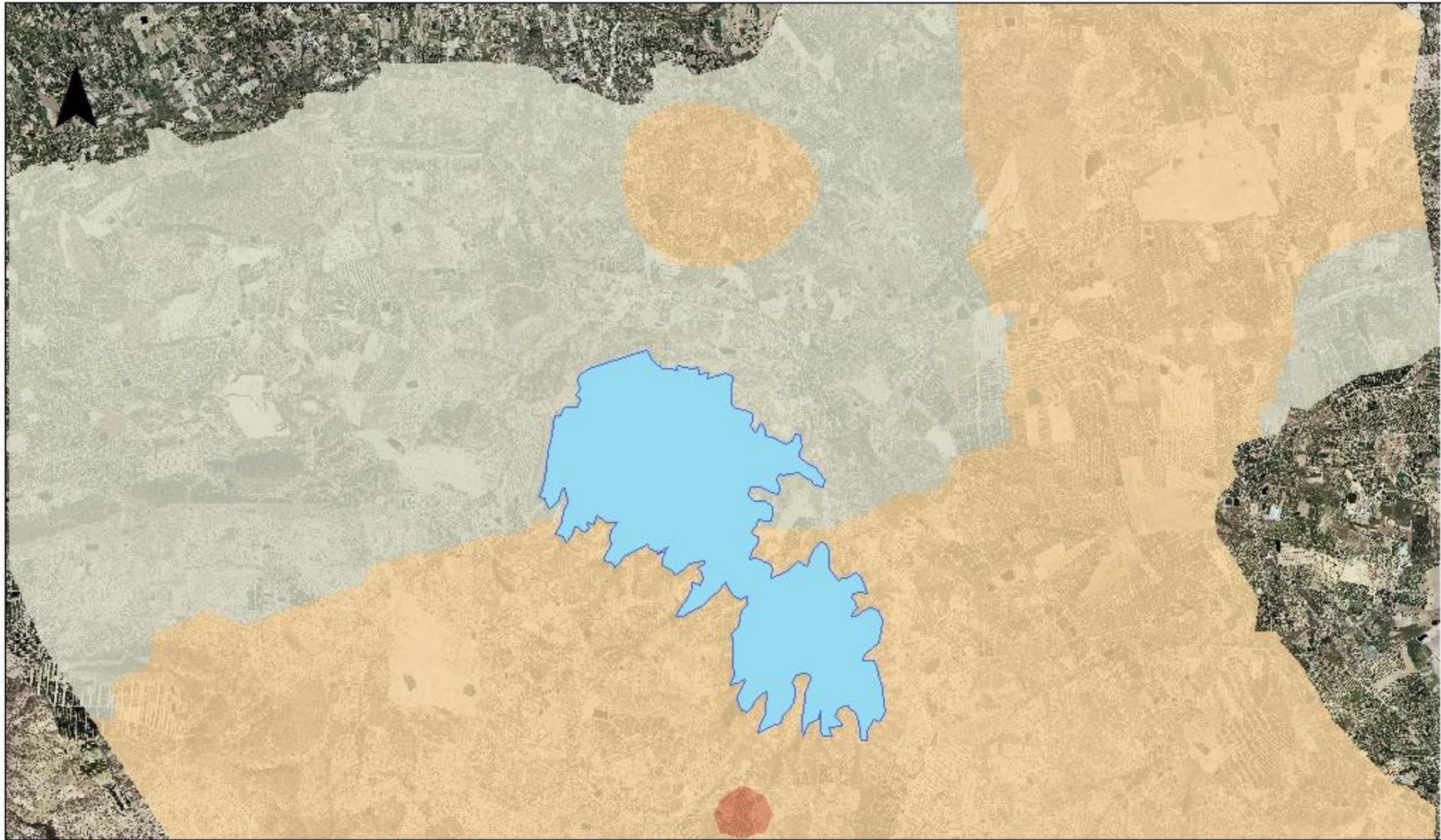
Leyenda

Sulfato meq/l	 < 5	 10 - 20	 30 - 40
	 5 - 10	 20 - 30	 >40

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sulfato
en suelo
40-60 cm**



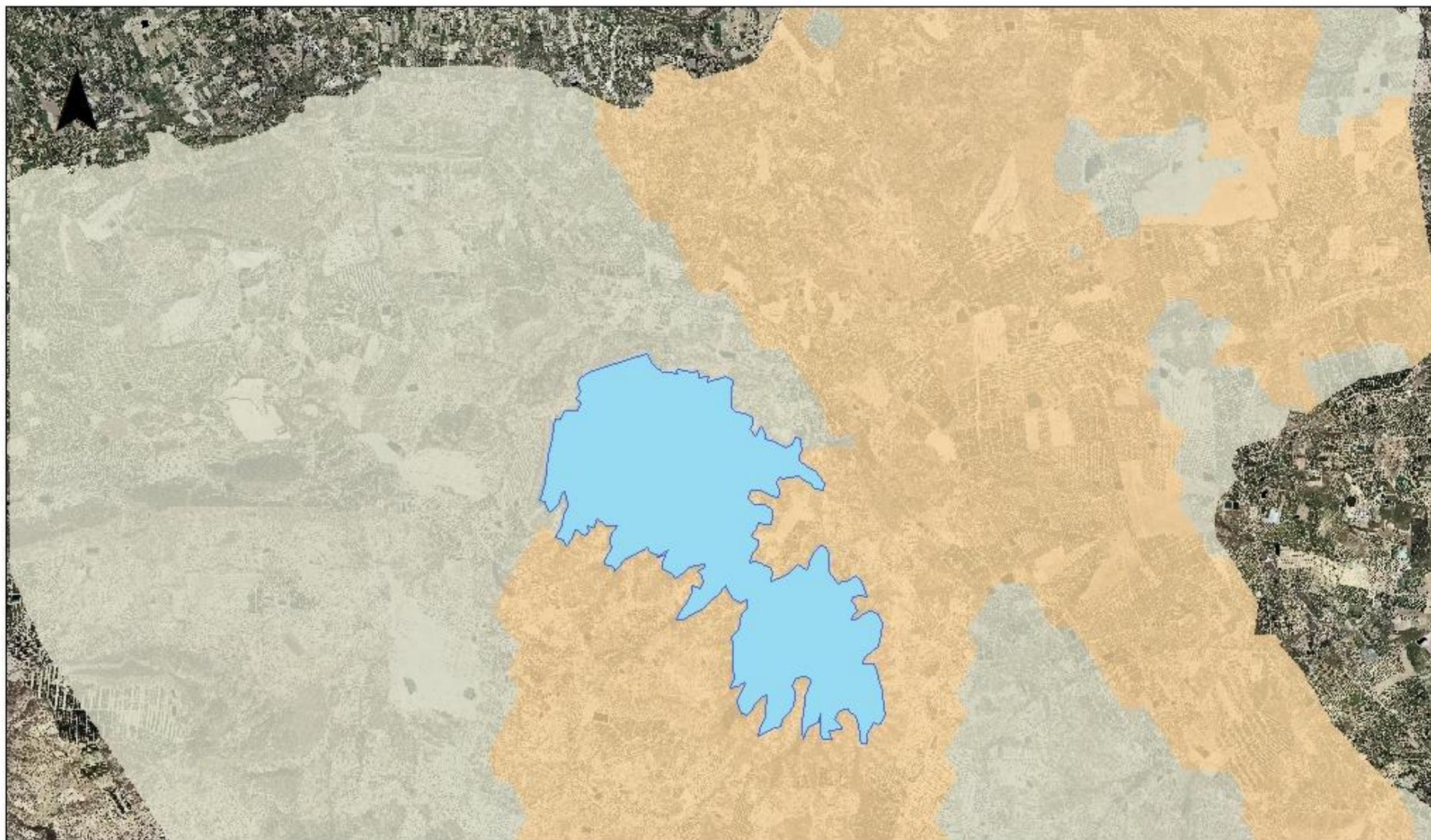
Leyenda

Sulfato meq/l	 < 5	 10 - 20	 30 - 40
	 5 - 10	 20 - 30	 >40

 Embalse Pedrera

ESCALA 1:70.000

**Concentración de Sulfato
en suelo
60-80 cm**



Leyenda

Sulfato meq/l	 < 5	 10 - 20	 30 - 40
	 5 - 10	 20 - 30	 >40

 Embalse Pedrera

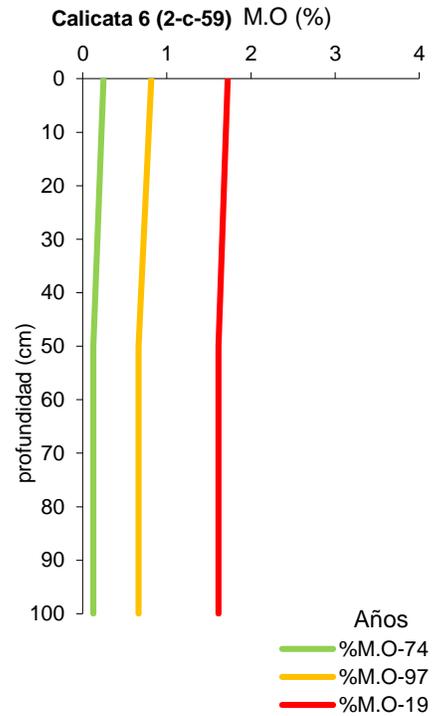
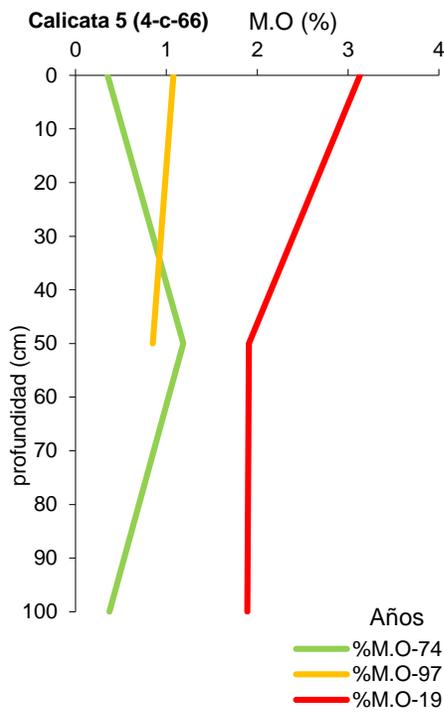
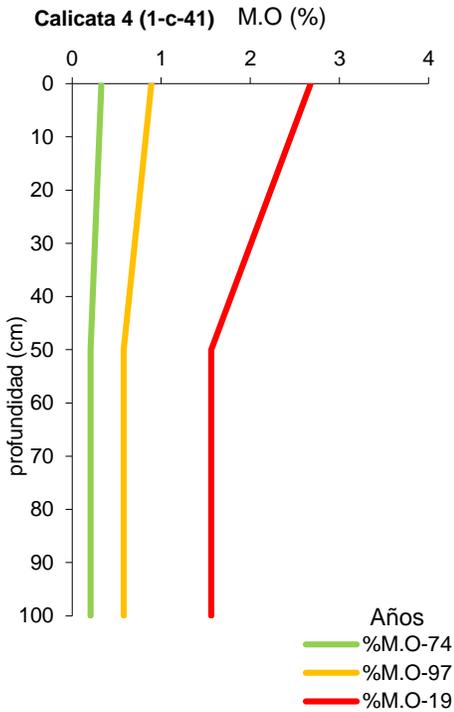
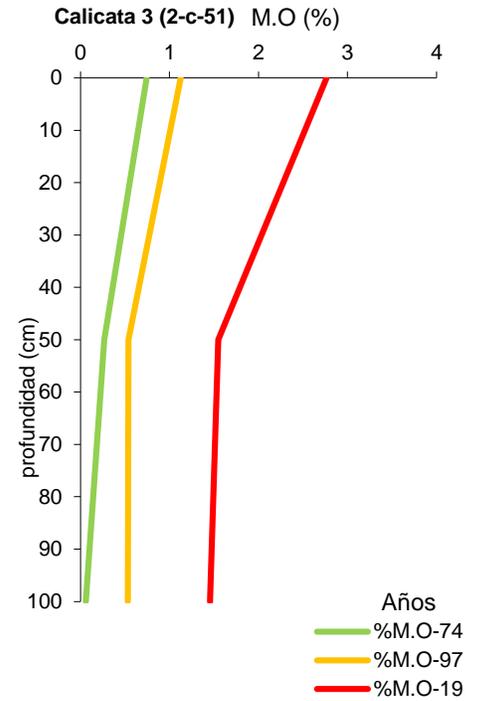
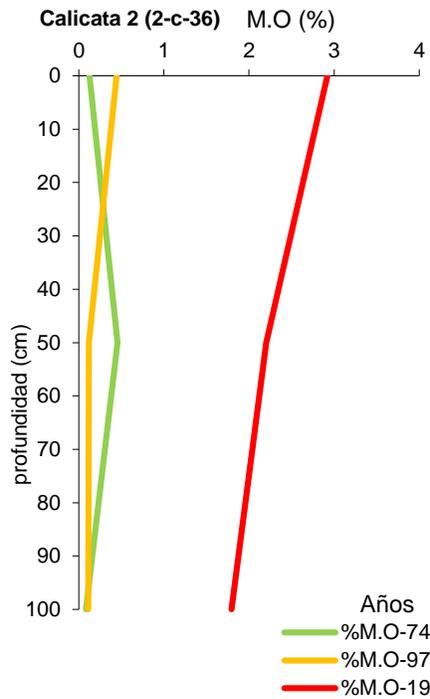
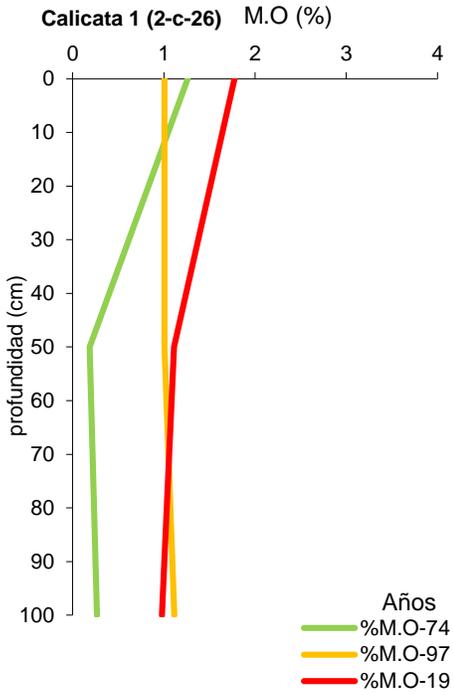
ESCALA 1:70.000

Concentración de Sulfato
en suelo
80-100 cm

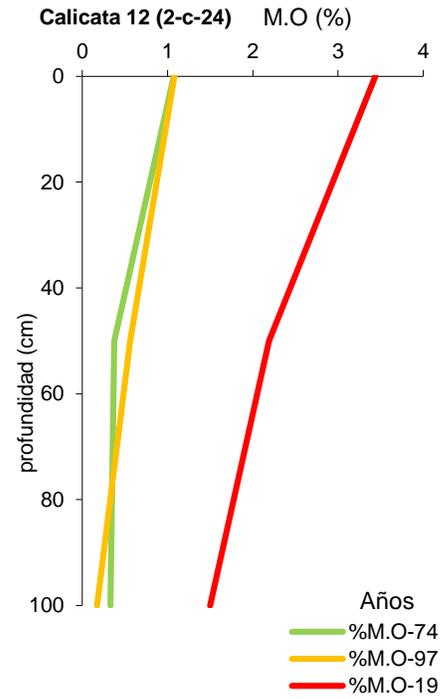
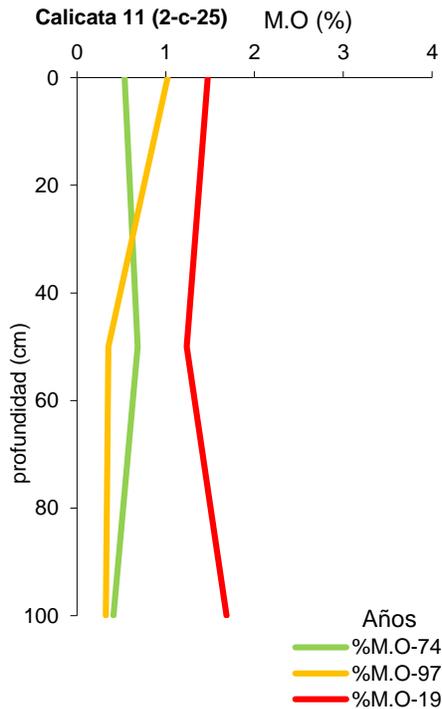
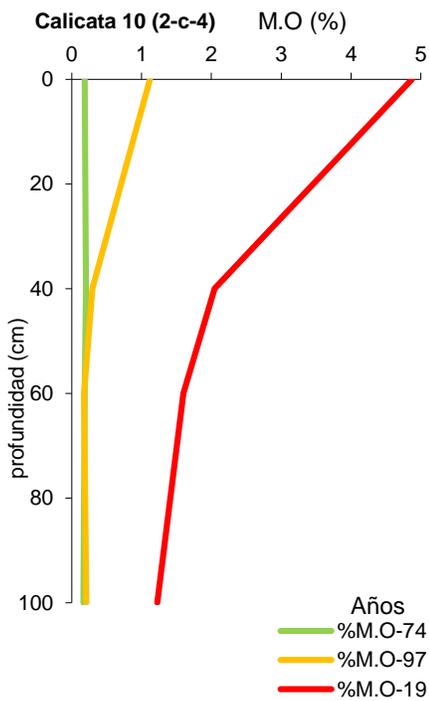
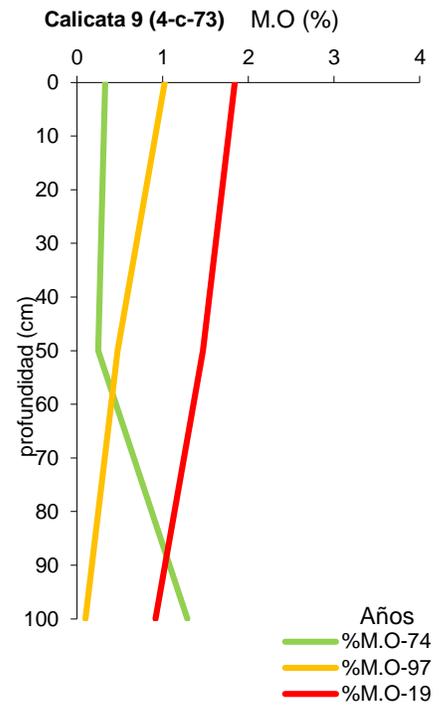
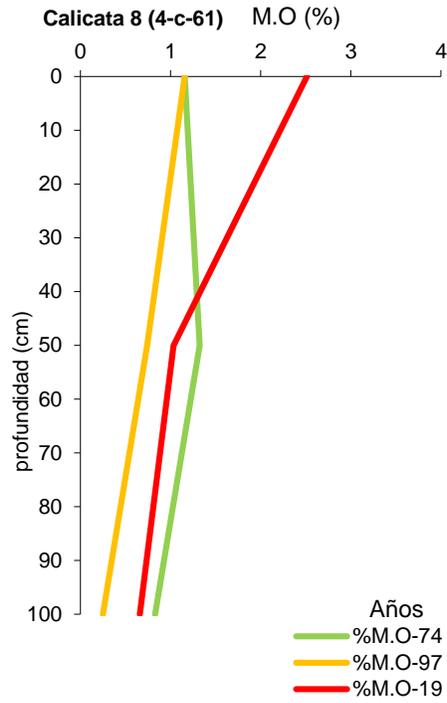
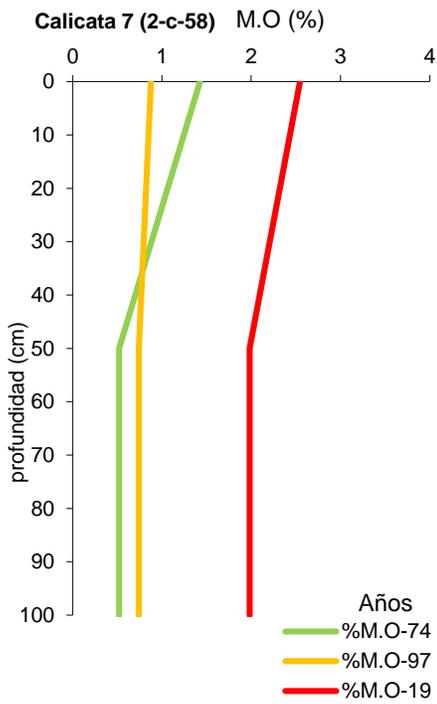
Anejo 13

Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio

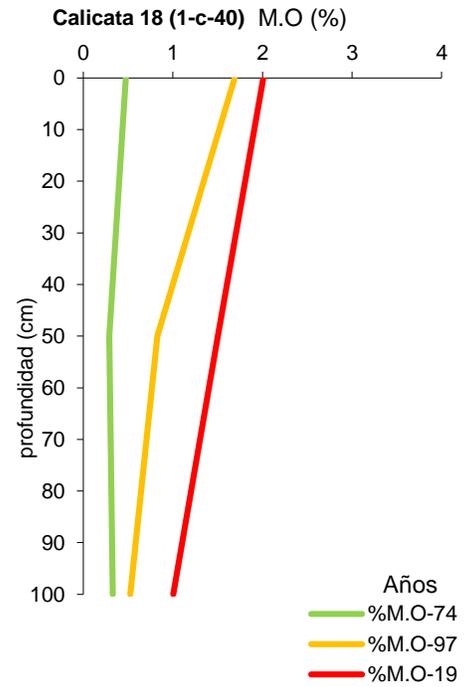
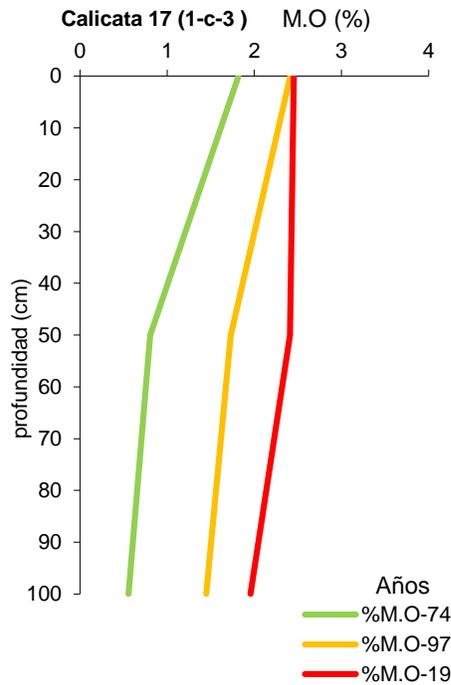
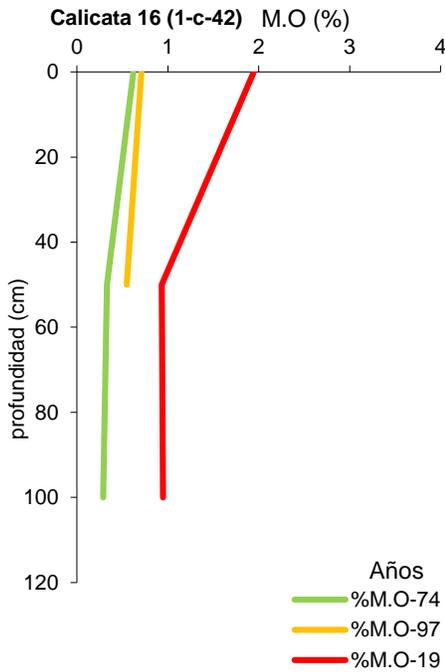
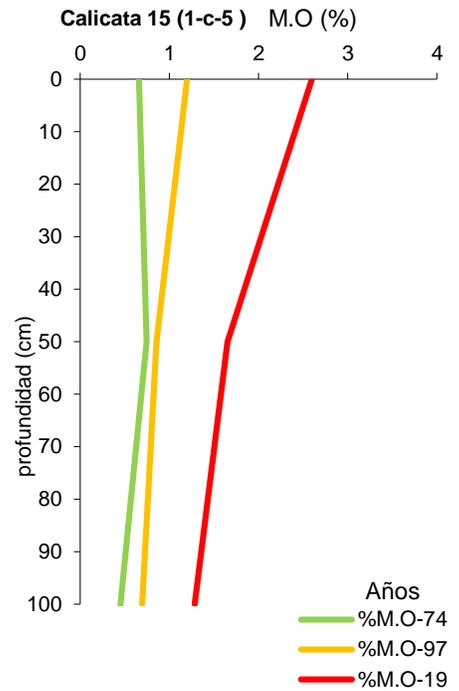
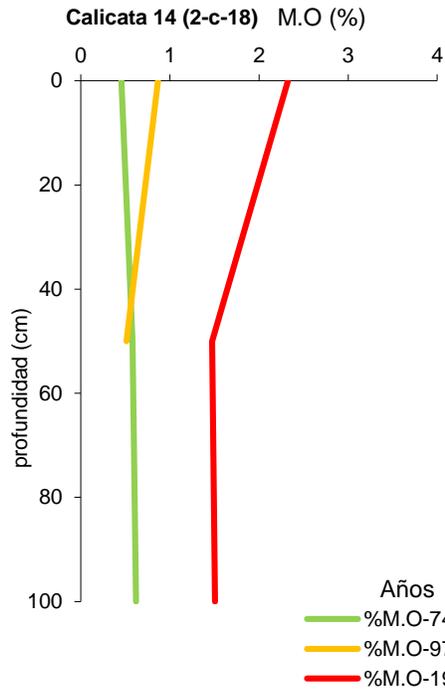
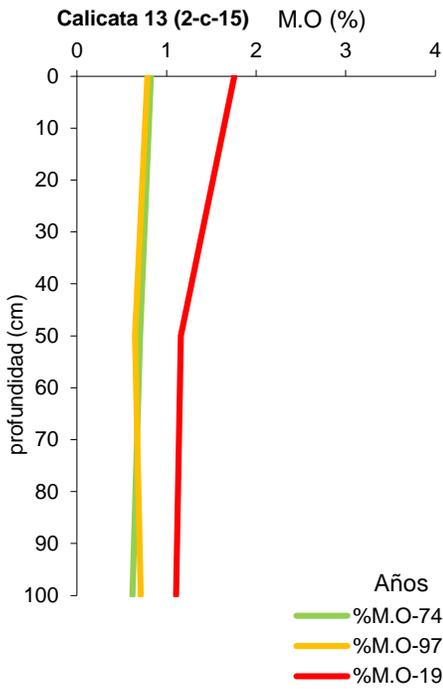
Anejo13: Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio



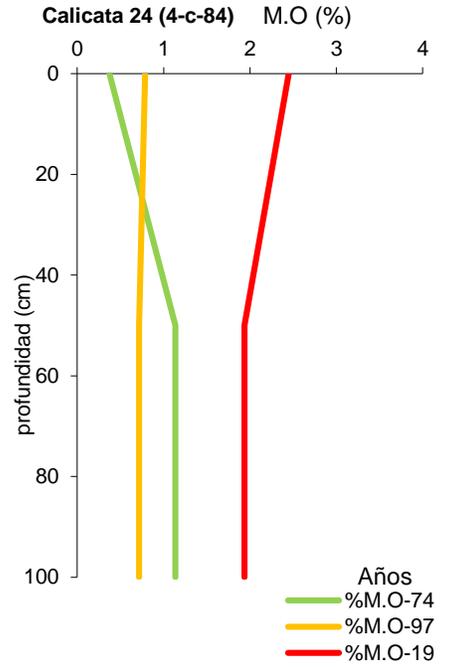
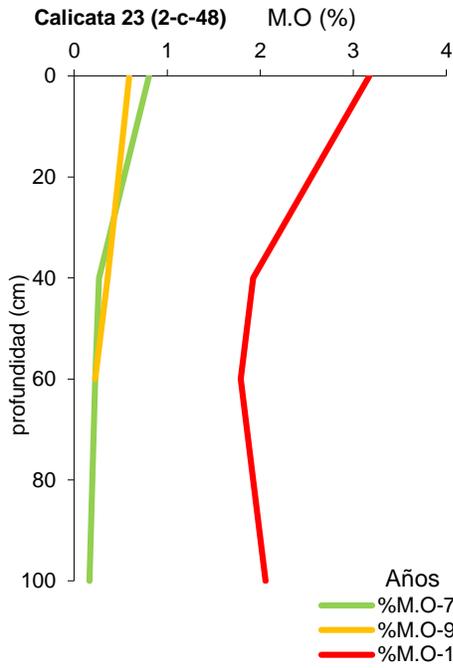
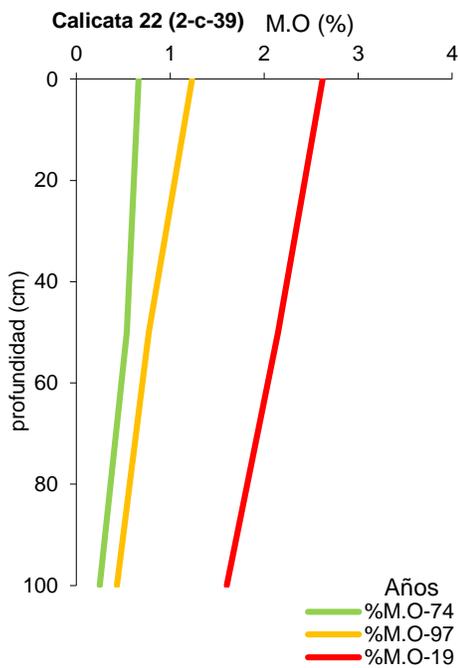
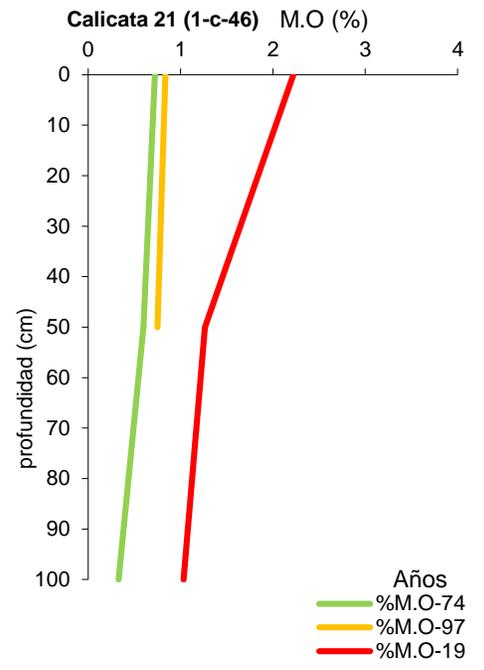
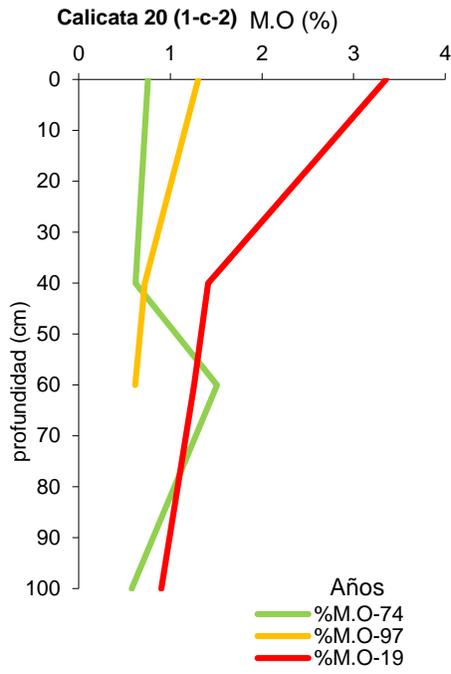
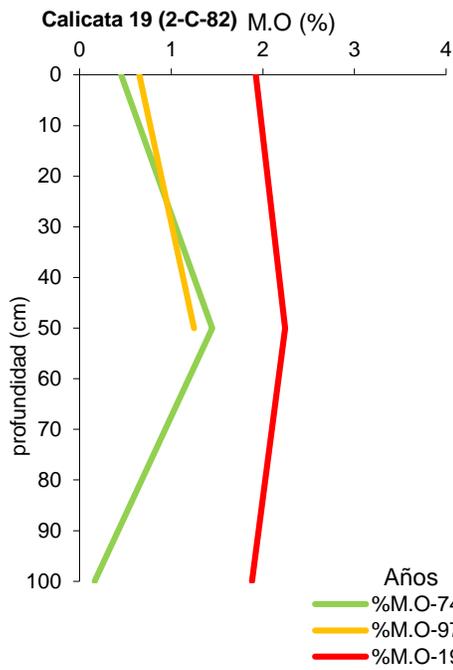
Anejo13: Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio



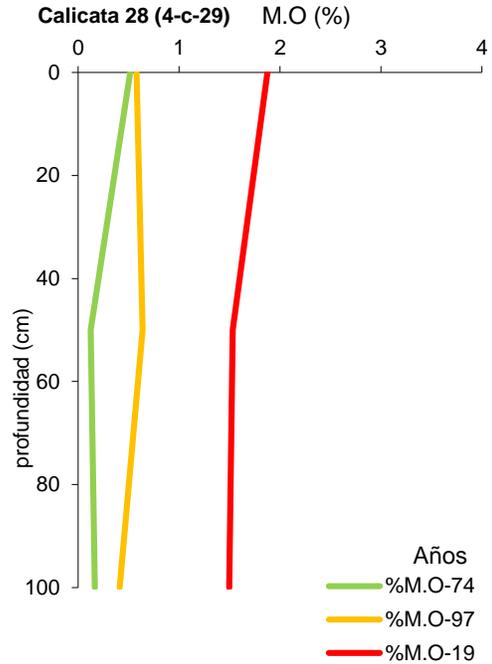
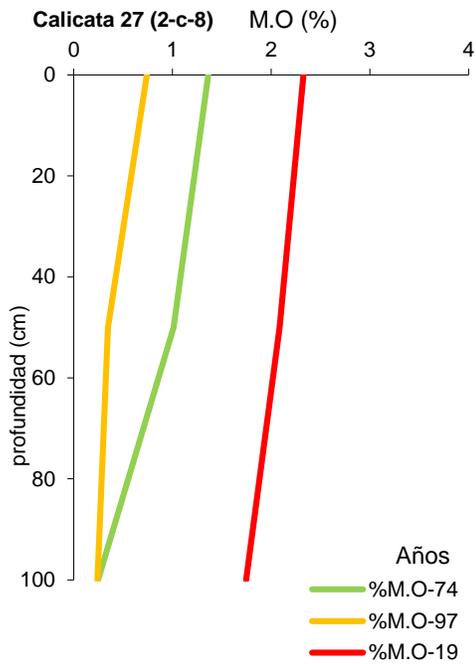
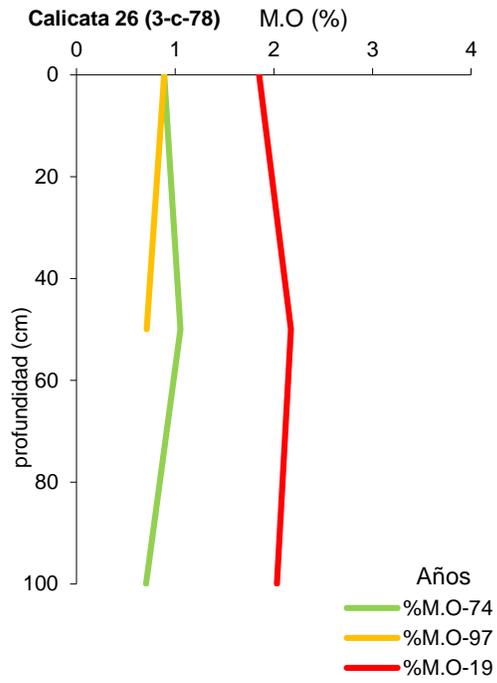
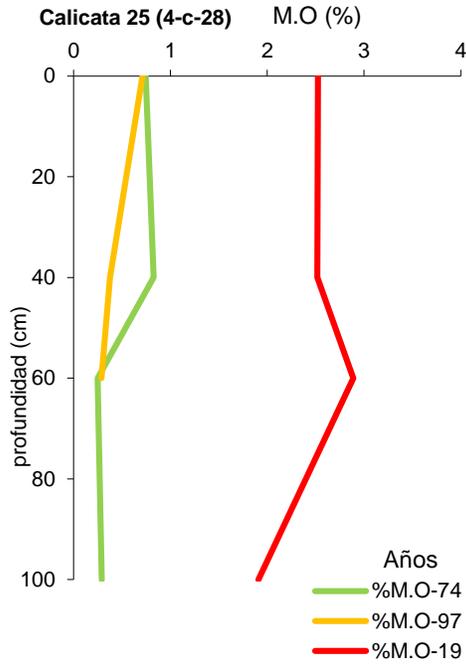
Anejo13: Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo13: Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio



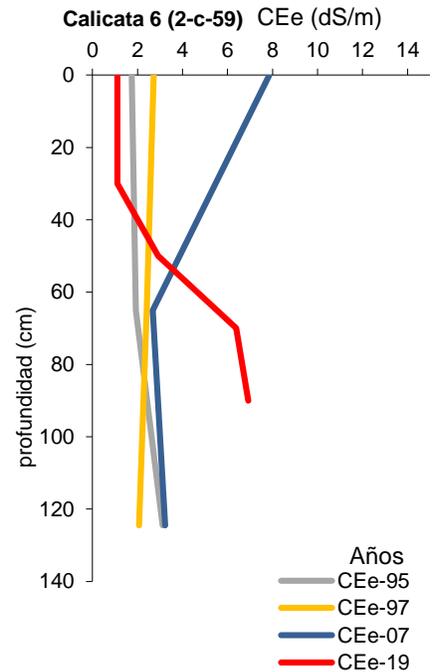
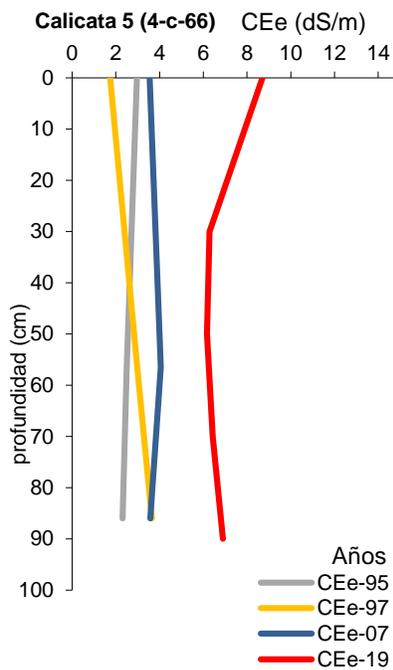
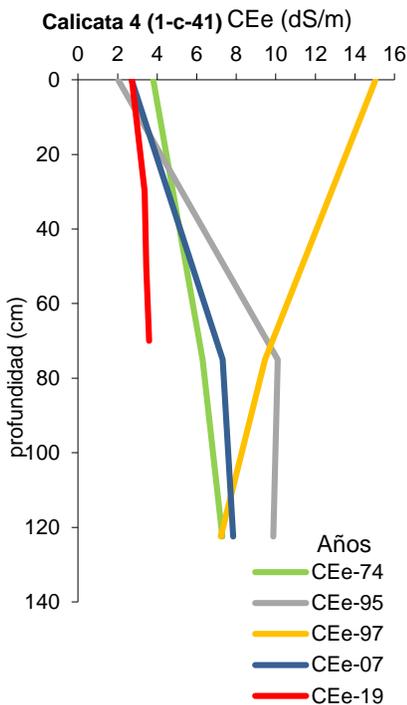
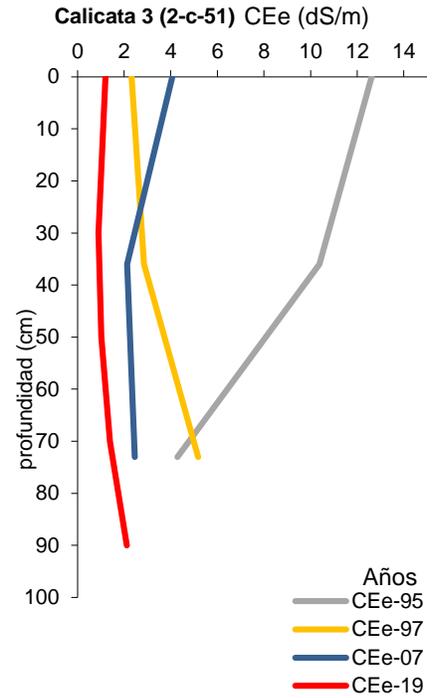
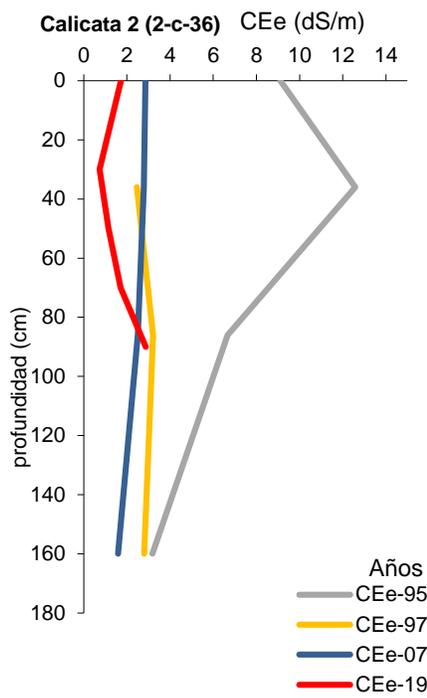
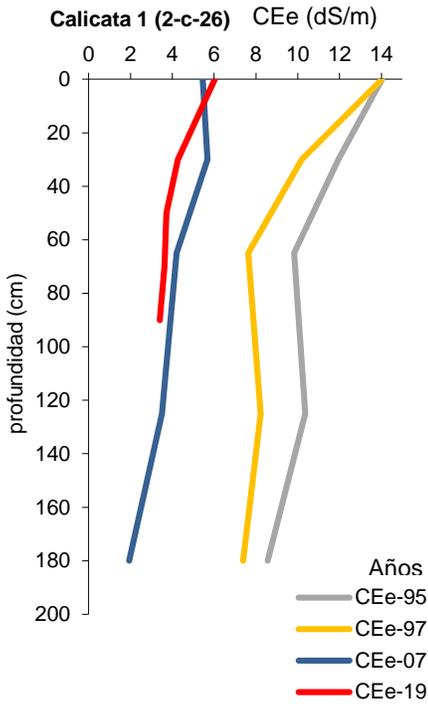
Anejo13: Materia orgánica (M.O) en el perfil de los suelos de estudio



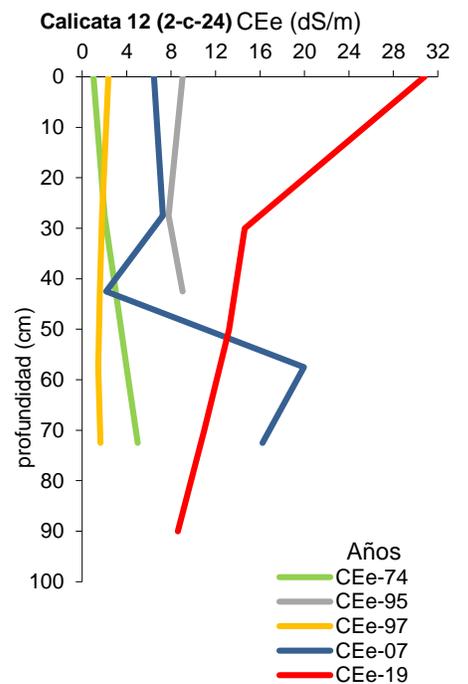
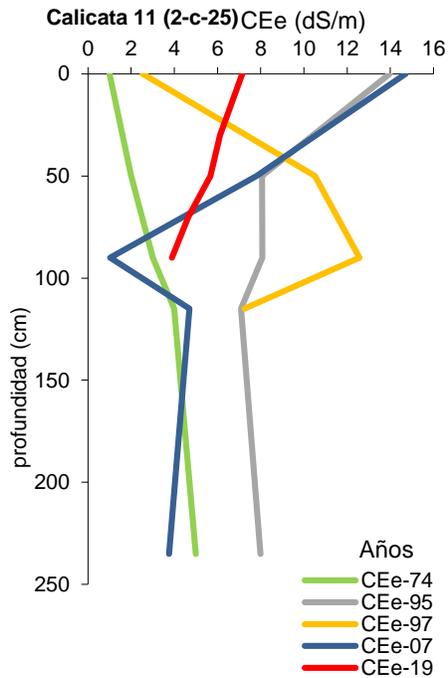
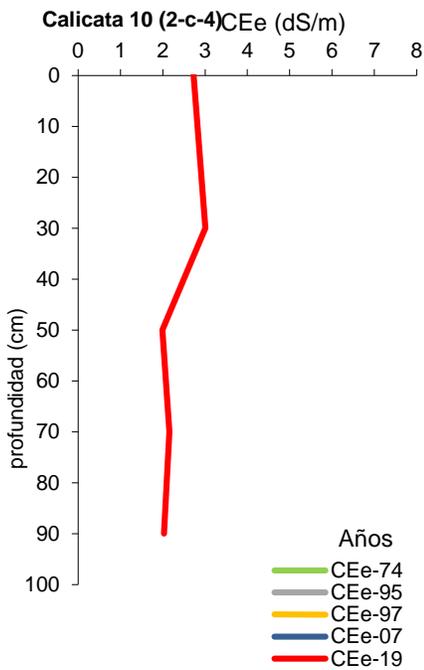
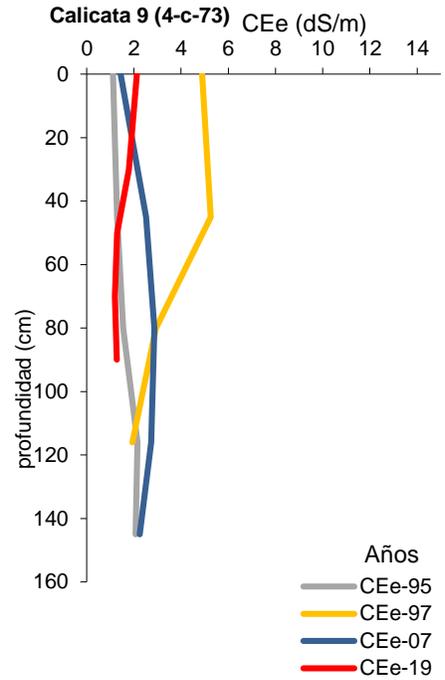
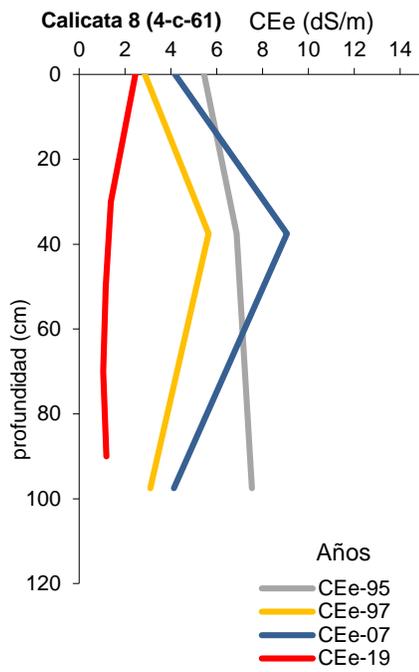
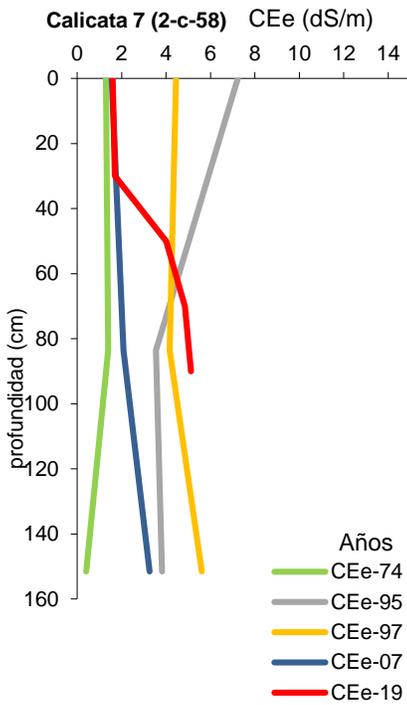
Anejo 14

Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio

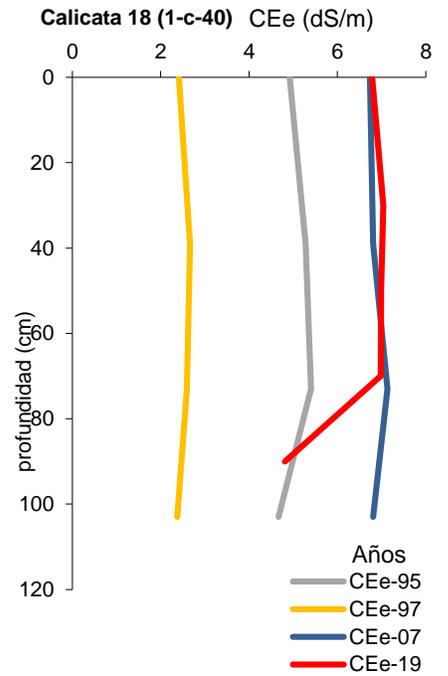
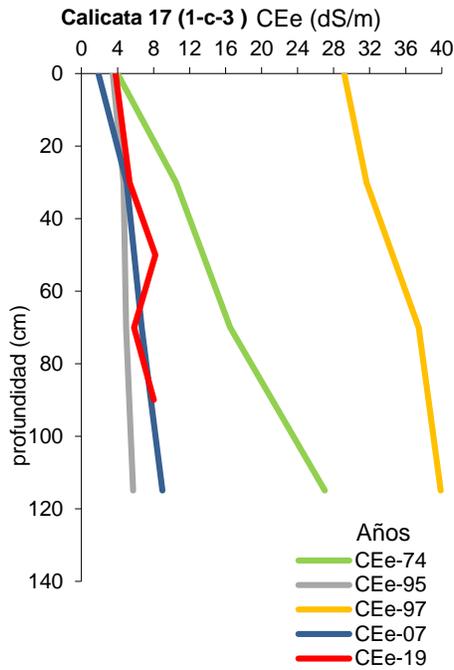
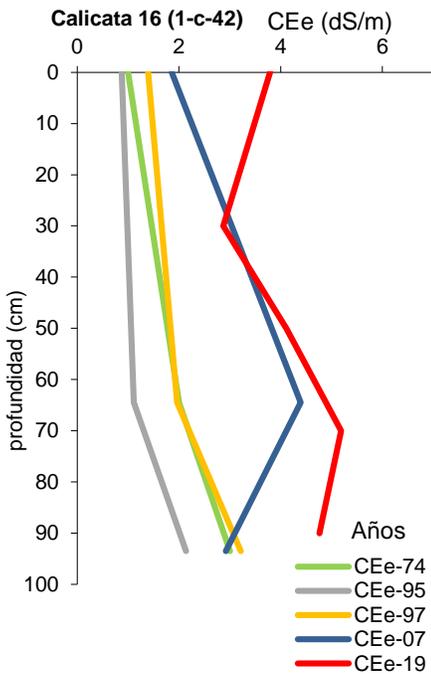
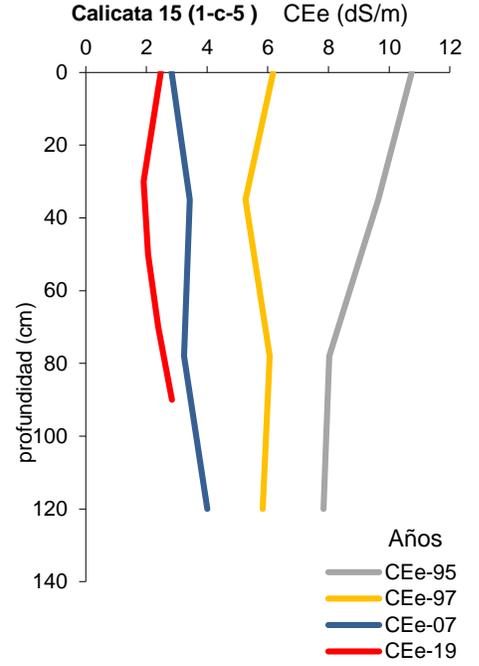
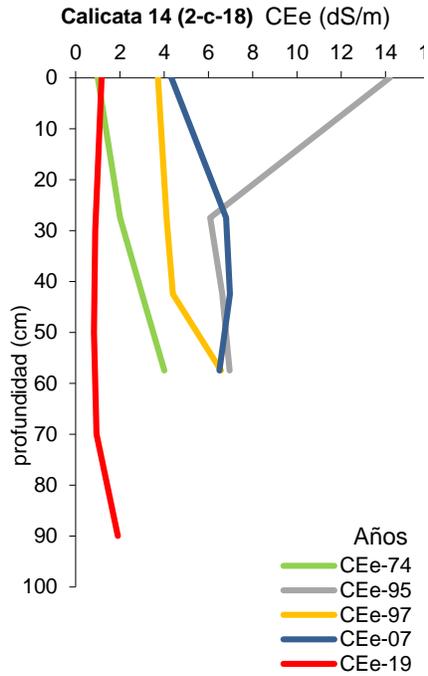
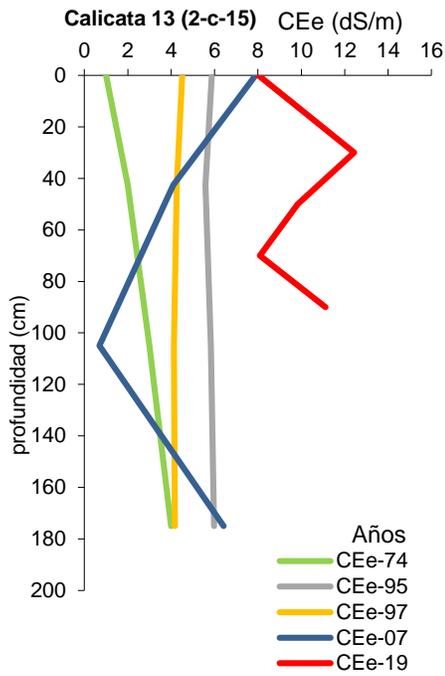
Anejo14: Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio



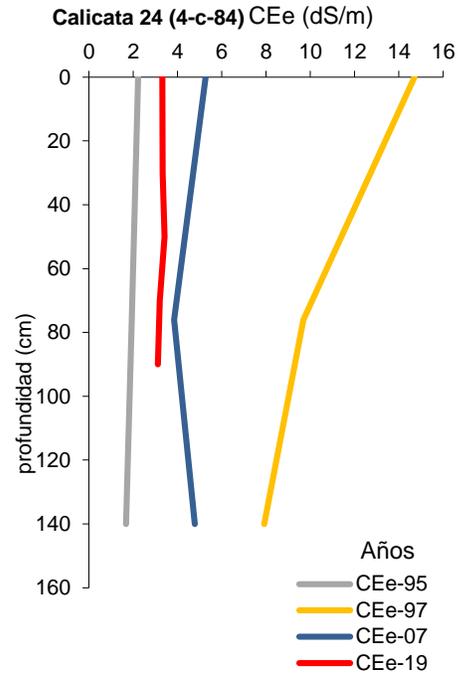
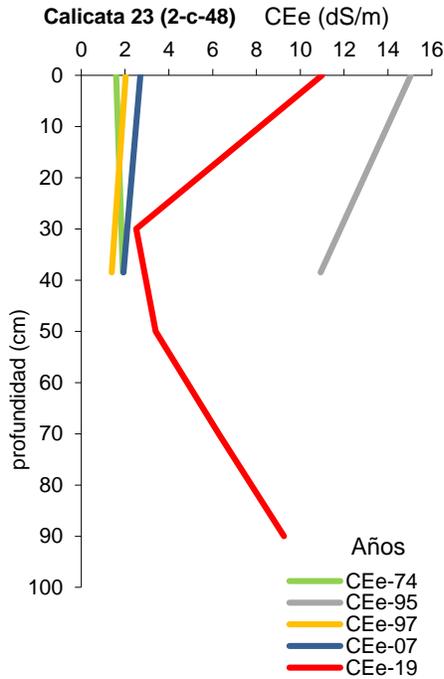
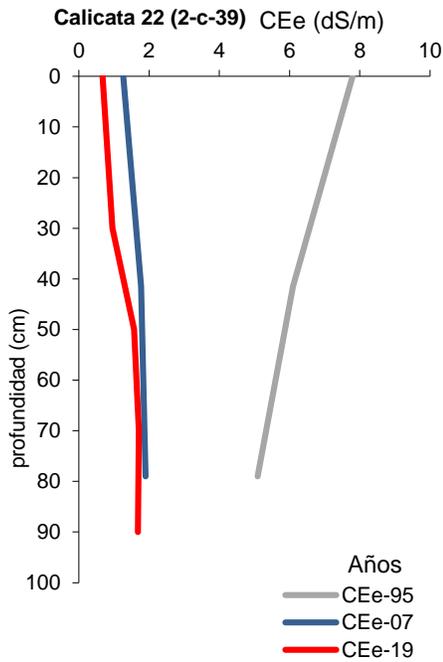
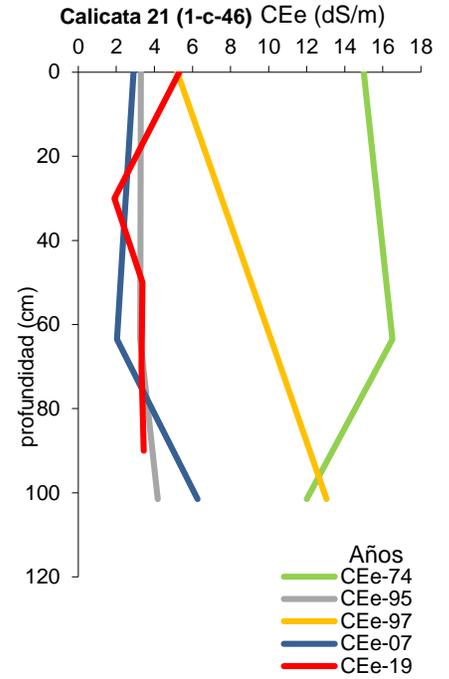
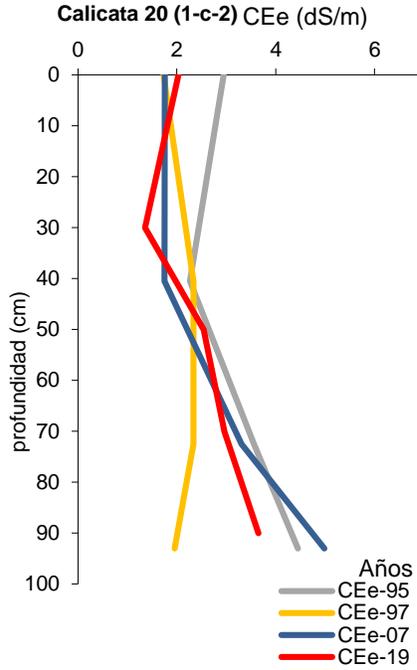
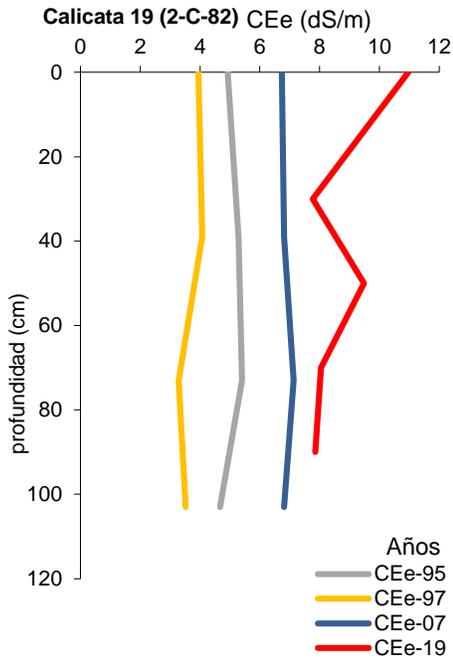
Anejo14: Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio



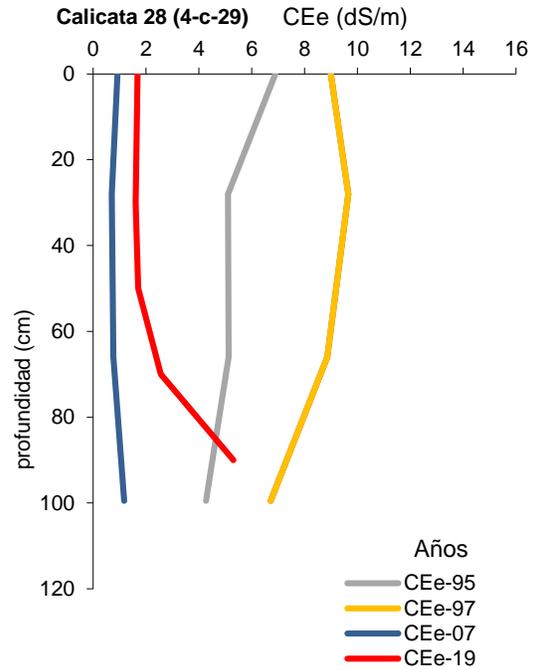
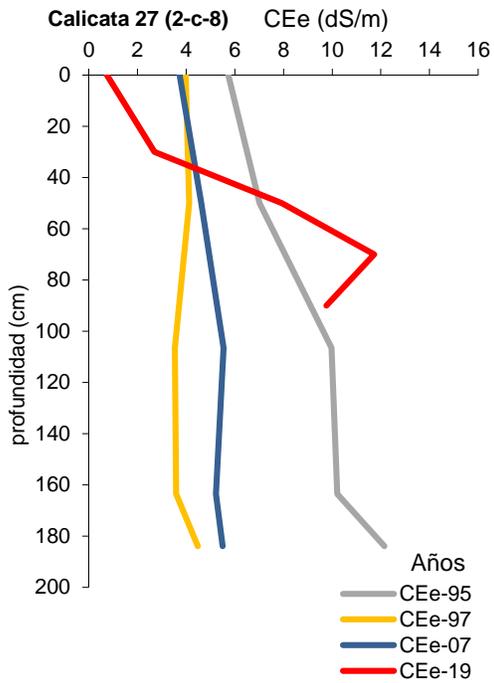
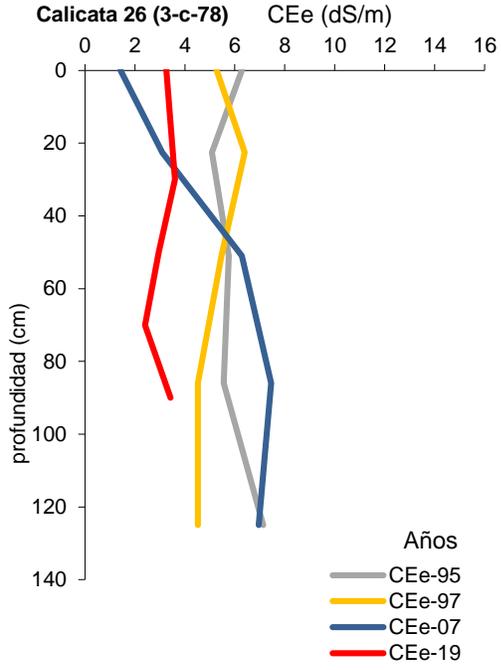
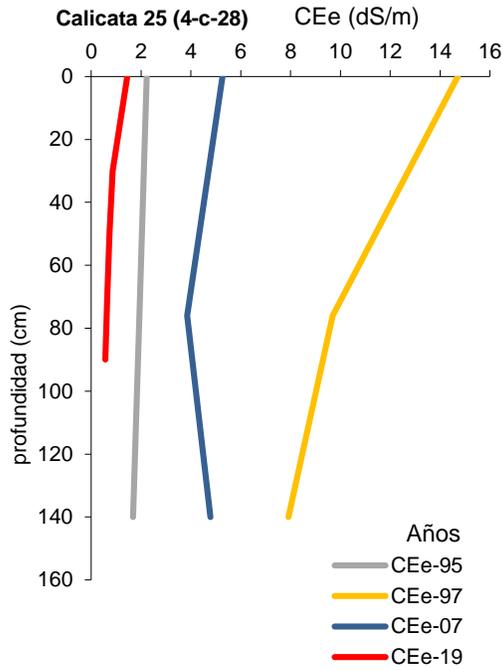
Anejo14: Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo14: Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo14: Conductividad eléctrica (CEe) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo 15

Distribución temporal de parámetros evaluados en los suelos de estudio

Tabla 1. Distribución temporal de la Materia Orgánica (%) en los suelos en estudio

Distribución de Materia Orgánica (%) según Textura				
Descripción	Rango (Fr.Arcilloso)	1974	1997	2019
Muy Bajo	< 1	96%	89%	-
Bajo	1.0 - 1.5	4%	7%	25%
Normal	1.5 - 2.0	-	4%	25%
Alto	2.0 - 2.5	-	-	50%
Muy Alto	> 2.5	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. (Límites utilizados de Martínez y Andrades, 2014).

Tabla 2. Evolución temporal de la salinidad de los suelos en estudio (%)

CEe (dS/m)		Calicatas				
Descripción	Rango	1974	1995	1997	2007	2019
Normal	0 - 2	22%	-	22%	-	-
Ligeramente salino	2 - 4	22%	11%	-	44%	45.5%
Medianamente salino	4 - 8	22%	33%	22%	56%	45.5%
Fuertemente salino	8 - 16	34%	56%	45%	-	-
Muy fuertemente salino	> 16	-	-	11%	-	11%

Fuente: Elaboración propia. (Límites utilizados de Porta et al., 2003).

Tabla 3. Distribución temporal de los suelos en estudio según PSI (%)

Denominación según PSI (%)	Rango	1974	1995	1997	2007	2019
No Sódicos	<7	93%	61%	54%	39%	43%
Ligeramente Sódicos	7 – 10	-	14%	21%	39%	14%
Medianamente Sódicos	11 – 20	7%	25%	21%	21%	36%
Fuertemente Sódicos	21 – 30	-	-	4%	-	7%
Excesivamente Sódicos	>30	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. (Límites utilizados de Raj et al., 2010)

Tabla 4. Evolución temporal del % de caliza de los suelos en estudio (%)

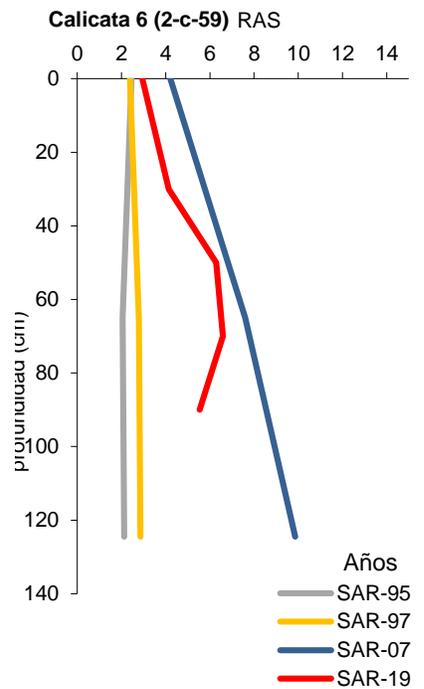
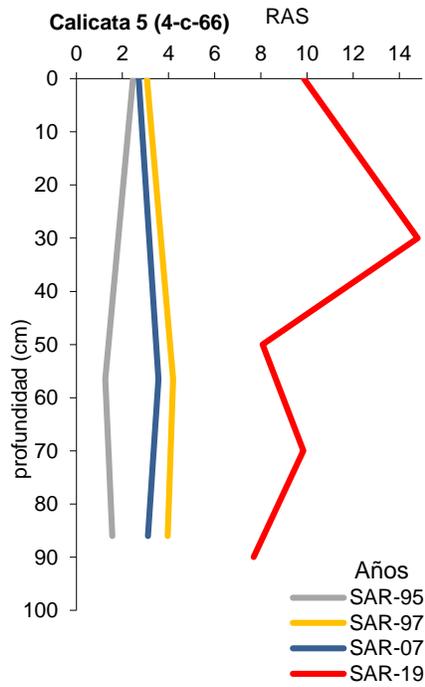
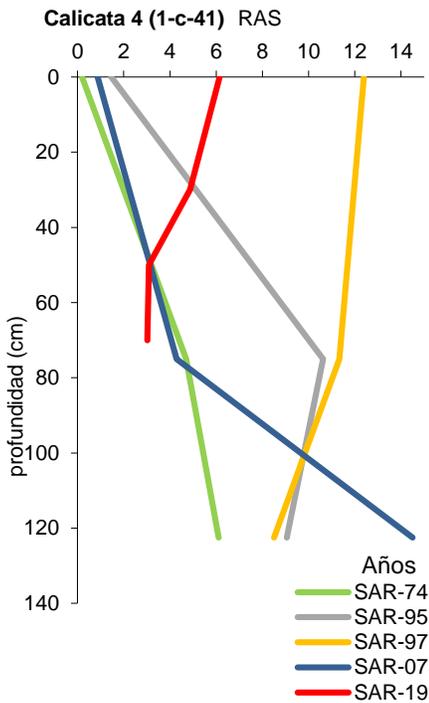
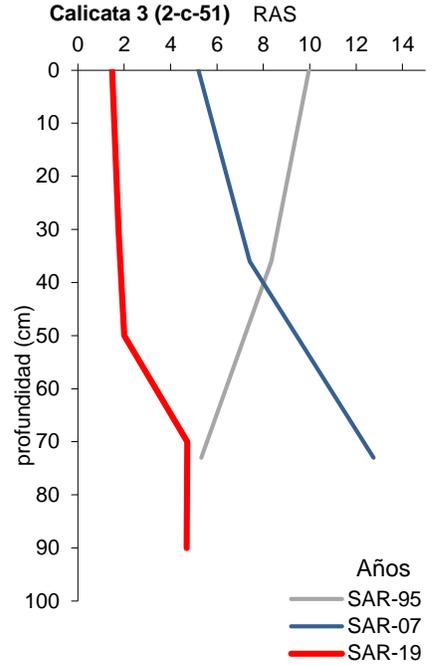
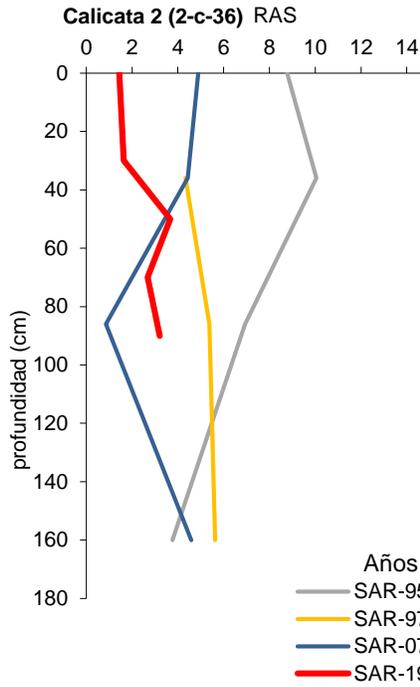
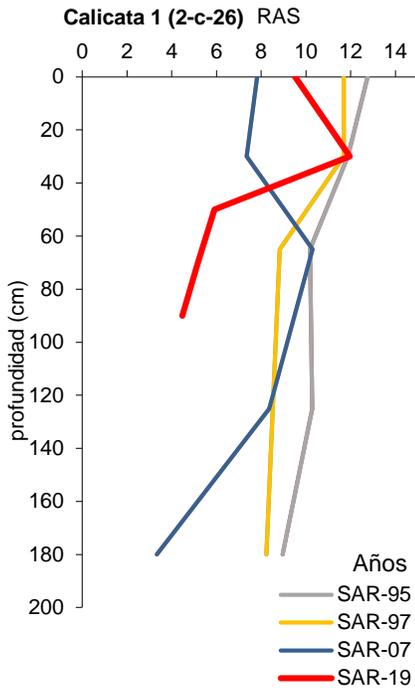
Caliza Total en %	1974	1995	1997	2007	2019
< 15%	-	-	-	-	-
15-35 %	-	4%	-	11%	7%
>35%	100%	96%	100%	89%	93%

Fuente: Elaboración propia. (Límites utilizados de Garrido, 1994)

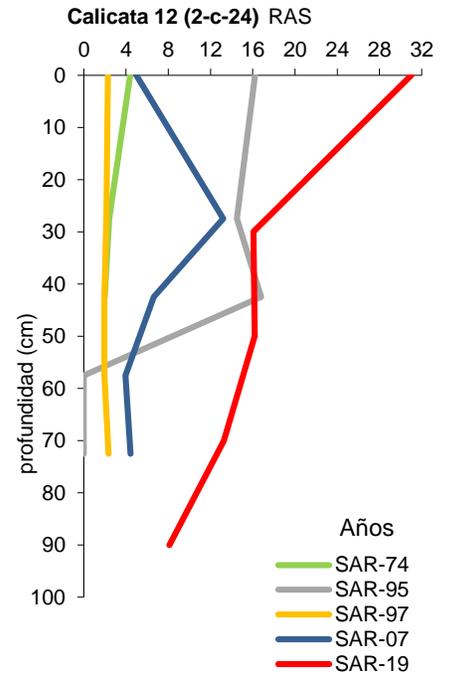
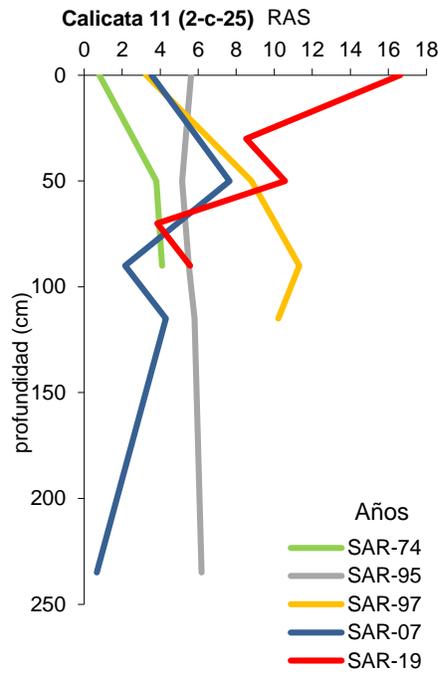
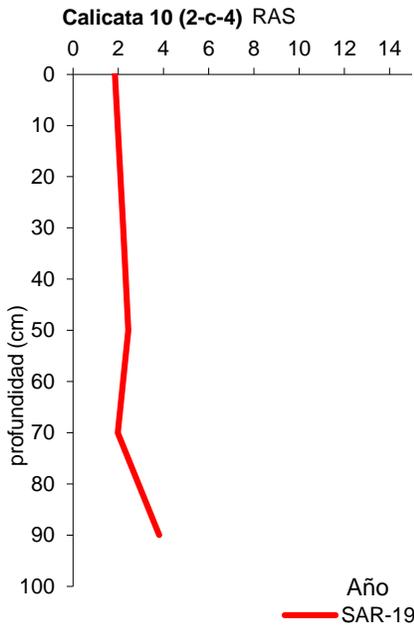
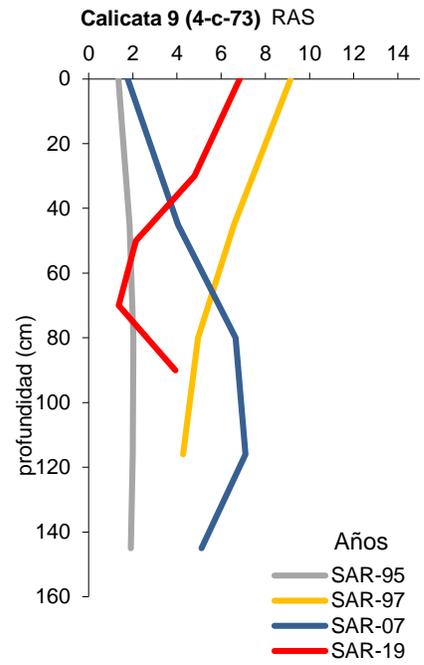
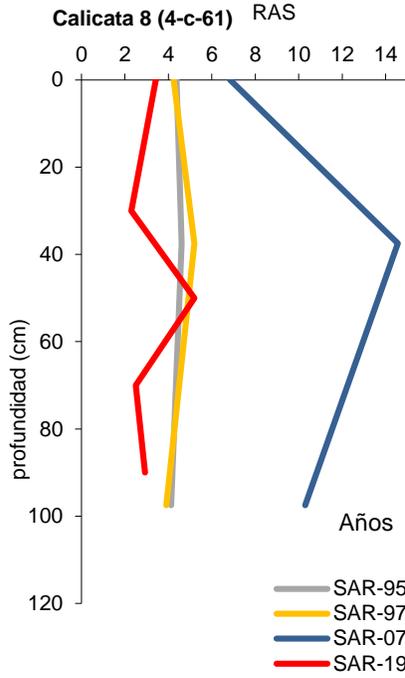
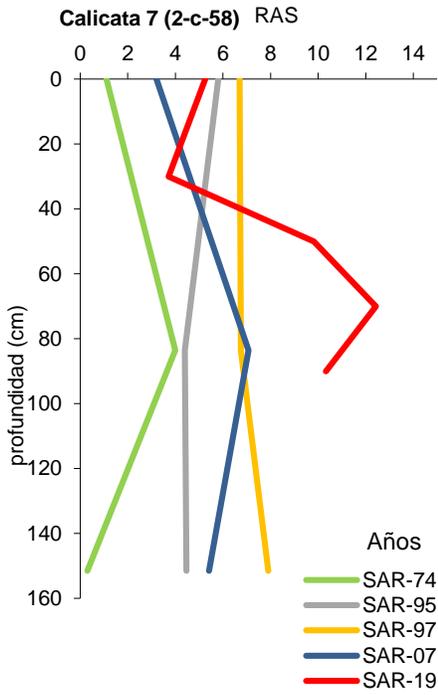
Anejo 16

Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio

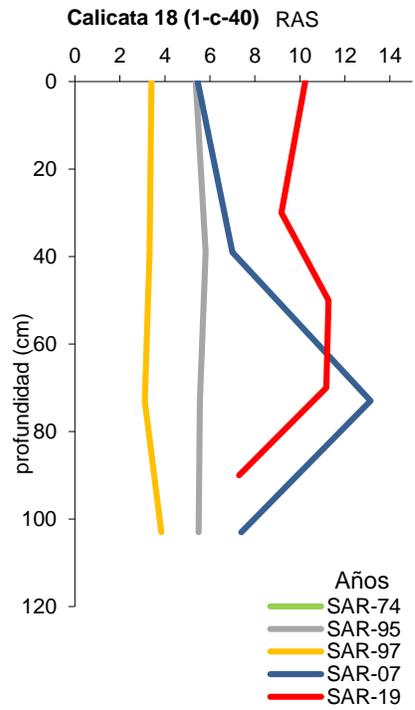
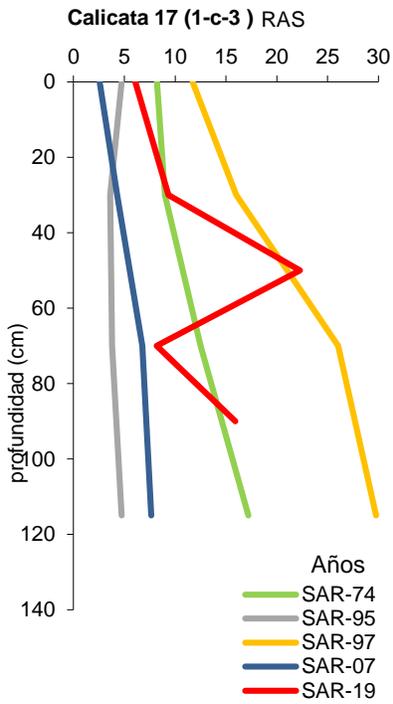
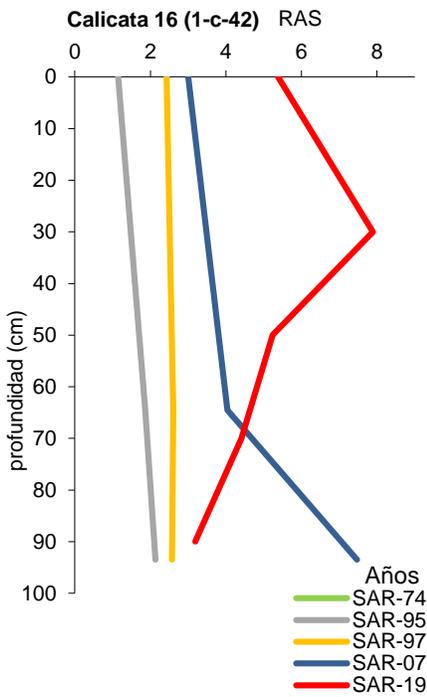
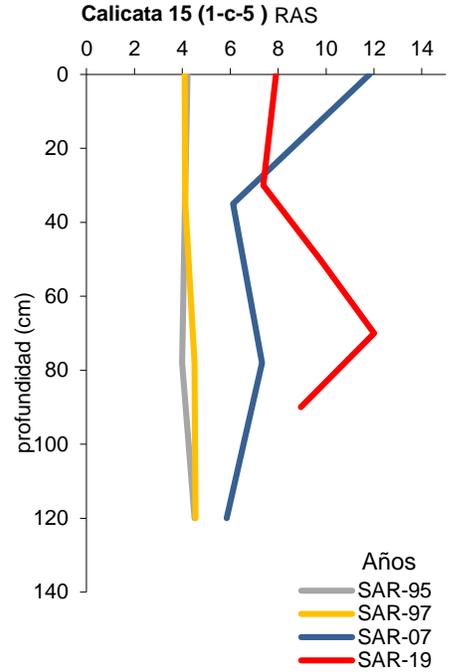
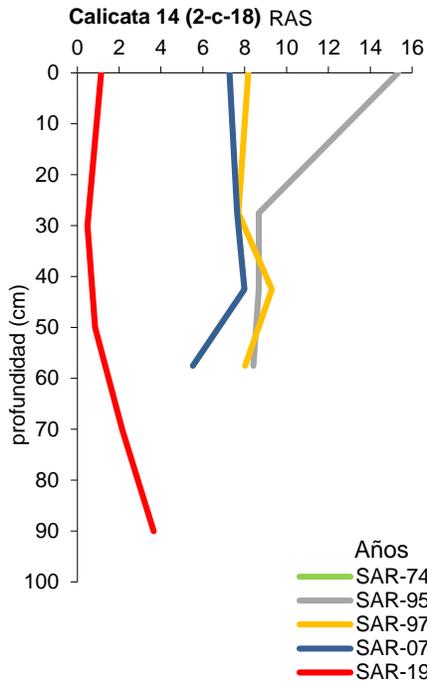
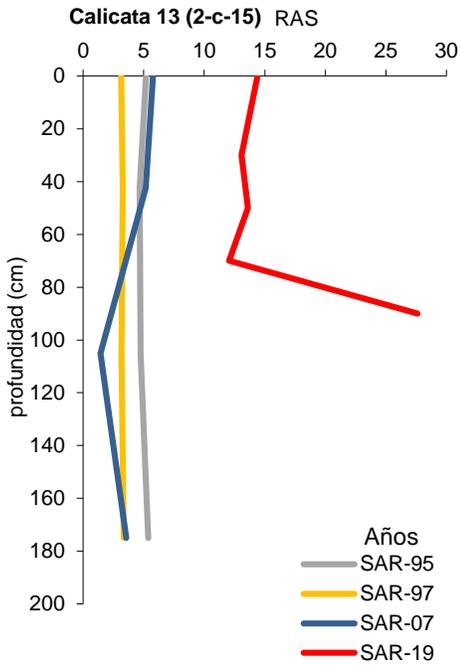
Anejo16: Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio



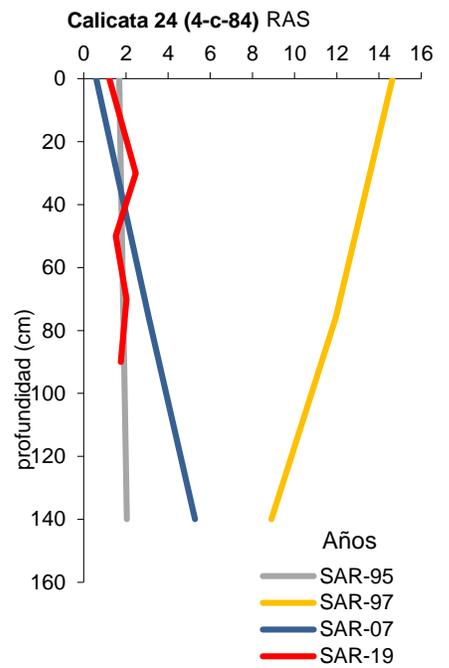
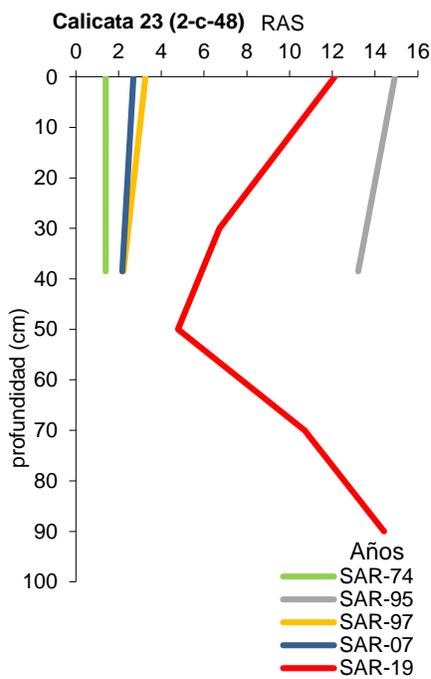
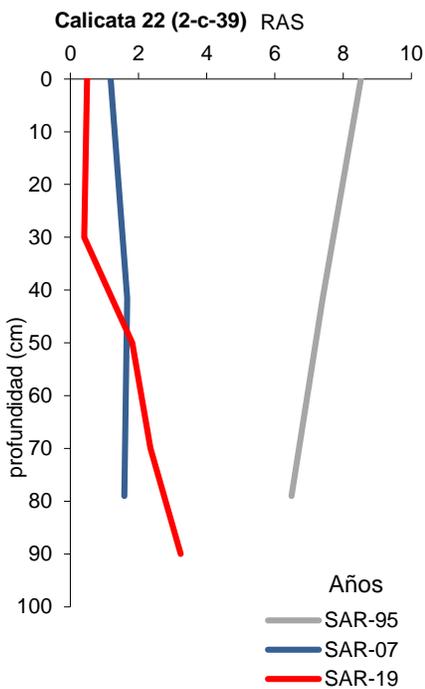
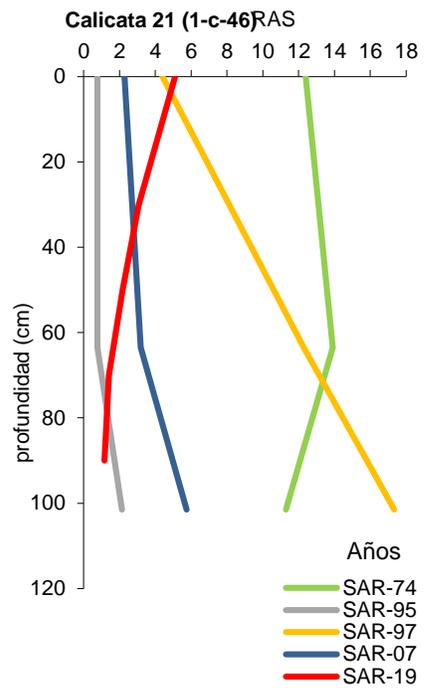
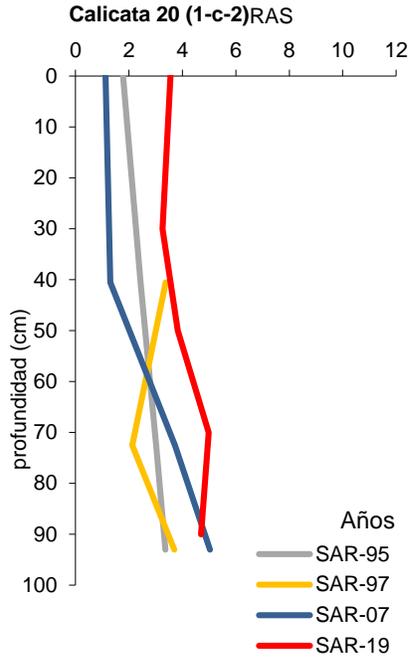
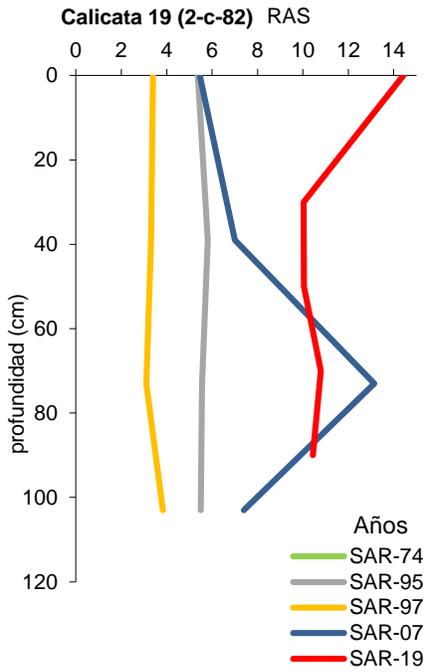
Anejo16: Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio



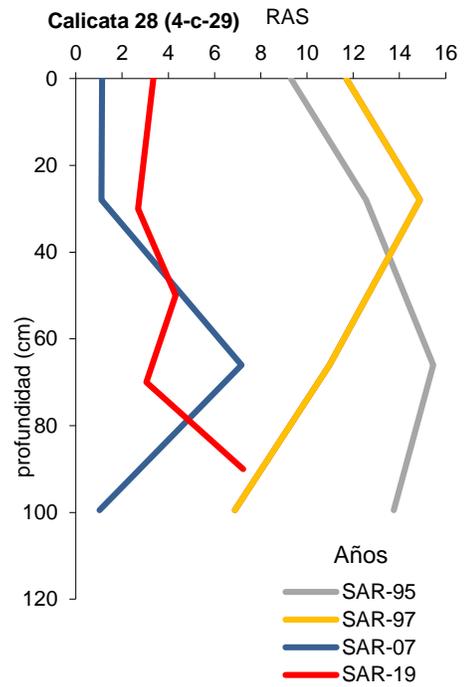
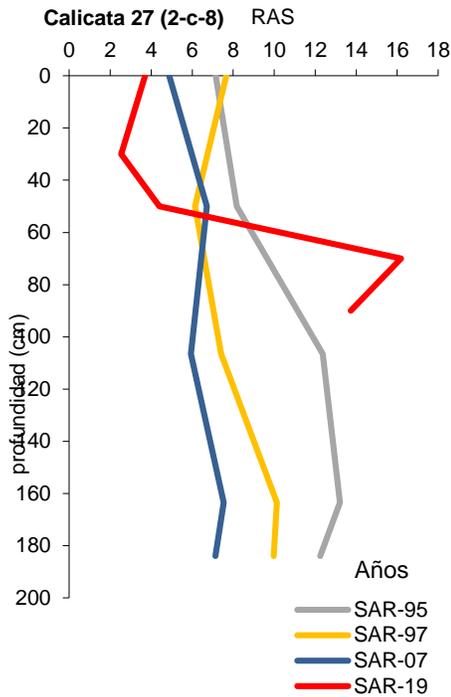
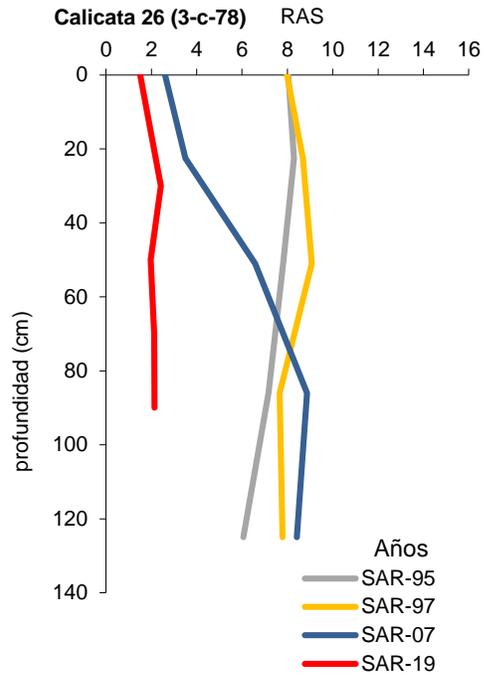
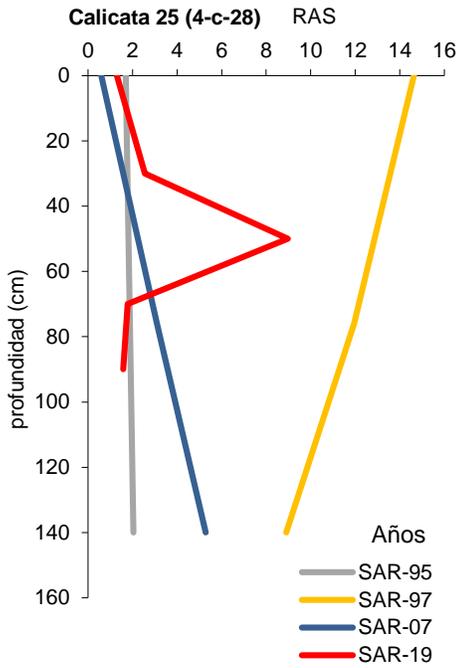
Anejo16: Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo16: Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio



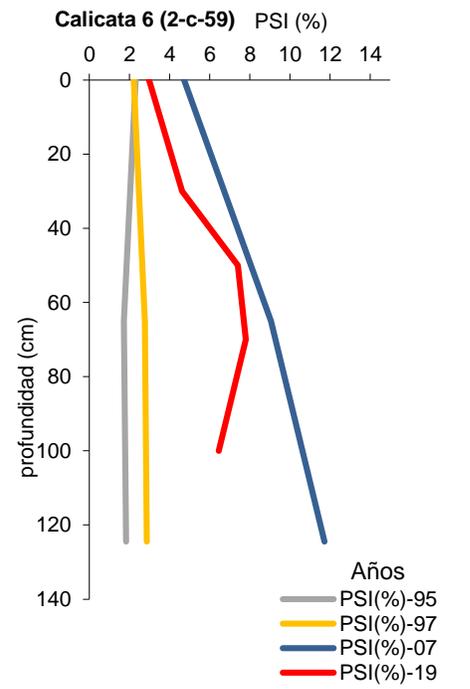
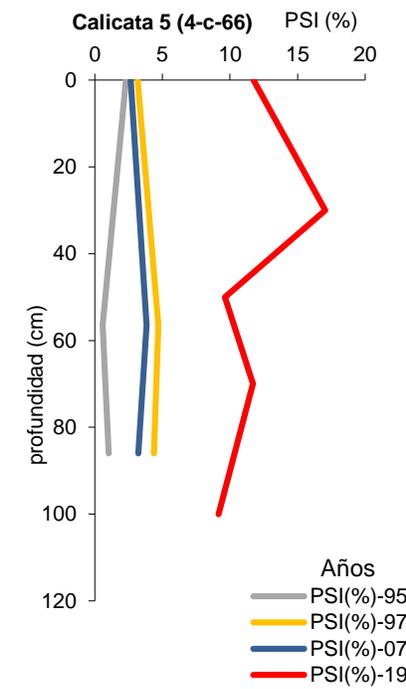
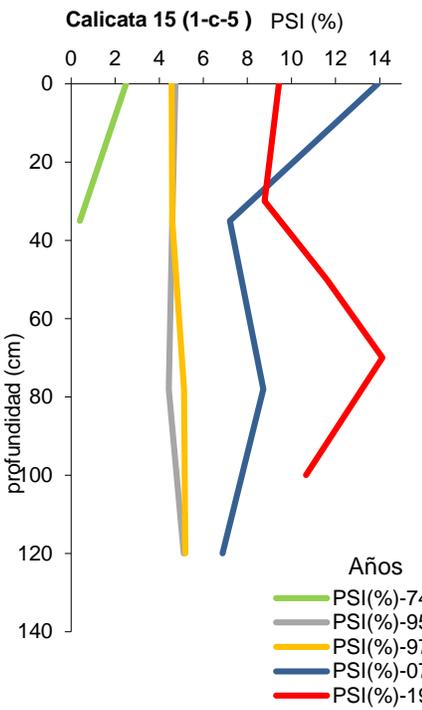
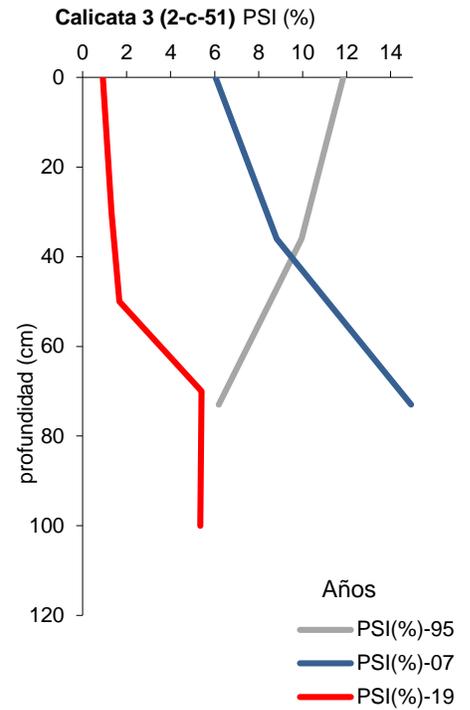
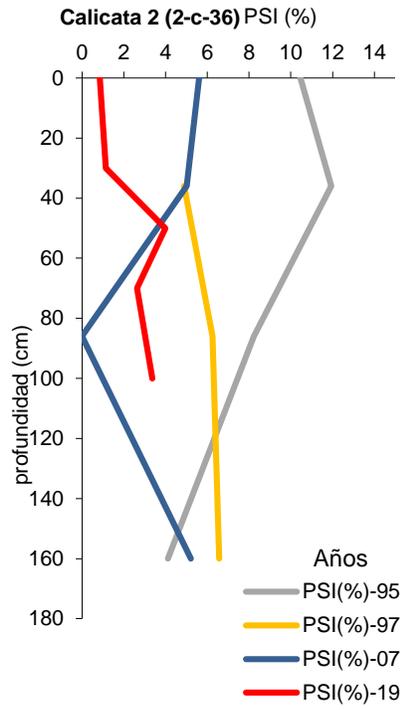
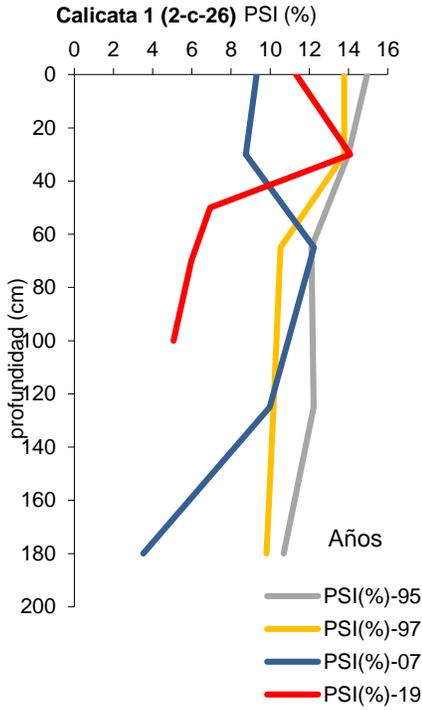
Anejo 16: Relación de absorción de sodio (RAS) en el perfil de los suelos de estudio



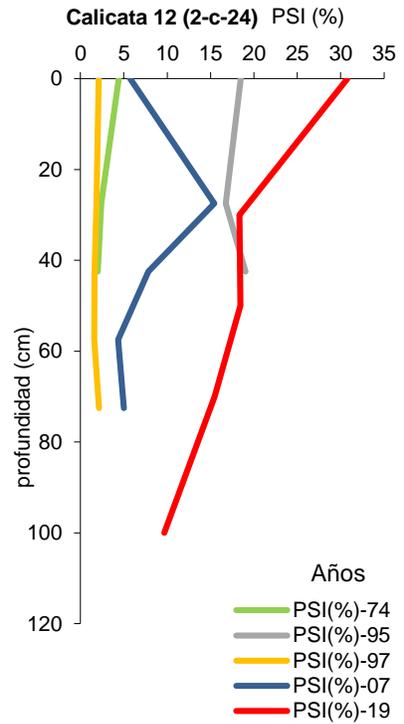
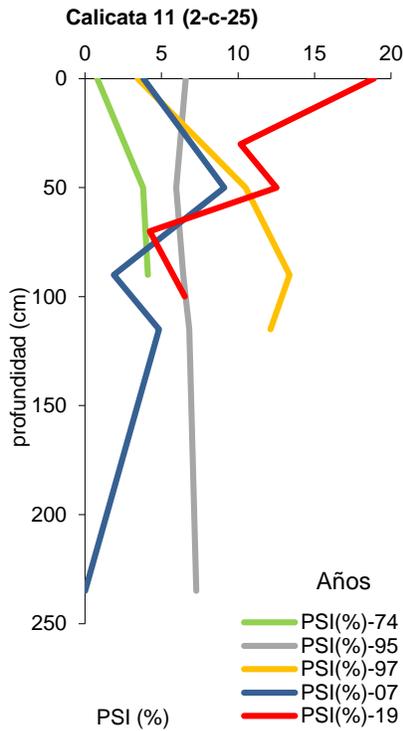
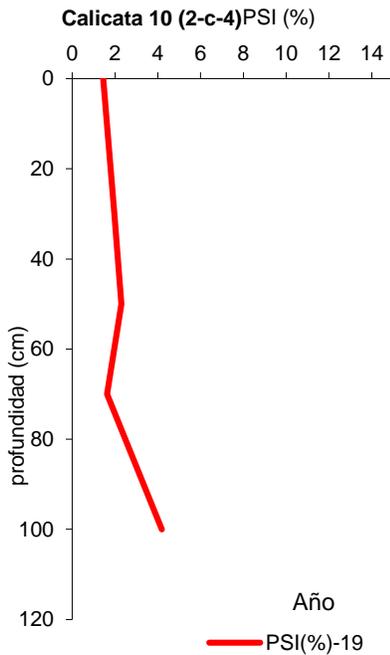
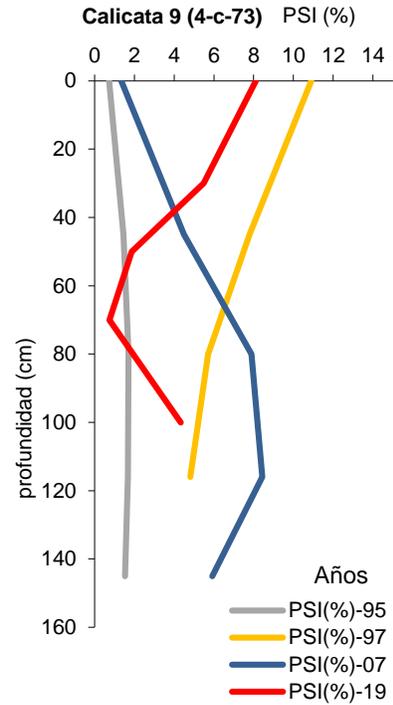
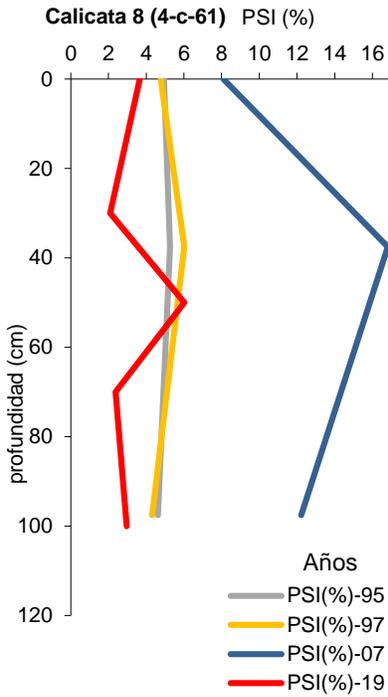
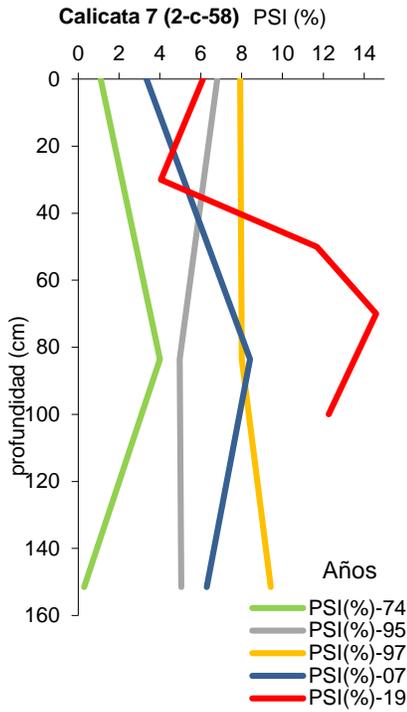
Anejo 17

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio

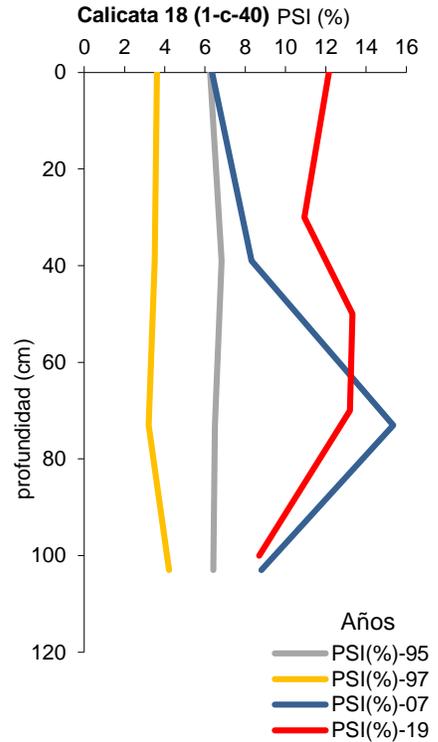
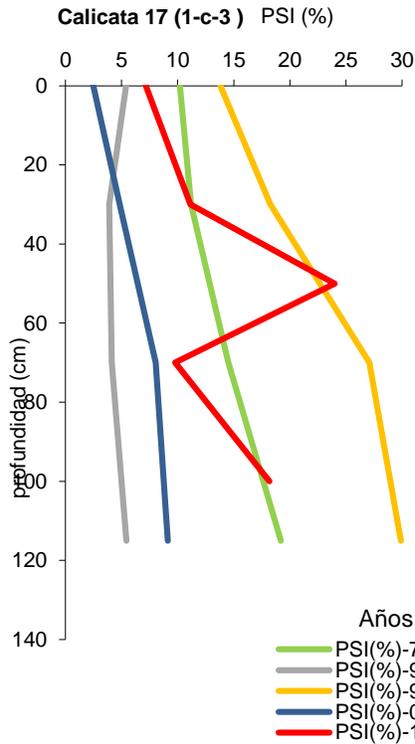
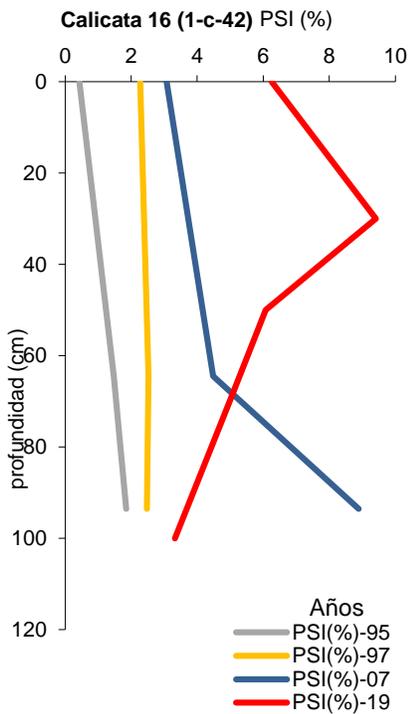
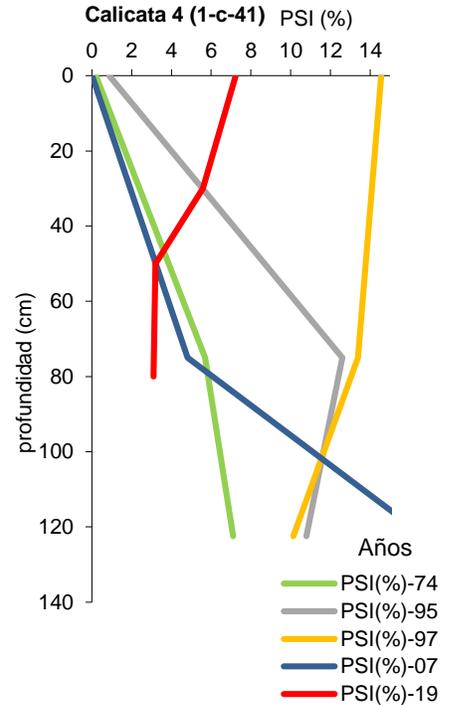
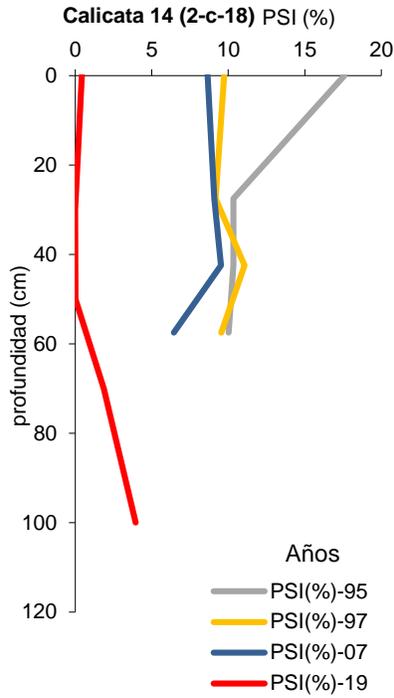
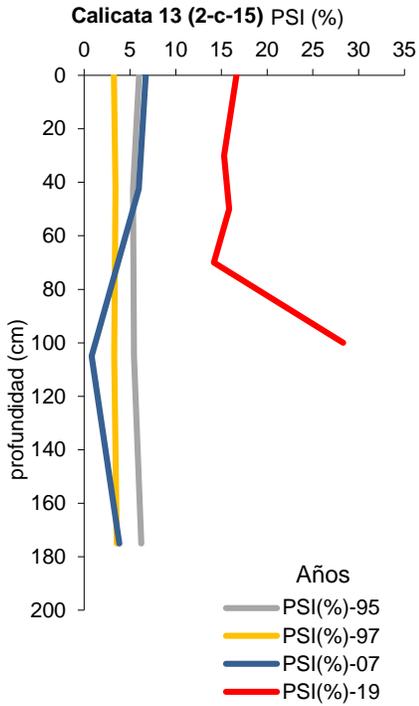
Anejo 17: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio



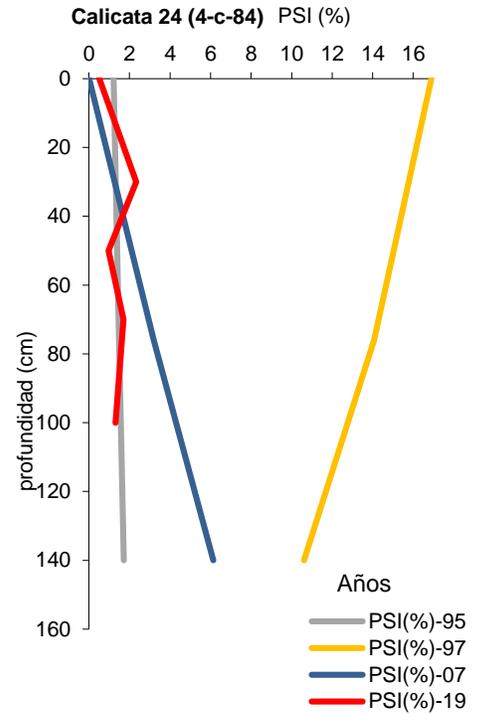
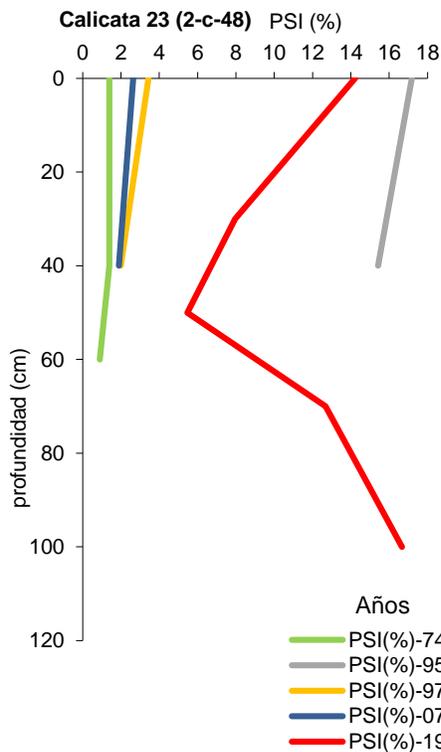
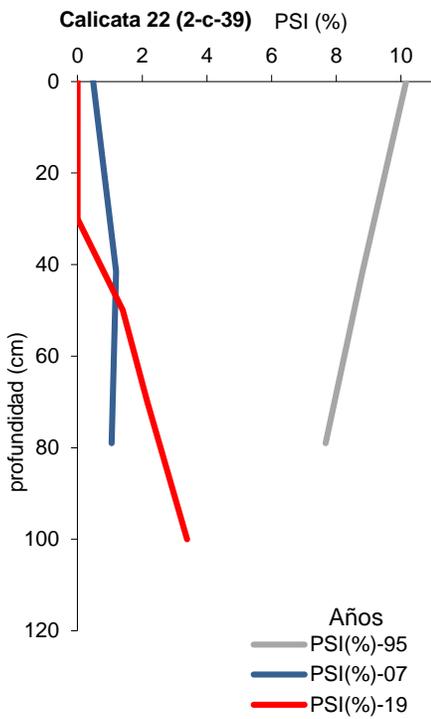
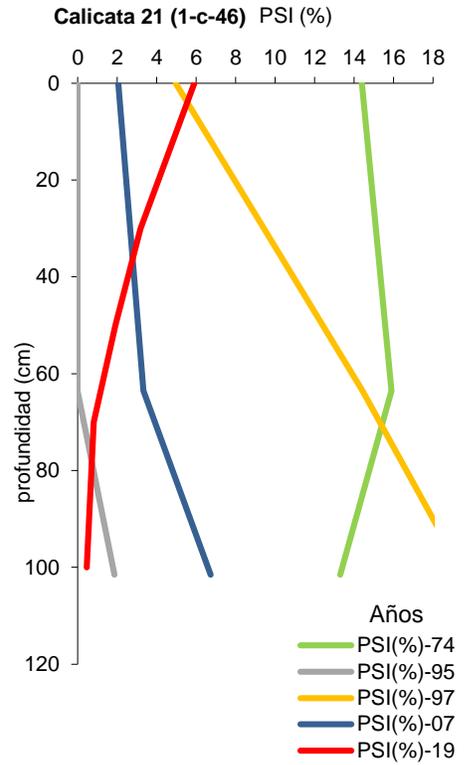
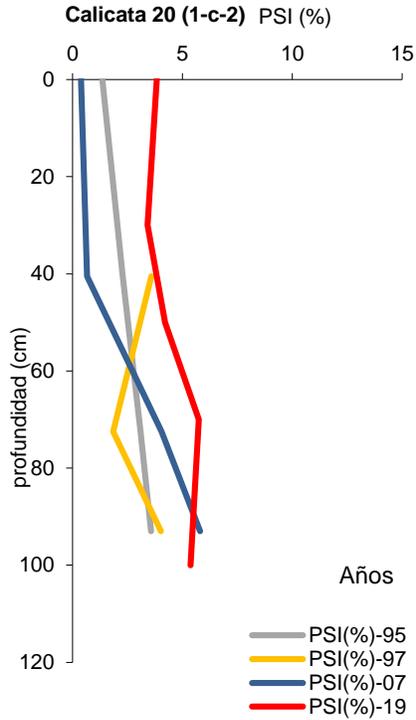
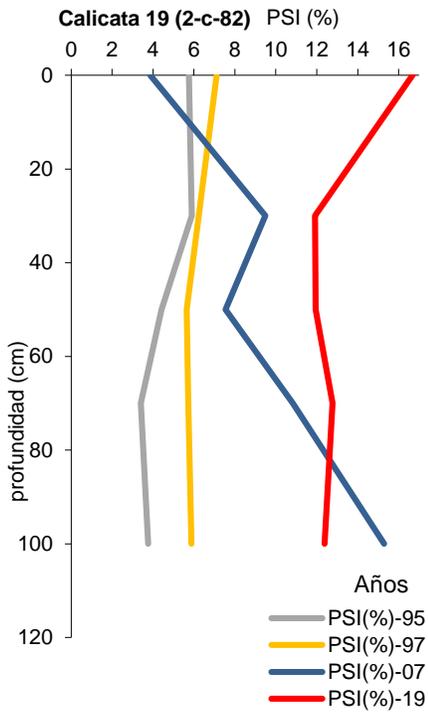
Anejo 17: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio



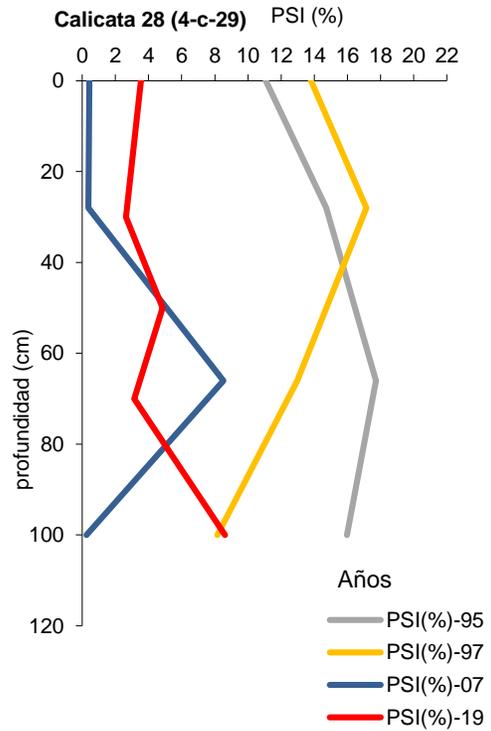
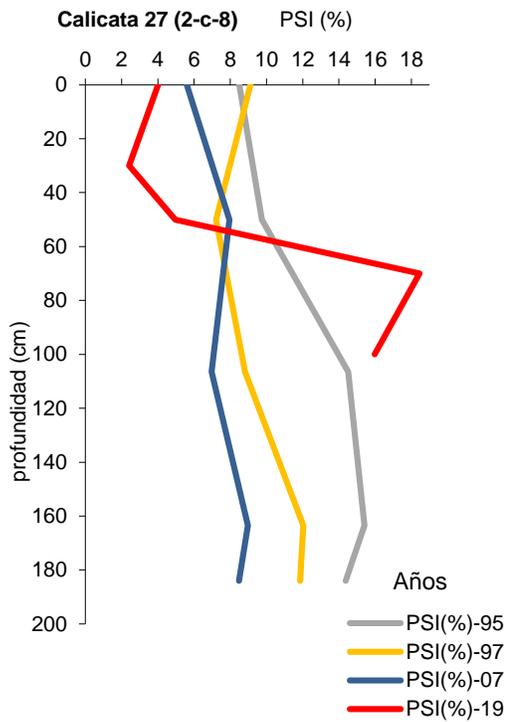
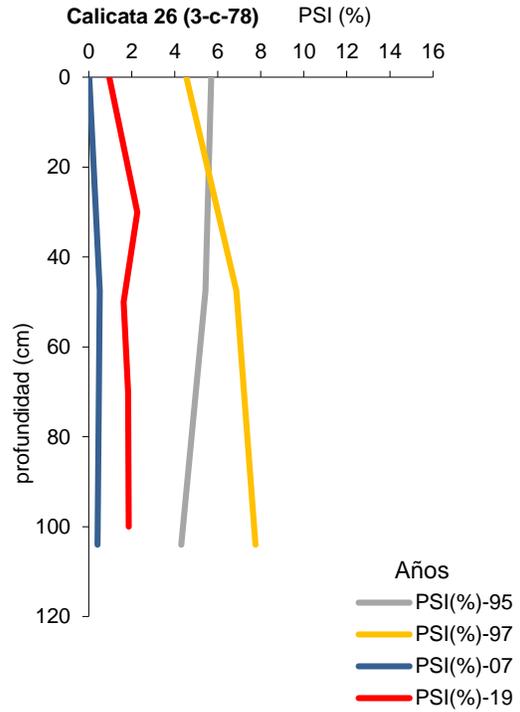
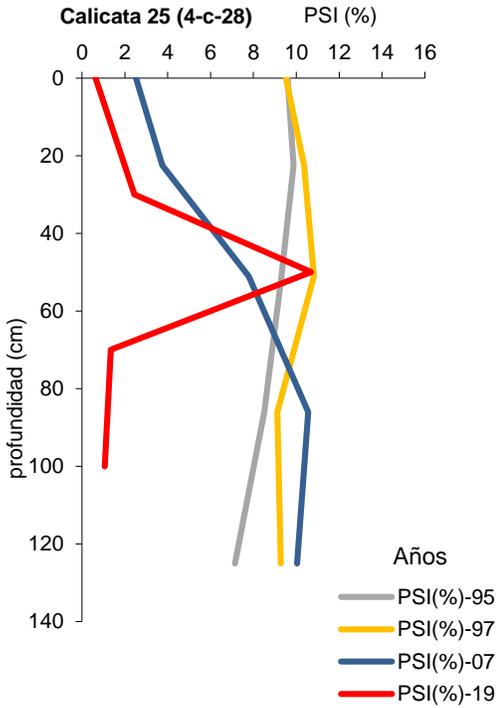
Anejo 17: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo 17: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio



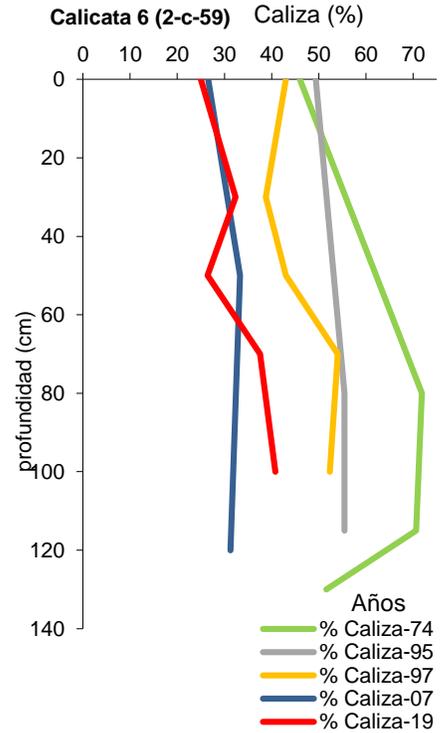
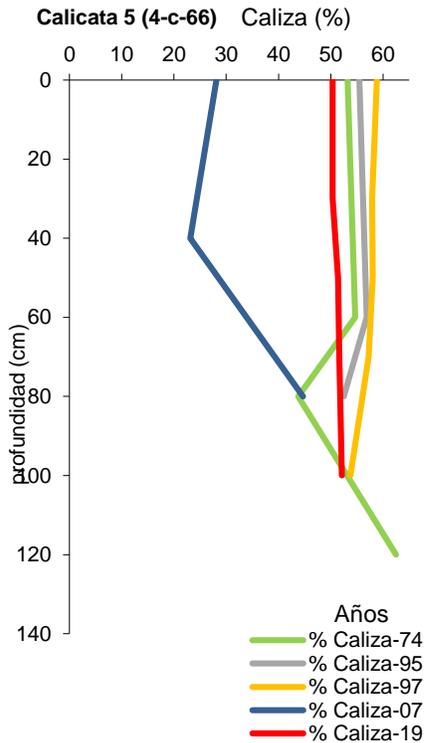
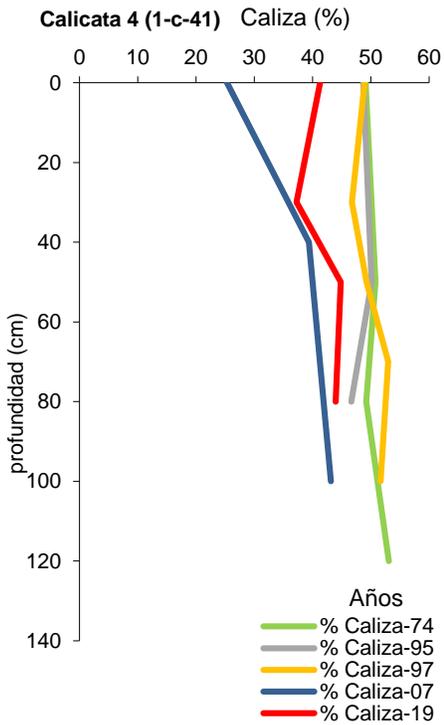
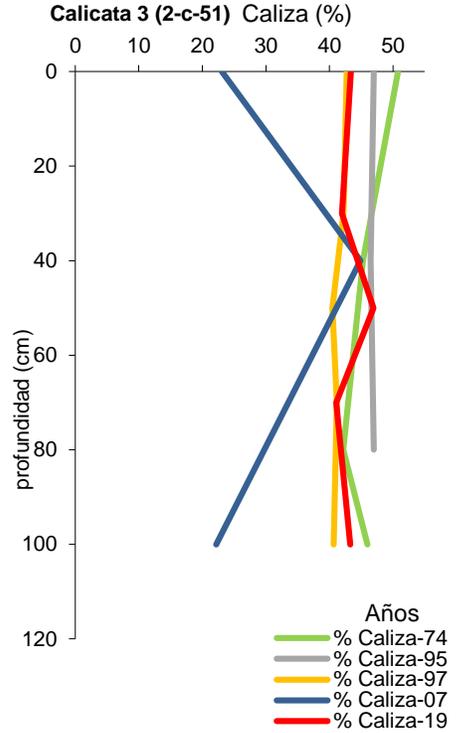
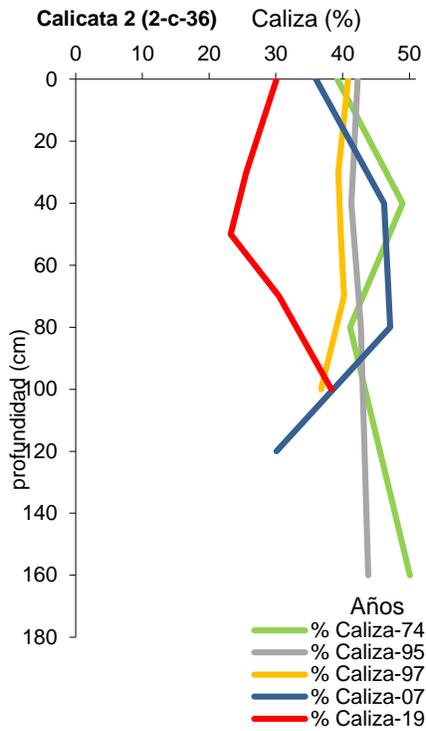
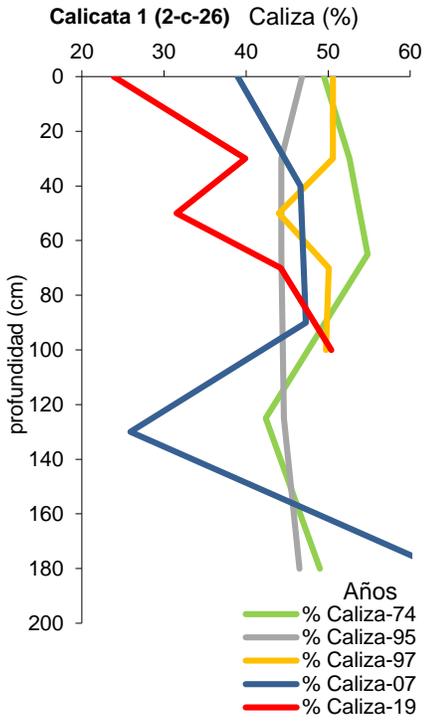
Anejo 17: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el perfil de los suelos de estudio



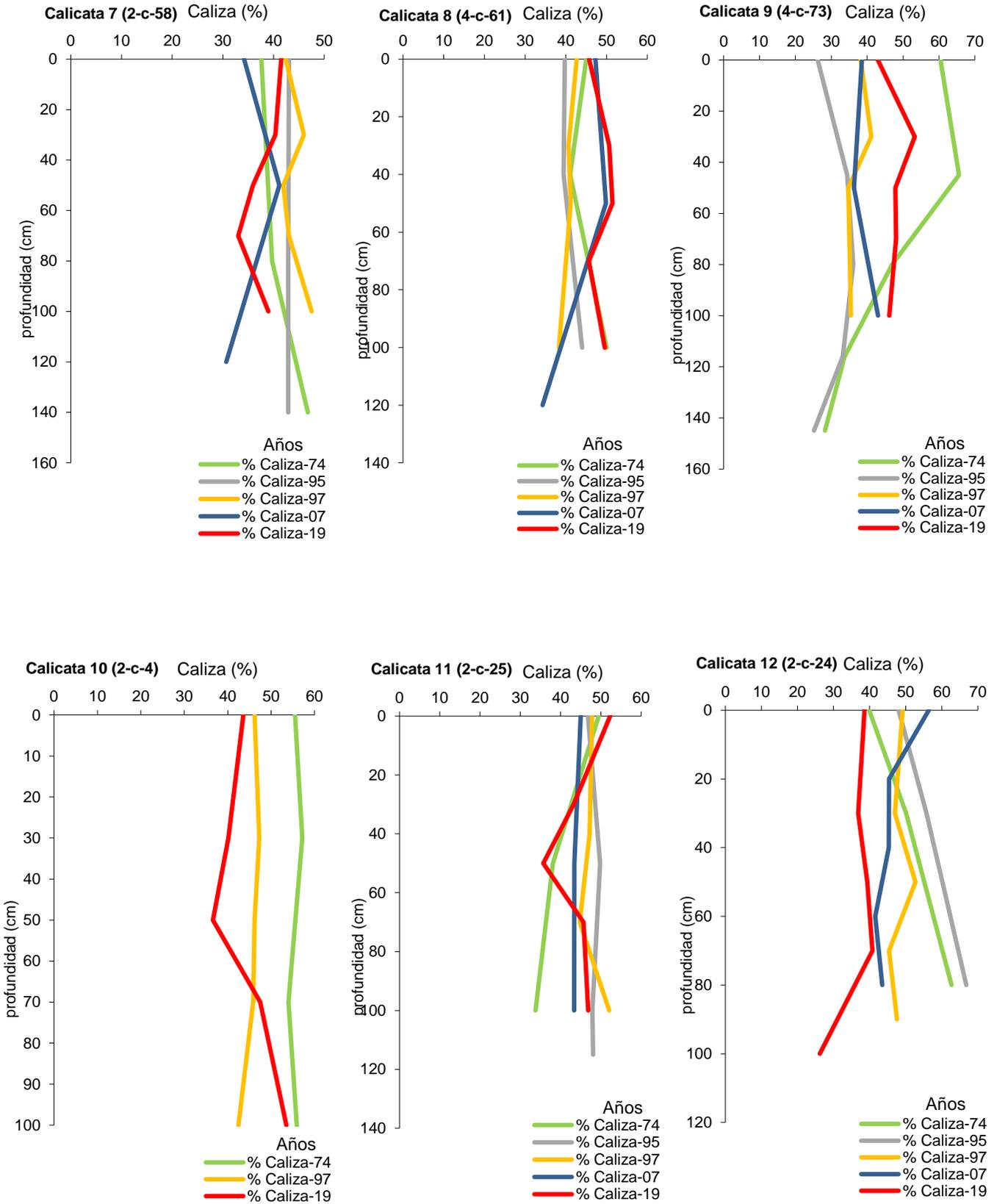
Anejo 18

Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio

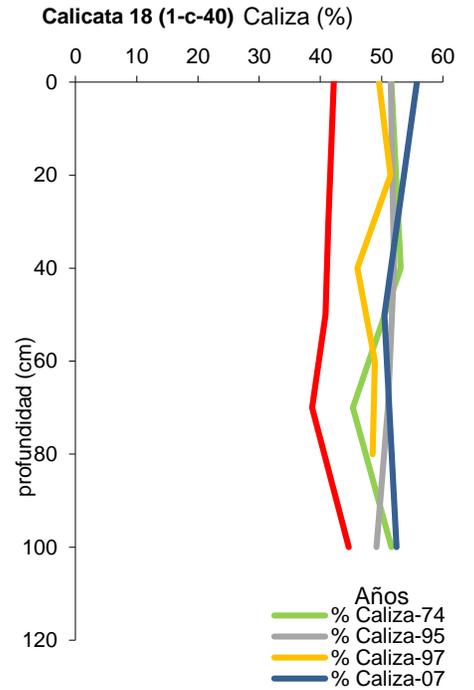
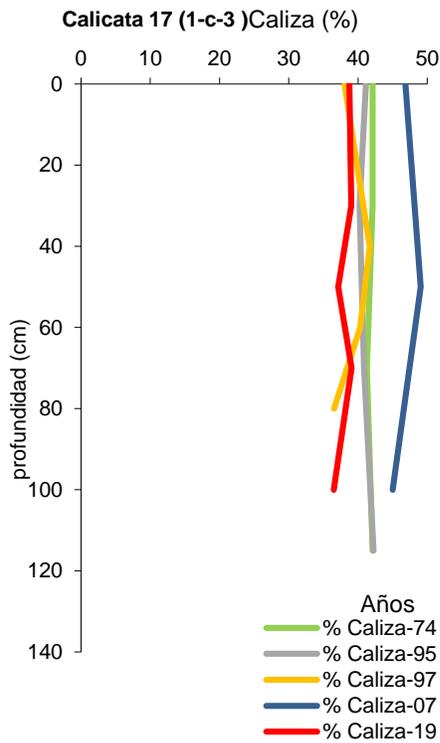
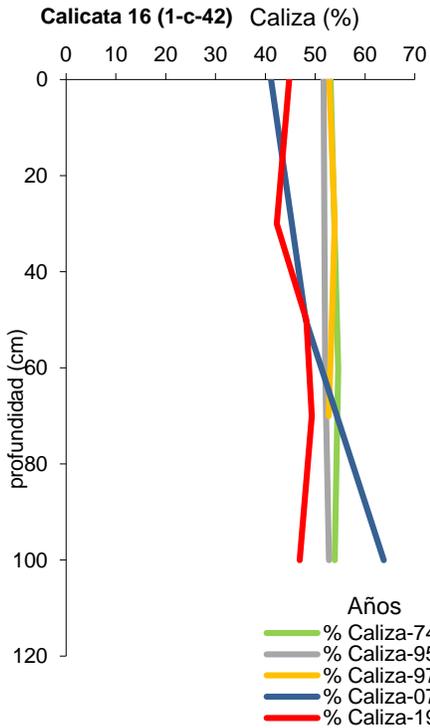
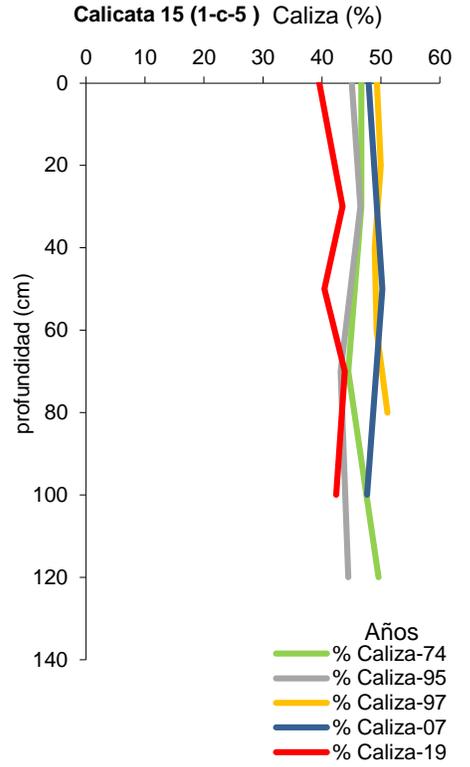
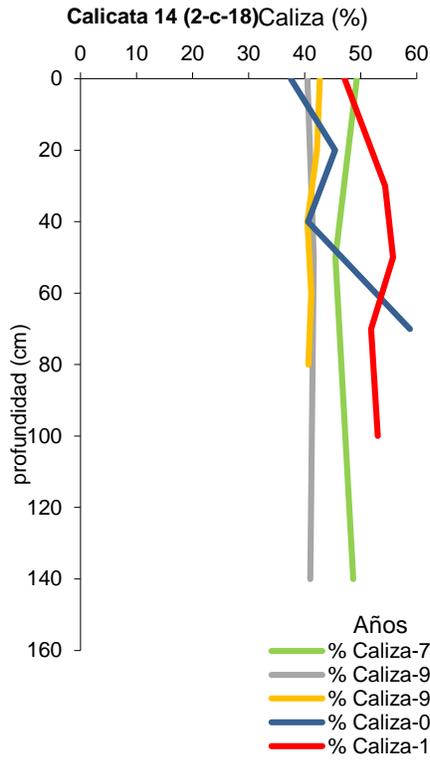
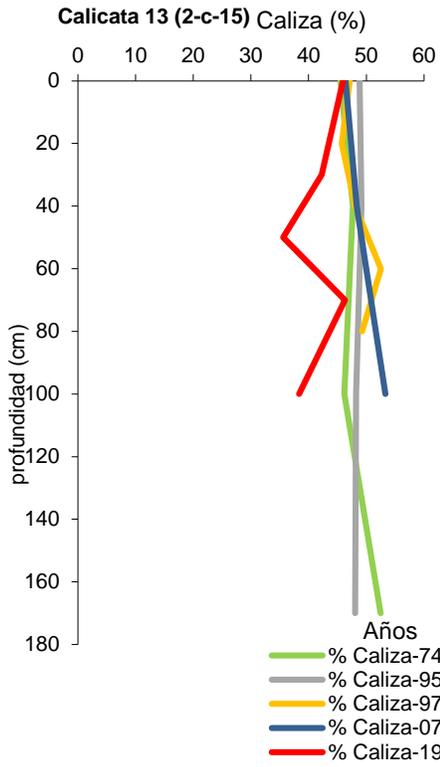
Anejo 18: Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio



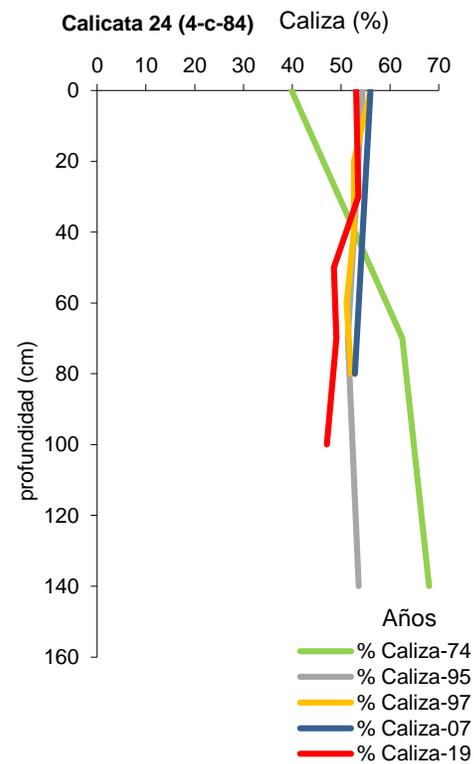
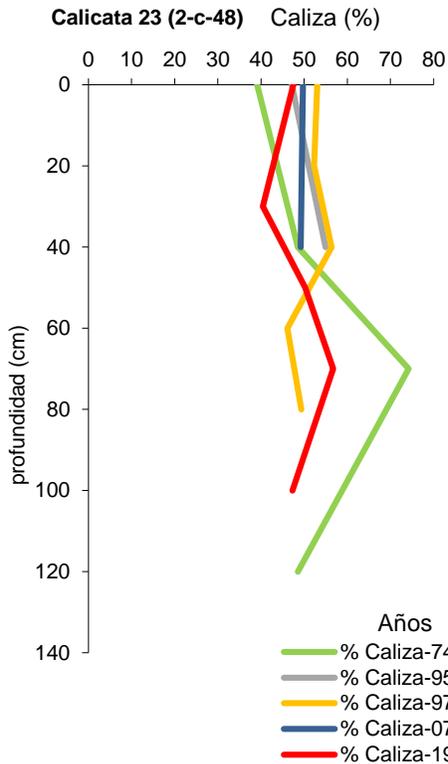
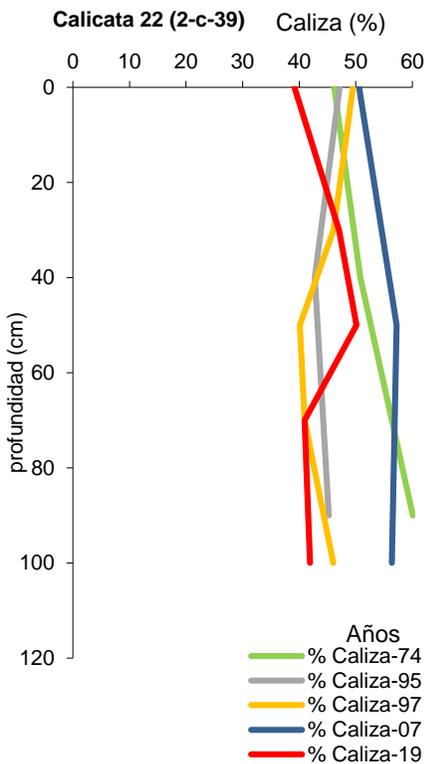
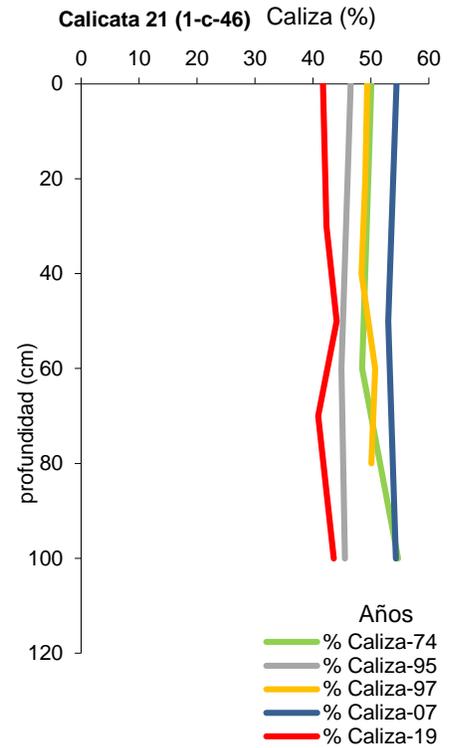
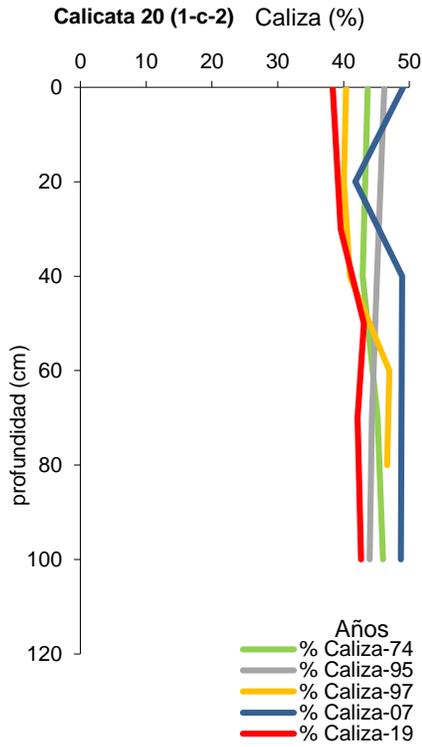
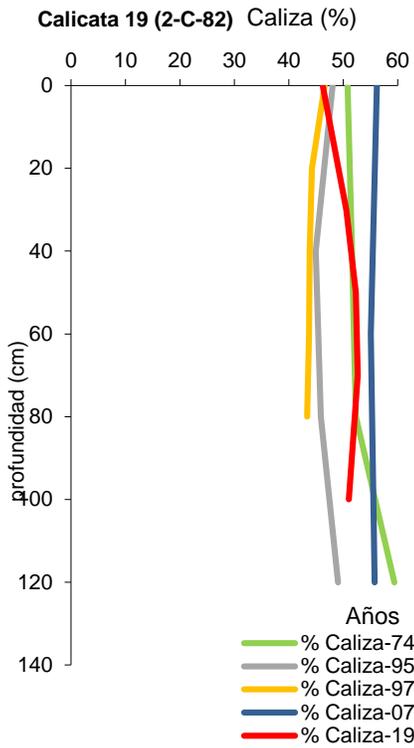
Anejo 18: Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio



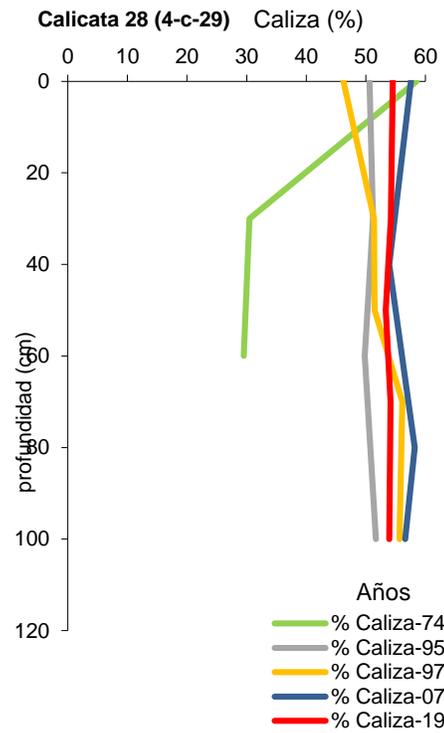
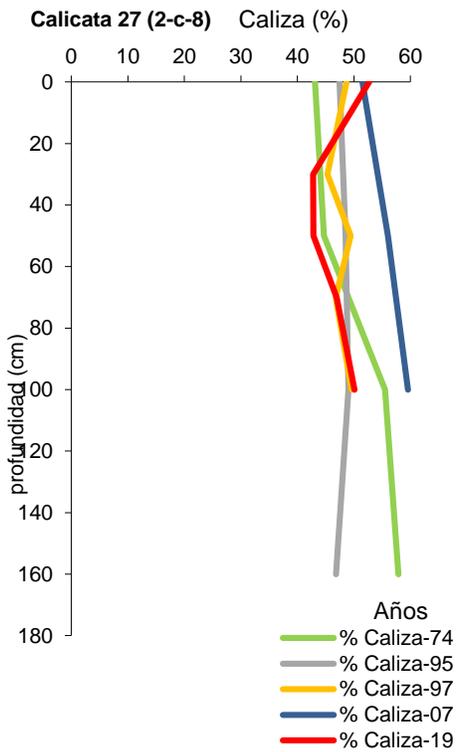
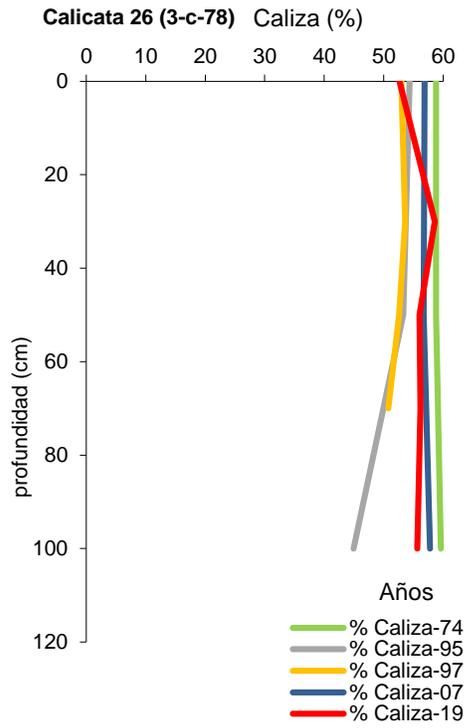
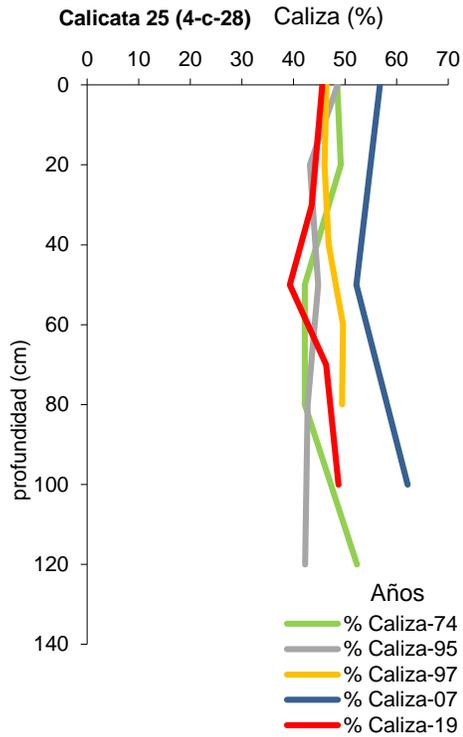
Anejo 18: Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo 18: Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo 18: Carbonatos (%) en el perfil de los suelos de estudio



Anejo 19

Resultados de la evaluación de suelos 2019, según su aptitud para el riego (USBR)

Anejo 19: Resultados de la evaluación de suelos 2019, según su aptitud para el riego (USBR)

Tabla 1. Evaluación de suelos 2019 según su aptitud para riego

AÑO 2019	CALICATAS																											
	2-c-26	2-c-36	2-c-51	1-c-41	4-c-66	2-c-59	2-c-58	4-c-61	4-c-73	2-c-4	2-c-25	2-c-24	2-c-15	2-c-18	1-c-5	1-c-42	1-c-c-3	1-c-40	2-c-82	1-c-2	1-c-46	2-c-39	2-c-48	4-c-84	4-c-28	3-c-78	2-c-8	4-c-29
FACTORES DE SUELO																												
Textura en superficie	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	I	I	I	I	I	I	III	I	II	I	I
Profundidad efectiva	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Caliza Total %	III	II	II	II	III	II	II	III	III	III	III	II	II	III	II	II	II	II	III	II	II	III	III	III	II	III	III	III
Elementos gruesos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Afloramientos rocosos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Sodicidad	II	I	II	II	III	II	II	II	II	I	III	IV	IV	I	II	II	III	II	III	II	II	I	III	I	II	I	III	II
Salinidad	II	I	I	I	III	II	II	I	I	I	II	IV	IV	I	I	II	III	II	III	I	II	I	III	I	I	I	III	II
FACTORES DE TOPOGRAFÍA																												
Piedras a remover	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Inclinación	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
FACTORES DE DRENAJE																												
Profundidad de capa freática	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Drenaje superficial	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Profundidad de capa impermeable	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Aireación	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CLASE	III	II	II	II	III	II	II	III	III	III	III	IV	IV	III	II	II	III	II	III	II	II	III	III	III	II	III	III	III

Fuente: Elaboración propia. (Clasificación de suelos utilizada: USBR,1953).

Anejo 20

Resultados de la evolución temporal de los suelos en estudio, según USBR

Tabla 1.- Evolución Temporal de Clase de suelo según USBR en base a C_E (%)

TIPO DE CLASE	1974	1995	1997	2007	2019
Clase I (Arable) <i>Muy adecuada para el riego</i>	78.6%	21%	36%	29%	46%
Clase II (Arable) <i>Conveniente para el riego</i>	10.7%	43%	39%	57%	29%
Clase III (Arable) <i>Marginalmente apta para riego</i>	3.6%	11%	4%	7%	18%
Clase IV (Limitadamente arable) <i>Usos restringidos</i>	7.1%	25%	21%	7%	7%

Fuente: Elaboración propia. (Tipo de clase utilizados de USBR).

Tabla 2.- Evolución Temporal de Clase de suelo (%) según USBR en base al %PSI

TIPO DE CLASE	1974	1995	1997	2007	2019
Clase I (Arable) <i>Muy adecuada para el riego</i>	89%	25%	42.9%	18%	21.4%
Clase II (Arable) <i>Conveniente para el riego</i>	4%	57%	42.9%	64%	50.0%
Clase III (Arable) <i>Marginalmente apta para riego</i>	7%	18%	10.7%	18%	21.4%
Clase IV (Limitadamente arable) <i>Usos restringidos</i>	-	-	3.5%	-	7.2%

Fuente: Elaboración propia. (Tipo de clase utilizados de USBR).

Tabla 3.- Evolución Temporal de Clase de suelo (%) según USBR en base al % de Caliza

TIPO DE CLASE	1974	1995	1997	2007	2019
Clase I (Arable) <i>Muy adecuada para el riego</i>	-	-	-	7%	-
Clase II (Arable) <i>Conveniente para el riego</i>	21%	64%	46%	36%	50%
Clase III (Arable) <i>Marginalmente apta para riego</i>	61%	32%	54%	57%	50%
Clase IV (Limitadamente arable) <i>Usos restringidos</i>	18%	4%	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. (Tipo de clase utilizados de USBR).

Tabla 4.- Evolución Temporal de los suelos en estudio (%), según su aptitud para riego

AÑOS	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V	CLASE VI
1974	71%	18%	7%	4%	-	-
1997	-	54%	21%	21%	-	4%
2007	4%	29%	57%	11%	-	-
2019	-	39%	54%	7%	-	-

Fuente: Elaboración propia. (Tipo de clase utilizados de USBR).

Tabla 5.- Evolución Temporal de Calicatas según USBR en base a CEe

CLASE DE CALICATAS EVALUADAS TEMPORALMENTE EN FUNCIÓN DE LA CEe														
AÑO	CLASE I					CLASE II					CLASE III		CLASE IV	
1974	2-c-36	4-c-61	1-c-5	2-c-39	2-c-8	1-c-41	-	-	-	-	2-c-26	-	1-c-3	-
	2-c-51	4-c-73	1-c-42	2-c-48	4-c-29	2-c-25	-	-	-	-	-	-	1-c-46	-
	4-c-66	2-c-4	1-c-40	4-c-84	-	2-c-24	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-c-59	2-c-15	2-c-82	4-c-28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-c-58	2-c-18	1-c-2	3-c-78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	4-c-66	4-c-84	-	-	-	2-c-58	1-c-3	1-c-46	-	-	1-c-41	-	2-c-26	2-c-18
	2-c-59	3-c-78	-	-	-	4-c-61	1-c-40	2-c-39	-	-	2-c-24	-	2-c-36	2-c-48
	4-c-73	-	-	-	-	2-c-4	2-c-82	4-c-28	-	-	1-c-5	-	2-c-51	2-c-8
	1-c-42	-	-	-	-	2-c-15	1-c-2	4-c-29	-	-	-	-	2-c-25	-
1997	2-c-36	2-c-4	1-c-40	2-c-48	-	2-c-51	4-c-73	1-c-5	3-c-78	-	4-c-29	-	2-c-26	1-c-3
	4-c-66	2-c-24	1-c-2	-	-	2-c-58	2-c-15	2-c-82	2-c-8	-	-	-	1-c-41	1-c-46
	2-c-59	1-c-42	2-c-39	-	-	4-c-61	2-c-18	4-c-28	-	-	-	-	2-c-25	4-c-84
2007	2-c-36	2-c-39	-	-	-	2-c-26	2-c-59	1-c-42	1-c-46	-	4-c-61	-	2-c-25	-
	2-c-58	2-c-48	-	-	-	2-c-51	2-c-15	1-c-40	4-c-84	-	1-c-3	-	2-c-24	-
	4-c-73	3-c-78	-	-	-	1-c-41	2-c-18	2-c-82	4-c-28	-	-	-	-	-
	2-c-4	4-c-29	-	-	-	4-c-66	1-c-5	1-c-2	2-c-8	-	-	-	-	-
2019	2-C-51	1-C-5	2-C-18	3-C-78	4-C-73	2-C-25	2-C-59	1-C-46	-	-	2-C-82	2-C-48	2-C-15	-
	2-C-36	1-C-41	2-C-39	4-C-28	-	2-C-26	1-C-40	4-C-29	-	-	1-C-3	4-C-66	2-C-24	-
	1-C-2	2-C-4	4-C-61	4-C-84	-	2-C-58	1-C-42	-	-	-	2-C-8	-	-	-

Tabla 6.- Evolución Temporal de Calicatas según USBR en base al PSI

CLASE DE CALICATAS EVALUADAS TEMPORALMENTE EN FUNCIÓN DEL % PSI													
AÑO	CLASE I					CLASE II					CLASE III		CLASE IV
1974	2-c-26	2-c-58	2-c-24	1-c-40	4-c-84	1-c-41	-	-	-	-	1-c-3	-	-
	2-c-36	4-c-61	2-c-15	2-c-82	4-c-28	-	-	-	-	-	1-c-46	-	-
	2-c-51	4-c-73	2-c-18	1-c-2	3-c-78	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-c-66	2-c-4	1-c-5	2-c-39	2-c-8	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-c-59	2-c-25	1-c-42	2-c-48	4-c-29	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	4-c-66	1-c-2	-	-	-	2-c-26	2-c-58	2-c-15	2-c-82	-	2-c-24	4-c-29	-
	2-c-59	1-c-46	-	-	-	2-c-36	4-c-61	1-c-5	2-c-39	-	2-c-18	-	-
	4-c-73	4-c-84	-	-	-	2-c-51	2-c-4	1-c-3	4-c-28	-	2-c-48	-	-
	1-c-42	-	-	-	-	1-c-41	2-c-25	1-c-40	3-c-78	-	2-c-8	-	-
1997	2-c-51	2-c-4	1-c-42	2-c-39	-	2-c-26	2-c-58	2-c-25	2-c-82	2-c-8	1-c-46	-	1-c-3
	4-c-66	2-c-24	1-c-40	2-c-48	-	2-c-36	4-c-61	2-c-18	4-c-28	-	4-c-84	-	-
	2-c-59	2-c-15	1-c-2	-	-	1-c-41	4-c-73	1-c-5	3-c-78	-	4-c-29	-	-
2007	4-c-66	3-c-78	-	-	-	2-c-26	2-c-58	2-c-18	1-c-2	2-c-8	1-c-41	2-c-82	-
	2-c-4	-	-	-	-	2-c-36	4-c-73	1-c-5	1-c-46	4-c-29	4-c-61	-	-
	2-c-39	-	-	-	-	2-c-51	2-c-25	1-c-42	4-c-84	-	2-c-24	-	-
	2-c-48	-	-	-	-	2-c-59	2-c-15	1-c-3	4-c-28	-	1-c-40	-	-
2019	2-C-36	2-C-39	-	-	-	2-C-26	2-C-59	1-C-40	1-C-46	4-C-29	2-C-25	2-C-8	2-C-15
	2-C-4	3-C-78	-	-	-	2-C-58	1-C-2	1-C-41	4-C-61	4-C-73	2-C-82	2-C-48	2-C-24
	2-C-18	4-C-84	-	-	-	2-C-51	1-C-5	1-C-42	4-C-28	-	1-C-3	4-C-66	-

Tabla 7.- Evolución Temporal de Calicatas según USBR en base al % de Caliza

CLASE DE CALICATAS EVALUADAS TEMPORALMENTE EN FUNCIÓN DEL % DE CALIZA											
AÑO	CLASE I	CLASE II					CLASE III				CLASE IV
1974	-	1-c-2	2-c-58	-	-	-	2-c-4	4-c-28	1-c-41	4-c-66	2-c-48
	-	1-c-3	-	-	-	-	2-c-8	4-c-29	1-c-42	2-c-82	2-c-59
	-	1-c-5	-	-	-	-	2-c-15	2-c-36	1-c-46	-	4-c-73
	-	2-c-18	-	-	-	-	2-c-24	2-c-39	2-c-51	-	3-c-78
	-	2-c-25	-	-	-	-	2-c-26	1-c-40	4-c-61	-	4-c-84
1995	-	2-c-26	4-c-61	2-c-15	2-c-82	4-c-28	1-c-41	1-c-40	4-c-29	-	2-c-24
	-	2-c-36	4-c-73	2-c-18	1-c-2	2-c-8	4-c-66	2-c-48	-	-	-
	-	2-c-51	2-c-4	1-c-5	1-c-46	-	2-c-59	4-c-84	-	-	-
	-	2-c-58	2-c-25	1-c-3	2-c-39	-	1-c-42	3-c-78	-	-	-
1997	-	2-c-4	4-c-61	2-c-18	4-c-28	-	2-c-25	1-c-40	2-c-15	3-c-78	-
	-	2-c-8	4-c-73	2-c-51	-	-	2-c-26	1-c-41	2-c-24	4-c-66	-
	-	2-c-36	1-c-2	2-c-58	-	-	4-c-29	1-c-42	2-c-48	4-c-84	-
	-	2-c-39	1-c-3	2-c-82	-	-	1-c-5	1-c-46	2-c-59	-	-
2007	2-c-59	2-c-36	2-c-58	1-C-3	-	-	2-c-26	2-c-18	3-C-78	2-C-8	-
	2-c-4	2-c-51	4-c-61	2-C-48	-	-	2-c-25	1-c-5	4-C-84	1-C-46	-
	-	1-c-41	4-c-73	-	-	-	2-c-24	1-c-42	4-C-28	1-C-40	-
	-	4-c-66	1-C-2	-	-	-	2-c-15	4-C-29	2-C-39	2-C-82	-
2019	-	2-C-15	2-C-24	1-C-5	1-C-46	-	2-C-25	2-C-8	4-C-61	4-C-84	-
	-	2-C-58	2-C-59	1-C-40	4-C-28	-	2-C-26	2-C-18	3-C-78	4-C-73	-
	-	2-C-51	1-C-2	1-C-41	-	-	2-C-82	2-C-39	4-C-29	-	-
	-	2-C-36	1-C-3	1-C-42	-	-	2-C-4	2-C-48	4-C-66	-	-

Tabla 8.- Evolución Temporal de suelos según su aptitud para riego (USBR)

CLASE DE CALICATAS EVALUADAS TEMPORALMENTE EN FUNCIÓN DE SU APTITUD PARA RIEGO													
AÑO	CLASE I			CLASE II			CLASE III				CLASE IV	CLASE VI	
1974	2-c-36	2-c-58	1-c-42	2-c-26	-	-	4-c-73	-	-	-	2-c-25	-	-
	2-c-51	2-c-24	1-c-3	4-c-61	-	-	4-c-29	-	-	-	-	-	-
	1-c-41	2-c-15	1-c-40	2-c-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-c-66	2-c-18	2-c-82	2-c-39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-c-59	1-c-5	1-c-2	2-c-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1-c-46	4-c-84	3-c-78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-c-48	4-c-28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	2-c-26	4-c-61	1-c-2	2-c-36	3-c-78	-	-	1-c-41	4-c-84	1-c-3
	-	-	-	2-c-51	4-c-73	2-c-39	1-c-42	2-c-8	-	-	4-c-66	4-c-29	-
	-	-	-	2-c-59	2-c-4	4-c-28	1-c-40	-	-	-	2-c-25	-	-
	-	-	-	2-c-58	2-c-24	-	2-c-48	-	-	-	1-c-46	-	-
	-	-	-	2-c-15	1-c-5	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	2-c-18	2-c-82	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	2-c-4	-	-	2-c-36	2-c-58	-	2-c-26	1-c-5	1-c-46	3-c-78	2-c-25	-	-
	-	-	-	2-c-51	4-c-73	-	1-c-41	1-c-42	2-c-39	2-c-8	2-c-24	-	-
	-	-	-	4-c-66	1-c-2	-	4-c-61	1-c-3	4-c-84	-	4-c-29	-	-
	-	-	-	2-c-59	-	-	2-c-15	1-c-40	4-c-28	-	-	-	-
	-	-	-	2-c-48	-	-	2-c-18	2-c-82	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	2-c-36	2-c-58	1-c-2	2-c-26	2-c-4	2-c-82	3-c-78	2-c-24	-	-
	-	-	-	2-c-51	1-c-5	1-c-46	4-c-66	2-c-25	2-c-39	2-c-8	2-c-15	-	-
	-	-	-	1-c-41	1-c-42	4-c-28	4-c-61	2-c-18	2-c-48	4-c-29	-	-	-
	-	-	-	2-c-59	1-c-40	-	4-c-73	1-c-3	4-c-84	-	-	-	-

Anejo 20: Resultados de la evolución temporal de los suelos en estudio, según USBR

Suelos en Estudio - Evaluación 1974

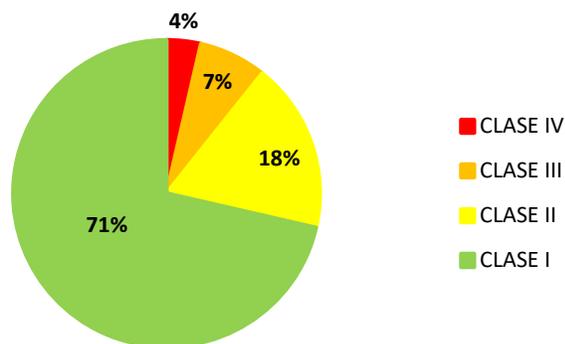


Figura 1.- Resultados de Clases de suelos, 1974

Suelos en Estudio - Evaluación 1997

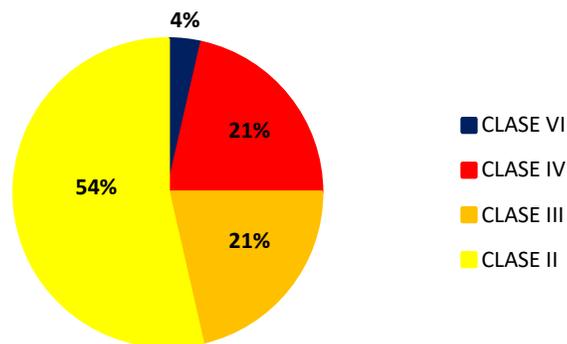


Figura 2.- Resultados de Clases de suelos, 1997

Suelos en Estudio - Evaluación 2007

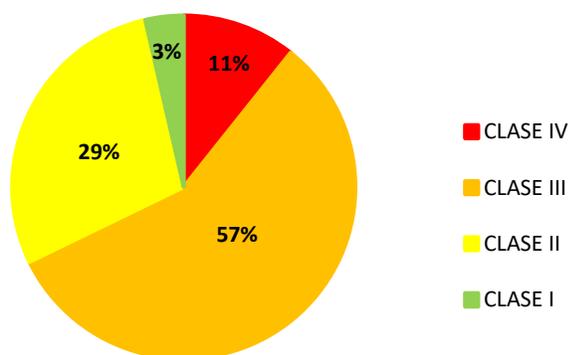


Figura 3.- Resultados de Clases de suelos, 2007

Suelos en Estudio - Evaluación 2019

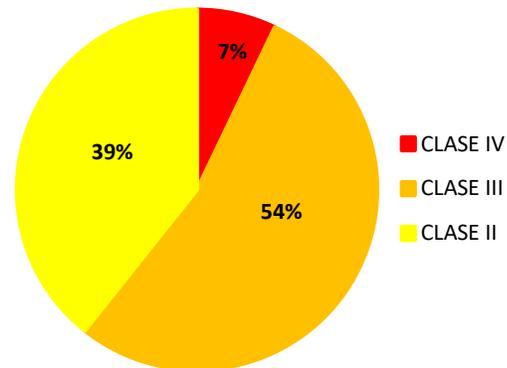
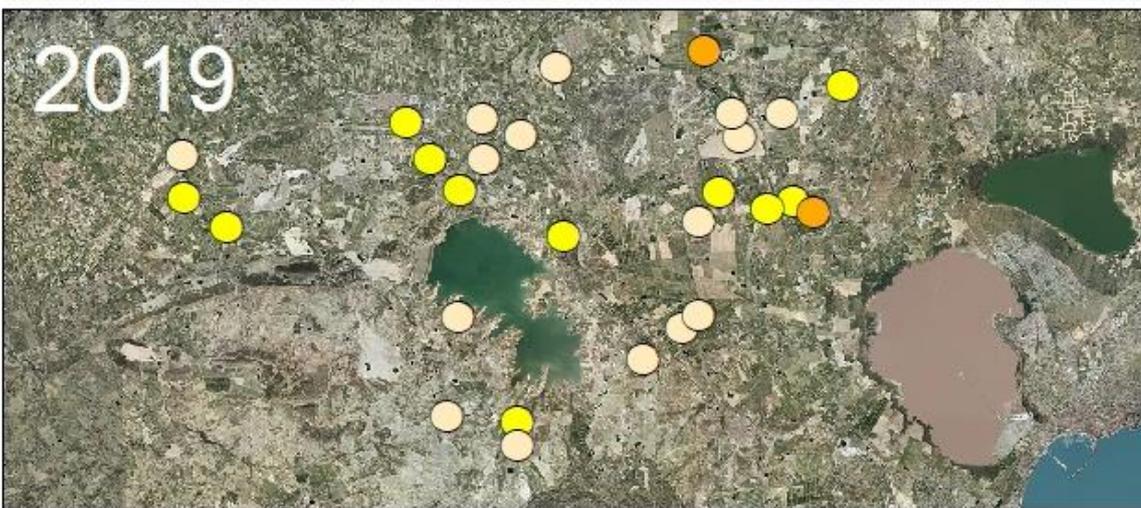
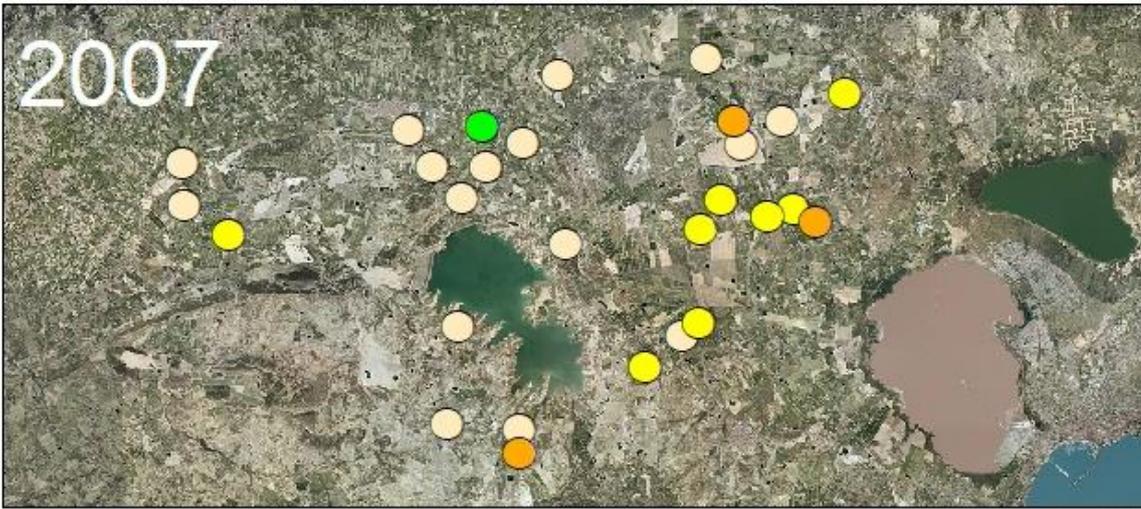
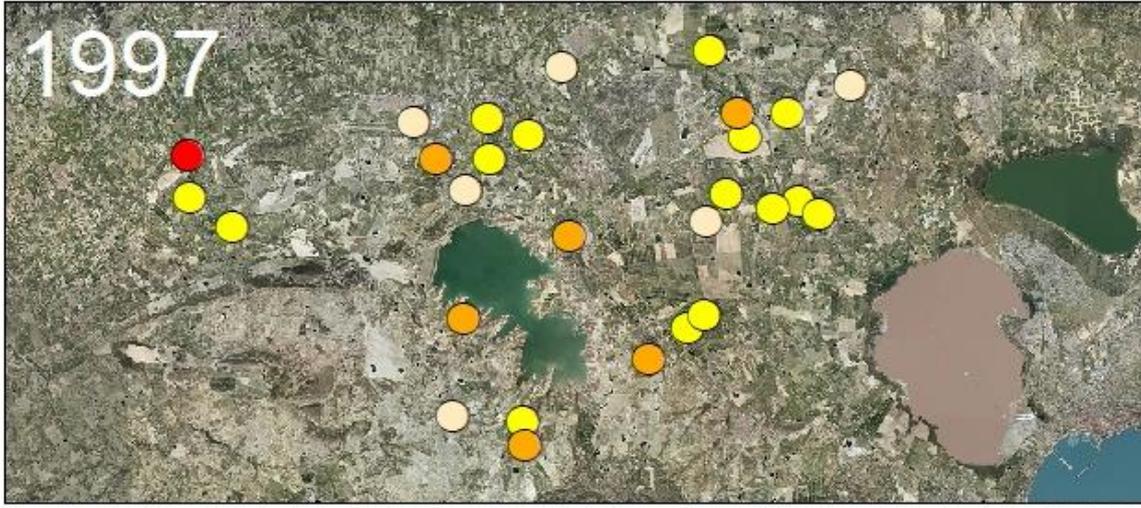
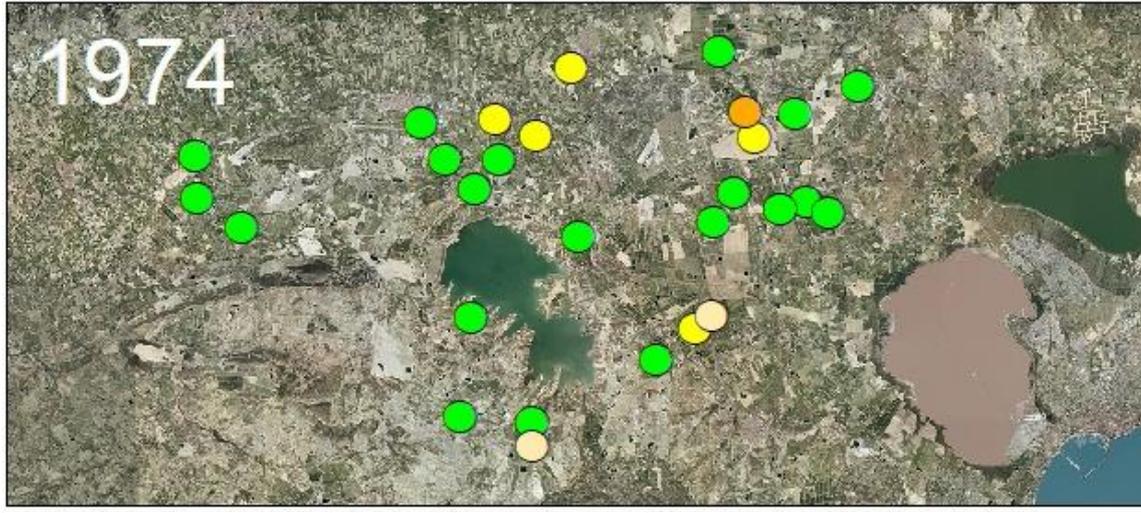


Figura 4.- Resultados de Clases de suelos, 2019

CLASE	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
I	Arable	<ul style="list-style-type: none"> Muy adecuada para el riego. Nivel más alto de aptitud. Producciones altas dentro del intervalo climatológico a un coste razonable.
II	Arable	<ul style="list-style-type: none"> Conveniente para el riego. Exige Seleccionar los cultivos. Mayores gastos para producir.
III	Arable	<ul style="list-style-type: none"> Marginalmente apta para riego. Deficiencias importantes. Restringido número de cultivos.
IV	Limitadamente arable	<ul style="list-style-type: none"> Usos restringidos. Requieren estudios complementarios para verificar si son regables. Puede ser regable para usos especiales (en ciertos casos frutales). Clase provisional que agrupa los suelos de aptitud dudosa para ser transformados.
V	No arable	<ul style="list-style-type: none"> Requiere estudios posteriores.
VI	No transformable	<ul style="list-style-type: none"> No cumple las condiciones mínimas exigidas. La capacidad de pago estimada. se hace menor que los costes previstos de la transformación.

Figura 5.- Clases o categorías de suelo, según USBR 1953



Evolución temporal de la Evaluación de suelos en la zona del embalse de la Pedrera

ESCALA 1:200.000

Leyenda

- Clase I
- Clase II
- Clase III
- Clase IV
- Clase V
- Clase VI