



# 29 Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Mallorca, del 3 al 6 de septiembre de 2013

SECS | 20  
MALLORCA | 13



## CUADERNO DE CAMPO

29 Reunión de la Sociedad Española de la  
Ciencia del Suelo

Palma, septiembre de 2013

# Índice

<b>Programa .....</b>	<b>2</b>
<b>Itinerario 1.....</b>	<b>3</b>
Visita 1: Efecto de diferentes tipos de vegetación y manejo agrario sobre el suelo .....	4
Visita 2: Suelos regados con aguas depuradas en el Pla de Sant Jordi (Palma).....	10
Visita 3: Calcisol superpuesto a un antiguo Luvisol. ....	18
Visita 4: Estudio de formaciones de paleosuelos característicos del ambiente mediterráneo. .....	24
<b>Itinerario 2.....</b>	<b>44</b>
Visita 1: Suelos de terrazas destinadas a cultivos agrícolas.....	45
Visita 2: Suelos desarrollados en ambientes cársticos .....	46
Visita 3: Manejo del suelo dirigido a la conservación del agua.....	58
<b>Itinerario 3.....</b>	<b>65</b>
Visita 1: Suelos incipientes desarrollados en sistemas dunares y suelos fósiles asociados a estas formaciones. ....	66
Visita 2: Gestión de los suelos afectados por el fuego. Incendio de Andratx.....	72

## Programa

### **Martes, 3 septiembre 2013**

**16:00-16:30 h:** Recepción y entrega de documentación a los participantes.

**16:30-17:00 h:** Inauguración de la 29 Reunión de la SECS

**17:00-17:45 h:** Conferencia: Geología de Mallorca (Bernadí Gelabert, UIB).

**18:00-18:45 h:** Conferencia: Vegetación de Mallorca (Llorens Gil, UIB)

**19:00-20:00 h:** Sesión de comunicaciones (posters).

*Lugar: Edificio Sa Riera (Carrer Miquel dels Sants Oliver, núm 2, 2n. 07122. Palma de Mallorca); Universitat de les Illes Balears.*

### **Miércoles, 4 septiembre 2013**

**9:00-19:30 h:** Estudio de campo.

**Visita 1:** Efecto de diferentes tipos de vegetación y manejo agrario sobre el suelo.

**Visita 2:** Suelos regados con aguas depuradas

**Visita 3:** Calcisol superpuesto a un antiguo Luvisol.

**Visita 4:** Estudio de formaciones de paleosuelos característicos del ambiente mediterráneo.

*Salida desde los dos hoteles recomendados (Hotel Tryp Bellver Palma y Hotel Araxa).*

### **Jueves, 5 septiembre 2013**

**9:00-19:30 h:** Estudio de campo.

**Visita 1:** Suelos de terrazas destinadas a cultivos agrícolas

**Visita 2:** Suelos desarrollados en ambientes cársticos

**Visita 3:** Manejo del suelo dirigido a la conservación del agua.

**Visita 4:** Gestión agrícola de los suelos poco profundos y con horizontes petrocálcicos.

*Salida desde los dos hoteles recomendados (Hotel Tryp Bellver Palma y Hotel Araxa).*

### **Viernes, 6 septiembre 2013**

**9:00-19:30 h:** Estudio de campo y clausura.

**Visita 1:** Suelos incipientes desarrollados en sistemas dunares y suelos fósiles asociados a estas formaciones.

**Visita 2:** Gestión de los suelos afectados por el fuego. Incendio de Andratx.

**Clausura de la reunión.**

*Salida desde los dos hoteles recomendados (Hotel Tryp Bellver Palma y Hotel Araxa).*



## **Visita 1: Efecto de diferentes tipos de vegetación y manejo agrario sobre el suelo**

### **Introducción**

En los ambientes mediterráneos las formaciones arbustivas presentan características fisonómicas muy variadas, en función de los condicionantes edafoclimáticos. Cuando la disponibilidad hídrica es un factor crítico, la disposición de la vegetación está condicionada por las características edáficas a pequeña escala. Esta distribución en mosaico está marcada por la disponibilidad de agua y nutrientes (Vinton y Burke, 1995; Bennett y Adams, 1999).

La vegetación desempeña un papel decisivo para la protección del suelo y en el aporte de materia orgánica, activando los procesos biológicos del suelo (Ros et al., 2003; García et al., 2005) y mejorando progresivamente su potencial productivo y funcional.

Estudios realizados sobre formaciones esclerófilas mediterráneas ponen de manifiesto que la cubierta vegetal y, más específicamente, el estado de la sucesión ecológica, son determinantes sobre las características químicas y biológicas del suelo (Rutigliano et al., 2004).

El laboreo constituye un fuerte impacto sobre el suelo, reduciendo el contenido de materia orgánica e incidiendo negativamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Curci et al, 1997; Saviozzi et al. 2001). El estudio paralelo de suelos cultivados y suelos no alterados sometidos a unas mismas condiciones edafoclimáticas permite valorar el impacto del laboreo sobre el suelo y poder establecer estrategias para recuperar su funcionalidad, a partir de la referencia que constituye la vegetación natural establecida.

En el presente trabajo, se estudia el efecto de tres especies leñosas (*Pinus halepensis*, *Olea europaea* var. *sylvestris* y *Pistacea lentiscus*), una cubierta herbácea de terófitos y geófitos y el laboreo sobre las características biológicas del suelo (biomasa microbiana y seis actividades enzimáticas: deshidrogenasa,  $\beta$ -glucosidasa, arilsulfatasa, fosfatasa alcalina, ureasa y proteasa).

### **Zona de estudio**

El estudio se ha llevado a cabo en la zona de Xorrigo, cerca de la carretera que une Palma con Manacor (ETRS89, 31S X: 484862, Y: 4380167; 130 m sobre el nivel del mar). Se encuentra en una plataforma carbonatada del Mioceno-Plioceno.

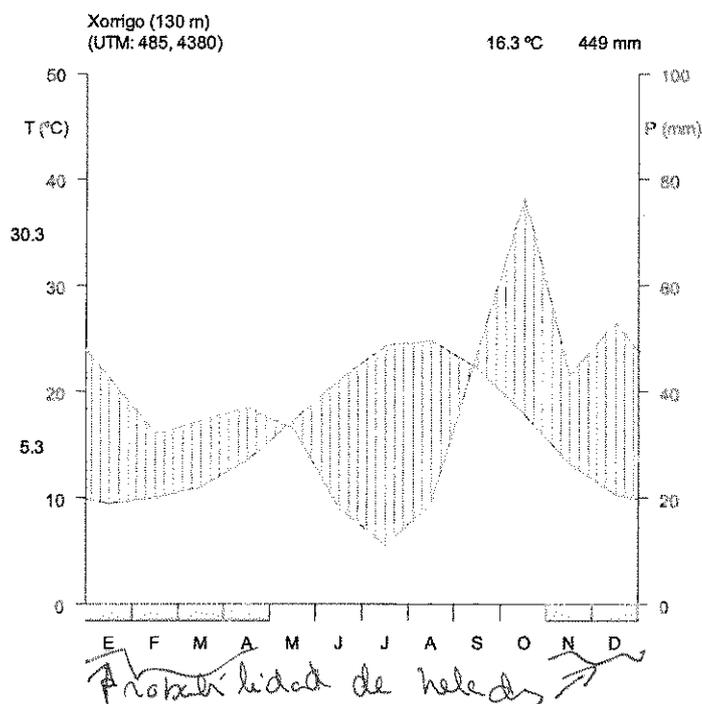
El clima es típicamente mediterráneo con un marcado déficit hídrico entre finales de primavera y verano. La temperatura media anual es de 16,3 °C y la precipitación media anual es de 449 mm (Figura 1.1).

El suelo es un Leptosol Háptico con frecuentes afloramientos de roca.

La vegetación está formada por una maquia abierta con presencia de pinos dispersos, acebuches y lentiscos como especies leñosas más relevantes. El estrato herbáceo está

constituido por una pradera de terófitos (*Hypochoerido Brachypodietum retusi*). En las zonas donde el suelo es más profundo (15-25 cm) se siembran cultivos herbáceos. Las labores que se realizan en los rodales cultivados se limitan a un pase anual, o bianual, con cultivadores u otros aperos de labor superficial para incorporar las semillas.

Los diferentes tipos de cobertura vegetal y el tipo de gestión condicionan las características edáficas. En las áreas de influencia directa de los pinos y lentiscos se constituye un horizonte orgánico mientras que bajo los acebuches no se desarrolla ninguna capa orgánica.



**Figura 1.1.** Climograma de la zona de Xorrigo (Palma).

## Resultados

El horizonte mineral situado bajo la cubierta de lentisco presenta el contenido más elevado de carbono orgánico (82,0 g/kg), duplicando los contenidos del mismo horizonte situado bajo pino o acebuche (Tabla 1.1). La cubierta vegetal de plantas herbáceas anuales presenta valores de materia orgánica inferiores, que quedan significativamente reducidos cuando el suelo se labra (16,7 g/kg de carbono orgánico en el suelo cultivado).

Los altos valores que presenta el horizonte mineral bajo lentisco son atribuibles a la morfología de este arbusto, con una disposición de las ramas que constituyen una copa cerrada hasta el suelo favoreciendo la conservación de todos los aportes orgánicos que se generan. En cambio, los pinos o acebuches, especialmente cuando se trata de ejemplares dispersos, al presentar copas erguidas la dispersión de la hojarasca no favorece una acumulación equiparable al lentisco.

Las condiciones xéricas de este suelo no favorecen el desarrollo de la cubierta herbácea lo que se traduce en una producción de biomasa vegetal limitada y, por ende, de materia orgánica en el suelo.

Los valores de biomasa microbiana presentan una gran heterogeneidad en todas las situaciones, con los niveles más altos bajo lentisco seguidos del suelo bajo acebuche y pino. Bajo vegetación herbácea los valores se reducen a alrededor del 20% de los registrados bajo lentisco. En este caso, la biomasa microbiana del suelo cultivado es ligeramente más elevada que en el suelo con terófitos y geófitos, a pesar de que el contenido de materia orgánica es un 50% inferior (Tabla 1.2).

**Tabla 1.1.** Características físico-químicas en las cinco situaciones. Valor medio  $\pm$  error típico (n=4).

	Pino	Acebuche	Lentisco	Vegetación herbácea	Cultivo
CCE (g/kg)	364 <sup>ab</sup> $\pm$ 64	262 <sup>b</sup> $\pm$ 106	178 <sup>b</sup> $\pm$ 61	195 <sup>b</sup> $\pm$ 83	477 <sup>a</sup> $\pm$ 58
Caliza activa (g/kg) %	7,8 $\pm$ 2,0	5,8 $\pm$ 1,5	4,7 $\pm$ 1,0	4,0 $\pm$ 0,7	7,1 $\pm$ 0,6
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,0 <sup>cd</sup> $\pm$ 0,0	8,2 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,0	8,0 <sup>d</sup> $\pm$ 0,1	8,2 <sup>b</sup> $\pm$ 0,0	8,4 <sup>a</sup> $\pm$ 0,0
pH KCl IM (1:2,5)	7,6 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,1	7,5 <sup>abc</sup> $\pm$ 0,0	7,4 <sup>c</sup> $\pm$ 0,1	7,4 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,1	7,7 <sup>a</sup> $\pm$ 0,0
CE 1:5 (dS/m)	0,39 <sup>a</sup> $\pm$ 0,08	0,22 <sup>b</sup> $\pm$ 0,04	0,21 <sup>b</sup> $\pm$ 0,06	0,15 <sup>b</sup> $\pm$ 0,01	0,12 <sup>b</sup> $\pm$ 0,04
Carbono orgánico (g/kg)	40,8 <sup>b</sup> $\pm$ 2,3	46,2 <sup>b</sup> $\pm$ 7,1	82,0 <sup>a</sup> $\pm$ 14,7	31,5 <sup>bc</sup> $\pm$ 3,2	16,7 <sup>c</sup> $\pm$ 1,9
Nitrógeno total (g/kg) %	0,31 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,02	0,38 <sup>b</sup> $\pm$ 0,06	0,56 <sup>a</sup> $\pm$ 0,09	0,28 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,03	0,16 <sup>c</sup> $\pm$ 0,02
C/N	13,3 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,5	12,1 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,2	14,5 <sup>a</sup> $\pm$ 0,4	11,3 <sup>c</sup> $\pm$ 0,4	10,8 <sup>c</sup> $\pm$ 0,8
P Olsen (mg/kg)	27 <sup>b</sup> $\pm$ 0	26 <sup>b</sup> $\pm$ 1	48 <sup>a</sup> $\pm$ 7	21 <sup>b</sup> $\pm$ 1	23 <sup>b</sup> $\pm$ 1
CIC (mmol(±)/kg)	25,3 <sup>ab</sup> $\pm$ 5,3	21,5 <sup>bc</sup> $\pm$ 3,9	35,3 <sup>a</sup> $\pm$ 5,2	19,7 <sup>bc</sup> $\pm$ 2,3	9,4 <sup>c</sup> $\pm$ 1,3
Hm -1,5 MPa (g/kg) %	14,5 <sup>b</sup> $\pm$ 0,3	15,1 <sup>b</sup> $\pm$ 4,2	24,0 <sup>a</sup> $\pm$ 4,1	13,4 <sup>b</sup> $\pm$ 3,3	7,9 <sup>b</sup> $\pm$ 2,0

CCE: Carbonato Cálcico Equivalente; CE: Conductividad Eléctrica; P Olsen: fósforo extraído mediante el método Olsen; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico mediante saturación con acetato amónico; Hm: Humedad expresada en unidades de masa. Los valores seguidos de distinta letra difieren estadísticamente según el test de Tukey (p<0,05)

**Tabla 1.2.** Actividad biológica del suelo. Valor medio  $\pm$  error típico (n=4).

	Pino	Acebuche	Lentisco	Vegetación herbácea	Cultivo
BM	576 <sup>abc</sup> $\pm$ 147	645 <sup>ab</sup> $\pm$ 155	956 <sup>a</sup> $\pm$ 207	177 <sup>c</sup> $\pm$ 50	219 <sup>bc</sup> $\pm$ 17
DH	3,51 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,65	3,62 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,31	4,60 <sup>a</sup> $\pm$ 0,47	2,66 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,26	1,47 <sup>c</sup> $\pm$ 0,37
BG	1,53 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,28	2,57 <sup>a</sup> $\pm$ 0,64	1,48 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,26	1,00 <sup>b</sup> $\pm$ 0,16	0,77 <sup>b</sup> $\pm$ 0,16
PA	5,82 <sup>a</sup> $\pm$ 0,56	5,60 <sup>a</sup> $\pm$ 0,77	6,36 <sup>a</sup> $\pm$ 0,70	2,94 <sup>b</sup> $\pm$ 0,55	1,65 <sup>b</sup> $\pm$ 0,21
AS	1,08 <sup>b</sup> $\pm$ 0,13	0,83 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,08	1,77 <sup>a</sup> $\pm$ 0,11	0,63 <sup>c</sup> $\pm$ 0,09	0,25 <sup>d</sup> $\pm$ 0,02
UR	5,27 $\pm$ 1,52	6,48 $\pm$ 1,23	7,64 $\pm$ 1,34	8,14 $\pm$ 0,87	4,91 $\pm$ 0,56
PR	21,60 <sup>a</sup> $\pm$ 1,41	6,48 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,67	8,58 <sup>b</sup> $\pm$ 0,43	6,66 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,51	5,51 <sup>c</sup> $\pm$ 0,92

BM= Biomasa microbiana (mg C kg<sup>-1</sup>), DH= Deshidrogenasa (mmol tpf kg<sup>-1</sup> 24h<sup>-1</sup>), BG=  $\beta$ -glucosidasa (mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), PA= Fosfatasa alcalina (mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), AS = arilsulfatasa (mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), UR= ureasa (mmol NH<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), PR= Proteasa (mmol NH<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Los valores seguidos de distinta letra difieren estadísticamente según el test de Tukey (p<0,05)

Bacterias, hongos y levaduras  
organismos animales y plantas  
celulares  
del N; descendencia alélica; ascomycetes, ultramicrobios  
Hericizante mimerel  
viveres, talcahuano  
BT y C

Terófitos  
arbores

terófito; microorganismos

hidrolice pedregosa; materiales mimerel altos carbonados  
¿arcilla?

La actividad deshidrogenasa presenta los valores más elevados bajo lentisco (4,60 mmol tpf kg<sup>-1</sup> 24h<sup>-1</sup>), seguidos del suelo bajo acebuche y pino (un 20% inferiores) y cubierta herbácea (60% respecto al lentisco). El suelo cultivado presenta valores de alrededor el 30% del primero.

El comportamiento de la actividad arilsulfatasa es similar a la deshidrogenasa, con marcadas diferencias entre las distintas situaciones.

Los valores más elevados de actividad β-glucosidasa se dan bajo acebuche (2,57 mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), seguidos por los registrados bajo lentisco y pino (alrededor de un 60% respecto al primero). Bajo cubierta herbácea y suelo cultivado la actividad β-glucosidasa es claramente inferior (40 y 30% respectivamente, respecto al suelo bajo acebuche).

La actividad fosfatasa alcalina bajo las tres especies leñosas es muy similar, entre 6,36 mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en lentisco y 5,60 mmol pnf kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en acebuche. Bajo la cubierta herbácea los valores se reducen alrededor del 50% de los anteriores y con cultivo en torno a un 30%.

La actividad ureasa no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las cinco situaciones pero es en suelo bajo cubierta herbácea donde alcanza los valores más elevados (8,14 mmol NH<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) seguidos de las tres situaciones bajo especies leñosas.

La actividad proteasa del horizonte mineral bajo pino presenta valores claramente diferenciados del resto de situaciones: 21,6 mmol NH<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> frente a 8,58 mmol NH<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> registrados en el suelo bajo lentisco.

El suelo cultivado presenta una fuerte reducción en el contenido de materia orgánica y actividades enzimáticas en concordancia con otros estudios (García et al, 1997a; Caravaca et al., 2002).

Las actividades enzimáticas deshidrogenasa, arilsulfatasa y fosfatasa alcalina presentan muy altas correlaciones entre sí y con la biomasa microbiana y el carbono orgánico del suelo (Tabla 1.3), parámetros, a la vez altamente relacionados. Estas interrelaciones altamente significativas están generadas, inicialmente, por el contenido de carbono orgánico del suelo, desencadenante de la proliferación microbiana del suelo, la cual se traduce en un incremento de las actividades, tanto de enzimas directamente vinculados a la biomasa microbiana, como es el caso de la deshidrogenasa (García et al., 1997b), como otros enzimas de más larga persistencia en el medio, como la fosfatasa alcalina o la arilsulfatasa.

La correlación entre la actividad β-glucosidasa y la materia orgánica es baja, ya que esta actividad puede verse afectada por las características de los substratos orgánicos, así como por diferencias en la composición microbiana del suelo en las distintas situaciones (Knight y Dick, 2004).

La actividad enzimática ureasa presenta escasa diferenciación entre las distintas situaciones edáficas, sin presentar correlaciones con el resto de parámetros estudiados.

La actividad proteasa en el suelo bajo pino presenta valores que triplican el valor medio del resto de situaciones. No obstante, si se segregan los resultados correspondientes al suelo bajo pino, el conjunto de valores restantes de la actividad proteasa presenta coeficientes de correlación con el contenido de carbono orgánico total, biomasa microbiana y las actividades deshidrogenasa, arilsulfatasa y fosfatasa, elevados (niveles de significación entre p<0,01 y p<0,001).

**Tabla 1.3.** Coeficientes de correlación (R) y significación estadística entre los parámetros estudiados.

	BM	DH	BG	AS	PA	UR	PR	Nt	Pas
CO	0,860 ***	0,848 ***	0,441 *	0,867 ***	0,779 ***	0,310 -	0,131 -	0,982 ***	0,850 ***
BM		0,819 ***	0,549 **	0,754 ***	0,838 ***	0,251 -	0,235 -	0,857 ***	0,766 ***
DH			0,618 **	0,867 ***	0,873 ***	0,477 *	0,315 -	0,880 ***	0,635 **
BG				0,391 *	0,668 **	0,371 -	0,126 -	0,535 *	0,100 -
AS					0,804 ***	0,403 *	0,333 -	0,839 ***	0,728 ***
PA						0,256 -	0,484 *	0,798 ***	0,630 **
UR							-0,134 -	0,420 -	0,111 -
PR								0,109 -	0,066 -
Nt									0,794 ***

CO= Carbono orgánico; BM= Biomasa microbiana; DH= Deshidrogenasa; BG=  $\beta$ -glucosidasa; PA= Fosfatasa alcalina AS = arilsulfatasa UR= ureasa PR= Proteasa, Nt= Nitrogeno total, Pas: Fósforo soluble Olsen.

\*, \*\*, \*\*\*: significación estadística a nivel de  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  y  $p < 0,001$ , respectivamente.

### Conclusiones

La distribución en mosaico definida por la vegetación genera características edáficas diferenciadas, con una disposición espacial condicionada por la cubierta vegetal. En el ecosistema estudiado, *Pistacea lentiscus* es la especie que favorece una mayor incorporación de materia orgánica e incremento de la actividad biológica. El suelo de los rodales dominados por terófitos y geófitos, con un periodo de crecimiento limitado por la disponibilidad hídrica, presenta un contenido en materia orgánica y actividad biológica más reducido que bajo las especies leñosas. Por otro lado, el laboreo supone una fuerte reducción en el contenido de materia orgánica y actividades enzimáticas.

La materia orgánica, la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas deshidrogenasa, arilsulfatasa y fosfatasa alcalina presentan coeficientes de correlación muy altos entre sí.

### Bibliografía

- Bennett L.T., Adams M.A. (1999) Indices for characterising spatial variability of soil nitrogen semi-arid grasslands of Northwestern Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, 31:735-746.
- Caravaca, F., Masciandaro, G. y Ceccanti, B. (2002) Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 68:23-30.
- Curci, M., Pizzigallo, M.D.R., Crecchio, C., Mininni, R. y Ruggiero (1997) Effects of conventional tillage on biochemical properties of soils. *Biology and Fertility of Soils*, 25:1-6.

- García, C. Roldán A. y Hernández T. (1997a) Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *Journal of Environmental Quality*, 26:285–291.
- García, C., Hernández, T. y Costa, F. (1997b) Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28:123-134.
- García, C., Roldán A. y Hernández T. (2005) Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma*, 124:193-202.
- Knight, T.R. y Dick, R.P. (2004) Differentiating microbial and stabilized b-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:2089-2096.
- Ros, M., Hernández, M.T. y García C. (2003) Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 35:463-469.
- Rutigliano, F.A., D'Ascoli, R. y Virzo De Santo, A. (2004) Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:1719-1729.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R. & Riffaldi, R. (2001). A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and soil*, 233:251-259.
- Vinton, M.A., Burke, I.C. (1995) Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*, 76:1116–1133.

## **Visita 2: Suelos regados con aguas depuradas en el Pla de Sant Jordi (Palma)**

### **Introducción**

La zona del Pla de Sant Jordi, en el municipio de Palma, es una llanura aluvial de aproximadamente 60 km<sup>2</sup> de superficie constituida por una cuenca de subsidencia bordeada por una plataforma carbonatada del Mioceno-Plioceno. Se trata de una zona muy plana y con poco desnivel, que en general no supera los 10 m de altura sobre el nivel del mar, y que estuvo parcialmente ocupada por un humedal conocido como Prat de Sant Jordi, de unos 3-4 km<sup>2</sup>, que fue desecado a principios del siglo XIX (Rosselló, 1959).

La desecación de estos terrenos mejoró considerablemente la salubridad de la zona, lo que propició su parcelación y venta. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, los nuevos propietarios empezaron a construir molinos de viento para extraer el agua para regar huertos de hortalizas, ya que el agua se encontraba a poca profundidad. A finales del siglo XIX ya se cultivaban la mayoría de campos del antiguo humedal (Habsburg-Lorena, 1880). En el año 1958 había unos 1300 molinos que extraían el agua subterránea y la agricultura de regadío se había convertido en la actividad más importante, lo que hizo que esta zona fuera conocida como "L'horta de ciutat" (la huerta de la ciudad), ya que en ella se cultivaban las hortalizas que abastecían a la ciudad de Palma (Gran enciclopèdia de Mallorca, 1991).

En los años sesenta se electrificó la zona y muchos usuarios instalaron motobombas. A finales de esa década, y a consecuencia del aumento de las extracciones para el riego agrícola, juntamente con los bombeos para el suministro hídrico de la ciudad de Palma, empezó un rápido proceso de intrusión marina (Mateos et al., 2001). La salinización de los acuíferos propició que los cultivos de hortalizas se fueran substituyendo por otros más tolerantes a la salinidad, como es el caso de la alfalfa.

A principios de los años setenta, con el objetivo de frenar el proceso de intrusión marina, se fue substituyendo el riego con aguas subterráneas por el riego con agua procedente de las dos estaciones de depuración secundaria de Palma (Mateos-Ruiz y López-García, 2003). Para este fin se construyó una balsa reguladora de agua de grandes dimensiones en una cota elevada, desde la cual se reparte el agua a todos los regantes a través de una red de canales constituida por dos ramas principales que se van ramificando por todo el Pla de Sant Jordi. El reparto del agua es por gravedad y se controla desde la propia balsa reguladora. Actualmente la mayoría de parcelas se riegan con agua depurada y tan sólo unas pocas parcelas se riegan con agua subterránea salinizada. La alfalfa sigue siendo el cultivo principal, juntamente con otros cultivos forrajeros, y se almacena en seco para la alimentación animal, principalmente de ganado equino y bovino.

La alfalfa es un cultivo plurianual que, una vez sembrado, se mantiene entre cinco y siete años. Durante ese periodo, el suelo no se labra y los restos de cultivo se acumulan en superficie. El cultivo se adapta al riego con aguas de baja calidad, ya que tolera bastante bien la salinidad (Helalia et al., 1996). Además, se trata de un cultivo que se destina mayoritariamente a la alimentación animal para su consumo en seco, lo que reduce considerablemente el riesgo de transmisión de organismo patógenos a través del riego con aguas depuradas (UNEP, 2005).

El riego tiene lugar durante el periodo con más necesidades hídricas, que suele ser de mayo a septiembre, aunque varía según las condiciones meteorológicas de cada año. La pluviometría media anual de la zona del Pla de Sant Jordi es de 406 mm, dándose las mayores precipitaciones en los meses de septiembre y octubre. Las temperaturas son suaves y van desde una media de 10 °C en invierno, hasta unos 25 °C de media en verano.

El sistema de riego más habitual es el riego a manta. El volumen de agua aportada es variable, con una estimación aproximada para cultivos forrajeros de 6253 m<sup>3</sup> por ha y año (Mateos-Ruiz y López-García, 2003).

### El agua de riego

En la Tabla 2.1 se puede observar como la conductividad eléctrica del agua subterránea es mayor que la del agua depurada; el agua subterránea también presenta unos niveles claramente más elevados de sales totales y de ión cloruro, que se pueden explicar por la intrusión marina. No obstante, la concentración de cloruros de las aguas subterráneas ha disminuido considerablemente desde la implantación del riego con agua depurada en la zona (Mateos et al., 2001).

El agua depurada no cumple los requisitos de la legislación actual para el riego de cultivos destinados al consumo animal, al contener más de 1000 UFC/100 ml de *E. coli* y más de 35 mg/L de sólidos en suspensión (Pla Hidrològic de les Illes Balears, 2011).

**Tabla 2.1.** Características del agua de riego usada en el Pla de Sant Jordi (valores medios).

	Agua depurada	Agua subterránea
CE 25°C (dS/m)	2,30	7,61
SS (mg/L)	71,3	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	4,4	49,1
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	31,5	-
P total (mg/L)	0,83	-
Sales totales (g/L)	1,28	5,81
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	501	2569
Na <sup>+</sup> (mg/L)	341	718
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	98	716
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	37	390
K <sup>+</sup> (mg/L)	25	32
CF (UFC/100ml)	23050	-
<i>E. coli</i> (UFC/100ml)	16200	-

CE, conductividad eléctrica; SS, sólidos en suspensión; CF, coliformes fecales; UFC, unidades formadoras de colonias.

### Características de los suelos

En el Pla de Sant Jordi predominan dos tipologías típicas, por un lado el Calcisol Pétrico (Crómico), desarrollado sobre materiales aluviales de origen calcáreo (WRB, 2006), y por otro el Cambisol Endogléyico (Calcárico) desarrollado sobre margas (WRB, 2006). Este

último se localiza en la franja correspondiente al antiguo humedal desecado, por lo que es conocido popularmente como “terra de prat” (tierra de prado) y actualmente es muy testimonial, ya que ha sido ocupado por diversas infraestructuras (aeropuerto de Son Sant Joan, autovía y edificaciones diversas).

El Calcisol Pétrico (Crómico) presenta una textura franco-limosa mientras que la del Cambisol Endoglético (Calcárico) es franco-arcillo-limosa. Las características químicas de ambas tipologías de suelo son bastante parecidas. El Cambisol Endoglético tiene un mayor contenido en carbono orgánico total, que se puede atribuir a su edafogénesis y una mayor capacidad de intercambio catiónico que el calcisol pétrico, pero también un pH más elevado y una mayor presencia de caliza activa (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.** Características de la capa arable (0-20 cm) los suelos del Pla de Sant Jordi

	Calcisol Pétrico	Cambisol endoglético
Arena (g/kg)	246	100
Limo (g/kg)	428	439
Arcilla (g/kg)	327	461
IEE (%)	75,3	91,2
CCE (g/kg)	350	384
Caliza activa (g/kg)	10,2	13,5
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,3	8,5
COT (g/kg)	21,4	25,9
N (g/kg)	2,05	2,67
C/N	10,5	9,7
P total (mg/kg)	838	818
P Olsen (mg/kg)	49,4	57,3
CIC (mmol(+)/kg)	16,4	21,4

IEE, índice de estabilidad estructural; CCE, carbonato cálcico equivalente; CA, caliza activa; COT, carbono orgánico total; CIC, capacidad de intercambio catiónico.

## Efectos del agua depurada

### Metales pesados

Los valores de metales pesados obtenidos en los dos tipos de suelos del Pla de Sant Jordi regados con aguas depuradas son similares a los valores medios de suelos agrícolas de Mallorca no regados con este tipo de aguas (Adrover et al., 2007), excepto en el caso del plomo, que son mayores en las parcelas de Calcisol Pétrico (Crómico) regadas con aguas depuradas (Tabla 2.3), si bien con niveles muy inferiores a los límites establecidos para suelos con pH >7 (Real decreto 1310/1990 del 29 de octubre; BOE 262 de 1 de noviembre de 1990).

El mayor contenido en plomo de estos suelos se atribuye a la presencia de este metal en el agua depurada debido en parte a la corrosión de las tuberías de plomo y en parte al arrastre del

polvo de las calles con las aguas pluviales que, mientras se utilizaban gasolinas con plomo tenía un alto contenido de este metal (De Miguel et al., 1997; Sörne y Lagerkvist, 2002). De hecho, Santarrufina (1992) encontró valores de 0,08 mg/l de plomo en las aguas depuradas que se utilizaban para el riego en el Pla de Sant Jordi. Se estima que la mejora en el tratamiento de las aguas residuales, juntamente con la sustitución de las tuberías de plomo por otras fabricadas con otros materiales, y la eliminación de las gasolinas con plomo, reduzcan considerablemente el contenido en metales pesados de las aguas depuradas (Adrover, 2010).

**Tabla 2.3.** Comparación de los metales pesados en los suelos del Pla de Sant Jordi regados con aguas depuradas con los valores medios de los suelos agrícolas de Mallorca

	Calcisol Pétrico	Cambisol Endoglético	Suelos agrícolas de Mallorca*
Cd (mg/kg)	0,66 ± 0,11	0,66 ± 0,03	0,67 ± 0,21
Cr (mg/kg)	57,9 ± 37,8	31,4 ± 6,5	36,1 ± 14,9
Cu (mg/kg)	29,2 ± 4,3	18,0 ± 2,8	25,7 ± 13,7
Mn (mg/kg)	456 ± 102	438 ± 120	509 ± 236
Ni (mg/kg)	23,4 ± 4,0	19,8 ± 4,3	23,8 ± 9,5
Pb (mg/kg)	42,5 ± 14,1	26,9 ± 4,8	19,9 ± 10,7
Zn (mg/kg)	78,0 ± 12,4	66,7 ± 11,2	74,6 ± 45,3

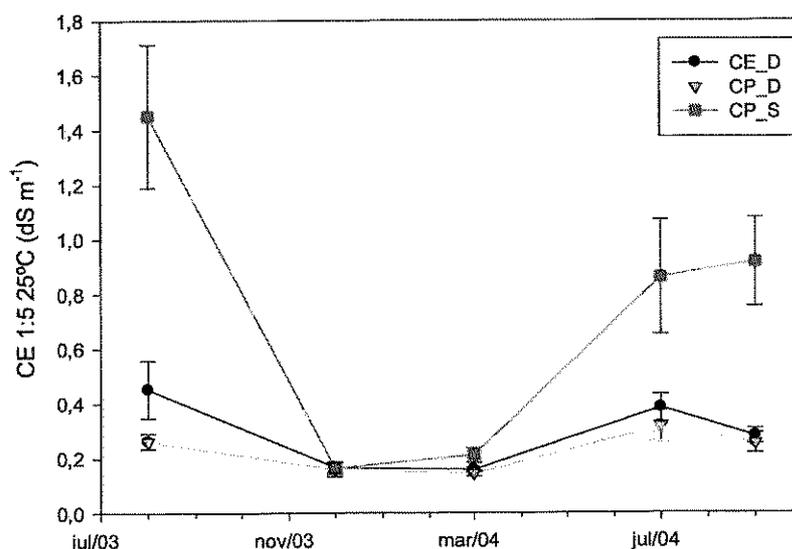
\* Adrover et al. (2007)

### Salinidad

Generalmente los suelos regados con aguas residuales o depuradas presentan una mayor salinidad que los suelos regados con otras fuentes de agua (Mohammad y Mazahreh, 2003; Qian y Meham, 2005; Alvarez-Bernal et al., 2006). En el Pla de Sant Jordi el agua subterránea es más salina que el agua depurada (Tabla 2.1), de manera que es de esperar que, al ser el agua de riego la principal aportación de sales al suelo, la aplicación del agua subterránea cause una mayor salinidad que el riego con aguas depuradas.

Se ha utilizado la conductividad eléctrica del extracto 1:5 para evaluar la salinidad. Según Visconti et al (2010), esta prueba está altamente correlacionada con la salinidad medida sobre pasta saturada si el contenido de yeso en el suelo es despreciable, como es el caso del Pla de Sant Jordi.

Como se puede observar en la Figura 2.1, durante la época de riego el suelo regado con aguas subterráneas presenta valores más elevados de conductividad eléctrica que las dos tipologías de suelo regadas con aguas depuradas. En cambio, la salinidad disminuye considerablemente después de las lluvias de otoño e invierno, obteniéndose valores muy similares independientemente del tipo de agua de riego utilizada durante el verano. Esta situación se prolonga durante todo el periodo sin riego e indica que las sales no se acumulan a lo largo de los años.



**Figura 2.1.** Conductividad eléctrica del extracto 1:5 del suelo entre agosto de 2003 y septiembre de 2004. Valores medios  $\pm$  desviación estándar. CE\_D, Cambisol Endoglético regado con aguas depuradas; CP\_D, Calcisol Pétrico regado con aguas depuradas; CP\_S, Calcisol Pétrico regado con aguas subterráneas.

### Calidad del suelo

Los parámetros biológicos del suelo, como la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas, se consideran indicadores de la calidad del suelo (Albiach et al., 2001). En la Tabla 2.4 se muestran los valores obtenidos en las dos tipologías de suelos regadas con aguas depuradas y en el suelo regado con aguas subterráneas.

La biomasa microbiana es similar en los dos suelos y en los dos tratamientos de riego, sin que se observen diferencias notables entre la época de riego y la sin riego. En cambio la actividad deshidrogenasa es mayor durante el período de riego, obteniéndose los valores más elevados en el suelo regado con agua subterránea. Esto se explica porque además de la materia orgánica, hay otros agentes reductores que estimulan la actividad deshidrogenasa, como es el caso del  $\text{Cl}^-$  (Tabatabai, 1982).

Las actividades  $\beta$ -glucosidasa y ureasa son mayores en ambos suelos regados con agua depurada durante el período de riego, mientras que en el período en que no se riega son similares al suelo regado con aguas subterráneas. Además, en los suelos regados con aguas depuradas hay diferencias significativas entre el período de riego y el período sin riego, lo que no ocurre en el suelo regado con aguas subterráneas (Tabla 2.4). Estos resultados indican una relación entre estas actividades enzimáticas y el riego con agua depurada. Se ha visto que el riego con aguas depuradas a largo plazo incrementa la actividad  $\beta$ -glucosidasa (Chen et al., 2008; Adrover et al., 2012), pero parece ser que esta enzima también es muy sensible a las variaciones estacionales (Debosz et al., 1999), por lo que puede verse afectada por el aporte extra de compuestos de carbono presentes en las aguas depuradas durante el periodo de riego. Lo mismo ocurre con la actividad ureasa, la presencia de sustrato en el agua depurada (urea o sustrato ureico), juntamente con la demanda de nutrientes por parte de los

microorganismos del suelo y la vegetación, aumentan la actividad de esta enzima (Fernández et al., 2009).

La actividad arylsulfatasa es menor en el suelo regado con agua subterránea durante el periodo de riego que en los suelos regados con agua depurada y en el mismo suelo durante el periodo en que no se riega (Tabla 2.4). Esta reducción se debe a que esta actividad enzimática se ve afectada negativamente por la salinidad del suelo que se alcanza a causa del riego con aguas subterráneas (Rietz y Haynes, 2003), mientras que el riego con aguas depuradas la estimula (Chen et al., 2008). La actividad BAA-proteasa también se ve reducida a causa de la salinidad (García y Hernández, 1996), si bien en este caso también se reduce en los suelos regados con agua depurada durante el periodo de riego, en comparación con el periodo sin riego. Esto puede ser debido a que la actividad de esta enzima se ve inhibida por la presencia de materia orgánica fresca en forma de carbohidratos (Bonmatí et al., 2009), que pueden ser aportados tanto por el agua de riego como por los restos de cultivo.

**Tabla 2.4.** Biomasa microbiana y actividades enzimáticas en el Cambisol Endoglético regado con aguas depuradas (CE\_D), el Calcisol Pétrico regado con aguas depuradas (CP\_D) y regado con aguas subterráneas (CP\_S)

		CE_D	CP_D	CP_S
Biomasa microbiana (mg C/kg)	Riego	598 ± 195 a	478 ± 144 a	522 ± 194 a
	No riego	506 ± 154 a	577 ± 131 a	572 ± 129 a
	Sig.	0,126	0,034	0,534
Deshidrogenasa (mmol TPF/kg/24h)	Riego	2,24 ± 0,37 b	2,10 ± 0,38 b	2,60 ± 0,20 a
	No riego	1,90 ± 0,15 b	1,83 ± 0,18 b	2,32 ± 0,14 a
	Sig.	<0,001	0,013	0,004
β-glucosidasa (mmol pnf/kg/h)	Riego	3,09 ± 1,13 a	2,94 ± 0,51 a	2,21 ± 0,40 b
	No riego	2,29 ± 0,94 a	2,57 ± 0,41 a	2,16 ± 0,28 a
	Sig.	0,029	0,021	0,791
Fosfatasa alcalina (mmol pnf/kg/h)	Riego	16,00 ± 3,12 a	12,20 ± 2,46 b	12,52 ± 2,06 b
	No riego	15,76 ± 1,32 a	12,85 ± 1,76 b	13,58 ± 0,69 b
	Sig.	0,613	0,367	0,120
Arylsulfatasa (mmol pnf/kg/h)	Riego	2,44 ± 0,46 a	2,18 ± 0,39 a	1,64 ± 0,22 b
	No riego	2,30 ± 0,28 a	1,95 ± 0,31 b	2,06 ± 0,25 ab
	Sig.	0,175	0,059	0,001
BAA-proteasa (mmol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /kg/h)	Riego	6,59 ± 0,84 a	6,38 ± 0,76 a	5,36 ± 0,65 b
	No riego	7,23 ± 0,93 a	7,35 ± 0,95 a	7,16 ± 1,11 a
	Sig.	0,044	0,001	<0,001
Ureasa (mmol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /kg/h)	Riego	6,06 ± 1,21 a	5,56 ± 0,81 ab	4,77 ± 0,88 b
	No riego	4,90 ± 1,37 a	4,69 ± 0,78 a	4,39 ± 0,24 a
	Sig.	0,016	0,002	0,175

Reacciones de  
Oxido-Reduc  
abi.

H<sub>2</sub>O. aportada  
con el H<sub>2</sub>O  
de riego

no se afecta  
el riego lo  
puede ser por  
EMOS en el suelo  
de afecta la  
salinidad

de H<sub>2</sub>O. fresca  
inhibe esta  
enzima

## Conclusiones

El riego con aguas depuradas en el Pla de Sant Jordi no ha afectado significativamente los niveles de metales pesados del suelo, excepto en el caso del plomo en el que se han registrado valores ligeramente más elevados en el Calcisol Pétrico, pero muy por debajo de los límites legales.

La salinidad del suelo constituye el parámetro más variable a lo largo del año, aumentando en las épocas de riego con aguas con niveles de salinidad elevados, recuperándose mediante el lavado completo con las lluvias invernales.

Las actividades enzimáticas deshidrogenasa,  $\beta$ -glucosidasa y ureasa aumentan durante el periodo de riego con aguas depuradas mientras que la actividad BAA-proteasa disminuye. En cambio, las actividades fosfatasa alcalina y arylsulfatasa mantienen valores similares durante todo el año en los suelos regados con aguas depuradas.

La salinidad del suelo provoca un aumento de la actividad deshidrogenasa pero causa una reducción de las actividades arylsulfatasa y BAA-proteasa. Por otro lado, la biomasa microbiana y las actividades  $\beta$ -glucosidasa, fosfatasa alcalina y ureasa no se ven afectadas por este parámetro.

## Bibliografía

- Adrover, M. (2010) Efectes del reg amb aigües residuals tractades en els sòls i els cultius. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears.
- Adrover, M., Farrús, E., Moyà, G., Vadell, J. (2007) Presència de metalls pesants a terres agrícoles de Mallorca. Relació amb el reg amb aigües depurades. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Illes Balears* 50: 45-57.
- Adrover, M., Farrús, E., Moyà, G., & Vadell, J. (2012). Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. *Journal of environmental management* 95: S188-S192.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F. (2001) Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology* 77: 109-114.
- Alvarez-Bernal, D., Contreras-Ramos, S.M., Trujillo-Tapia, N., Olalde-Portugal, V., Frías-Hernández, J.T., Dendooven, L. (2006) Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics. *Applied Soil Ecology* 33: 269-277.
- Bonmati, M., Ceccanti, B., Nannipieri, P., Valero, J. (2009) Characterization of humus-protease complexes extracted from soil. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1199-1209.
- Chen, W., Wu, L., Frankenberger, W.T., Chang, A.C (2008) Soil enzyme activities of long-term reclaimed wastewater-irrigated soils. *Journal of Environmental Quality* 37: S-36-S-42.
- Debosz, K., Rasmussen, P.H., Pedersen, A.R. (1999) Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effect of organic matter input. *Applied Soil Ecology* 13: 209-218.
- De Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Royset, O., Vadset, M. (1997) Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment* 31: 2733-2740.
- Gran Enciclopèdia de Mallorca (1991) Promomallorca Edicions.

- Fernández, J.M., Plaza, C., García-Gil, J.C., Polo, A. (2009) Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. *Applied Soil Ecology* 42: 18-24.
- Garcia, C., Hernandez, T. (1996) Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciothird soil. *Plant and Soil* 178: 255-263.
- Habsburg-Lorena, L. S. (1880). Die Balearen. In Wort und Bild geschildert. Leipzig. F.A. Brockhaus. (Edición traducida al catalán: Les Balears. Descrites per la paraula i la imatge. ISBN: 84-930771-2-7).
- Helalia, A.M., Al-Tahir, O.A., Al-Nabulsi, Y.A. (1996) The influence of irrigation water salinity and fertilizer management on the yield of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) *Agricultural Water Management* 31: 105-114.
- Mateos, R.M., Crespí, D., Galmés, A., González, C. (2001) Regadío con aguas residuales tratadas en la isla de Mallorca. Afección a la aguas subterráneas. *VII Simposio de hidrología*. Tomo XXIV. Asociación Española de hidrología subterránea, Murcia.
- Mateos-Ruiz, R.M., López-García, J.M. (2003) Retroceso de la intrusión marina debido a la sustitución de aguas subterráneas por aguas residuales tratadas para el regadío de una zona agrícola. El Pla de Sant Jordi (Mallorca). Dins: López, J.A., de la Orden, J.A., Gómez, J.D., Ramon, G., Mejías, M., Rodríguez, L. (Eds.) *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos*. IGME, pàgines 651-658.
- Mohammad, M.J., Mazahreh, N. (2003) Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 1281-1294.
- Pla Hidrològic de les Illes Balears (2011) Govern de les Illes Balears. Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori.
- Qian, Y.L., Meham, B. (2005) Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal* 97: 717-721.
- Rietz, D.N., Haynes, R.J. (2003) Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 845-854.
- Rosselló, V.M. (1959) El Prat de Sant Jordi y su desecación. Boletín de la Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Palma de Mallorca 622: 1-10.
- Santarrufina, E. (1992) Análisis de la situación actual de suelos, producción vegetal y producción animal de la zona del Pla de Sant Jordi (Mallorca) regada con aguas depuradas. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación.
- Sörme, L., Lagerkvist, R. (2002) Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment* 298: 131-145.
- Tabatabai, M.A. (1982) Soil Enzymes. Dins: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, pàgines 903-947.
- UNEP (2005) Guidance for treated wastewater use in irrigation. Mediterranean Action Plan. *Meeting of the MED POL National Coordinators*. United Nations Environment Programme, Barcelona.
- Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L. (2010) What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? *Geoderma* 154: 387-397.

### Visita 3: Calcisol superpuesto a un antiguo Luvisol.

#### El perfil de Son Sala

El perfil se ha descrito en una zona conocida como Son Sala, cerca de la carretera que une las poblaciones de Lluçmajor y Campos, en el sector suroriental de la isla de Mallorca (ETRS89, 31S X: 497769, Y: 4366392). Se encuentra a unos 70 m sobre el nivel del mar y a unos 10 km de la costa. El relieve es ligeramente ondulado, con formas suaves, observándose pequeñas colinas de 3 o 4 metros de altitud. El perfil se localiza en la parte alta de una de estas colinas.

El suelo actual descansa sobre antiguas dunas Plio-pleistocénicas (Colom et al., 1968 y Colom, 1980). Estas dunas delimitaban, probablemente, el litoral frente a aguas someras como lo atestiguan numerosos organismos fósiles indicadores de estos ambientes.

Actualmente Son Sala recibe unos 455 mm de precipitación anuales, siendo octubre el mes más lluvioso, con 70 mm de media, y julio el menos lluvioso (10,3 mm de media). La temperatura media anual es de 16,2 °C, oscilando entre 9,5°C en enero y 24,8°C en agosto (Figura 3.1).

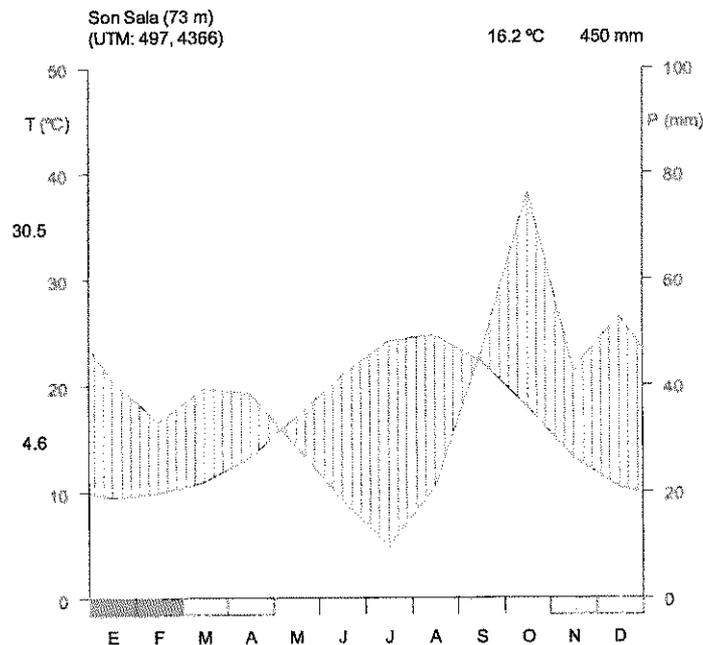


Figura 3.1. Climograma de Son Sala

El suelo, descrito en el talud de un camino, tiene unos 250 cm de profundidad. Destaca un horizonte petrocálcico muy compacto, que empieza a los 20 cm y alcanza un grosor de unos 100 cm, sobre dos horizontes cálcicos, también de un grosor importante, en los que se observan manchas correspondientes a un suelo fósil, que tiene mayor presencia a mayor profundidad.

El horizonte A, que se encuentra sobre el horizonte petrocálcico, tiene una textura franco arcillosa, un 44% de carbonatos y un contenido en materia orgánica del 2,8%. (Tabla 4.1) Su contenido en Al, Ca, Fe, K, Mg, Na y P difiere considerablemente de los horizontes subyacentes aunque es similar a la capa arable de suelos agrícolas con acumulaciones de carbonato cálcico (Adrover et al., 2009). El contenido en metales pesados está dentro de los rangos para este tipo de suelos (Adrover y Vadell, 2010) (Tabla 4.2).

**Tabla 4.1.** Características físico-químicas del perfil de Son Sala

Horizonte	A	Btk1	Btk2
Profundidad	0-20	120-180	180-250
Arenas (g/kg)	327	202	272
2-1 mm (g/kg)	81	2	9
1-0,5 mm (g/kg)	59	5	9
0,5-0,25 mm (g/kg)	50	7	10
0,25-0,1 mm (g/kg)	80	156	210
0,1-0,05 mm (g/kg)	57	32	34
Limos (g/kg)	393	546	451
0,05-0,02 mm (g/kg)	128	24	20
0,02-0,002 mm (g/kg)	264	523	432
Arcillas (g/kg)	281	252	276
CCE (g/kg)	437	880	868
Caliza activa (g/kg)	115	238	225
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,4	8,7	8,3
pH KCl 1M (1:2,5)	7,6	8,1	8,1
CE 1:5 (dS/m)	0,14	0,08	4,19
Carbono orgánico (g/kg)	28,1	0,9	0,9
Nitrógeno total (g/kg)	2,0	0,2	0,2
C/N	13,9	4,4	4,1
P Olsen (mg/kg)	13,3	11,6	12,7
Hm -1,5 MPa (g/kg)	130,4	61,1	68,9

El horizonte petrocálcico tiene un contenido de Ca y Na mucho mayor que el horizonte A, pero en cambio presenta valores inferiores de Mg, K, Al y Fe. El contenido de estos tres últimos elementos vuelve a aumentar en los horizontes cálcicos aunque sin alcanzar los valores del horizonte superior (Tabla 4.2).

Los dos horizontes cálcicos son muy parecidos a nivel elemental, aunque el más profundo tiene un mayor contenido en P, Na, As, Mn, Pb y Zn (Tablas 4.2). Prácticamente el 90% de estos dos horizontes está compuesto por carbonato cálcico, también presentan un 0,09% de materia orgánica y un 0,002% de nitrógeno total, con una relación C/N de 4,4 y 4,1, respectivamente. La textura del primer horizonte cálcico es franco limosa, mientras que la del horizonte inferior es franco arcillosa. La distribución de arenas entre ambos horizontes es muy

similar, lo que denota un origen común, aunque difiere considerablemente de la del horizonte A (Tabla 4.1).

**Tabla 4.2.** Composición elemental de los horizontes del perfil de Son Sala

Horizonte	A	Bkm	Bk	Btk1	Btk2
Profundidad	0-20 cm	20-100 cm	100-120 cm	120-180 cm	180-250 cm
Al (g/kg)	39,2	7,7	11,6	17,3	16,3
Ca (g/kg)	196	390	366	352	368
Fe (g/kg)	21,8	3,7	5,7	8,6	8,3
K (g/kg)	11,9	2,7	3,1	5,5	5,6
Mg (g/kg)	7,4	4,5	4,1	4,3	4,5
Na (g/kg)	0,6	2,4	1,6	1,0	3,1
P (mg/kg)	964	84	103	153	207
As (mg/kg)	10,4	6,2	3,2	6,5	1,1
B (mg/kg)	41,4	8,3	15,8	18,1	15,0
Cd (mg/kg)	0,64	0,15	0,12	0,13	0,26
Co (mg/kg)	10,2	2,6	3,1	4,1	3,8
Cr (mg/kg)	51,3	8,9	14,5	50,2	21,9
Cu (mg/kg)	11,1	5,0	5,3	7,4	6,3
Mn (mg/kg)	418	58	104	150	165
Ni (mg/kg)	25,0	4,6	7,1	9,9	10,2
Pb (mg/kg)	20,8	-	-	1,0	2,5
Zn (mg/kg)	54,3	10,9	13,2	18,8	20,8

A nivel de micromorfología, en el horizonte petrocálcico se observan rellenos de micrita con algunos revestimientos de arcilla pero también fósiles de foraminíferos típicos de ambientes poco profundos como las praderas de *Posidonia*, entre los que se distinguen foraminíferos rotálidos del género *Ammonia*, además de algún resto de alga roja. Pueden formar parte de arena poco rodada del periodo Plio-pleistoceno.

En el horizonte cálcico subyacente se siguen observando foraminíferos epífitos poco rodados, junto con rellenos completos y nódulos de micrita de hasta 5 mm, nódulos de óxidos de manganeso y revestimientos muy finos de arcilla (10  $\mu$ m de grosor). Dentro de los foraminíferos se distinguen claramente algunos miliólidos del género *Bolivina*, típicos de ambientes ricos en materia orgánica y pobres en oxígeno.

Los organismos típicos de las praderas de *Posidonia* también se observan en el horizonte cálcico más profundo: restos de alga roja articulada, moluscos, púas de erizo y foraminíferos, entre los que se distingue *Elphidium macellum*, *Cibicides refulgens*, *Lobatula lobatula* y miliólidos. También se observan nódulos e hiporevestimientos de óxidos de manganeso, alrededor de bioporos y cavidades, a veces asociados a hiporevestimientos y revestimientos muy finos de arcilla microlaminada, además de hiporevestimientos y nódulos de micrita de hasta 5 mm. Alrededor de los poros se pueden observar intercalaciones onduladas de micrita alternadas con líneas más ricas en arcilla de aspecto fluvial.

La hipótesis de formación de este suelo es la siguiente: en un evento de transgresión marina durante el Plio-pleistoceno, se estableció un sistema dunar enterrando el antiguo suelo rojo.

Los fósiles identificados en la arena evidencian que ésta se formó en un ambiente propio de aguas someras con praderas de *Posidonia*. El escaso rodamiento de los restos de foraminíferos indica que han sido poco transportados. Posteriormente han tenido lugar translocaciones de carbonatos dentro del mismo perfil, formando los horizontes cálcico y petrocálcico.

Aparentemente, el volumen de carbonatos de calcio translocados ha sido importante, afectando, por lo menos, a los 2,5 m de profundidad del suelo descrito. Estos carbonatos provienen, en parte del lavado en el horizonte A y, también, de la movilización de carbonatos dentro de lo que identificamos como horizonte cálcico. Aunque una parte importante de los carbonatos presentes en el horizonte cálcico corresponden a las partículas calcáreas originalmente depositadas (por ejemplo los abundantes restos fósiles identificados). Considerando esta situación y teniendo en cuenta las características del horizonte A actual, con un contenido en CCE del 44,0 % y de filosilicatos elevado, resulta difícil de argumentar la formación de este horizonte simplemente a un proceso de diferenciación edáfica a partir del material calcáreo subyacente. Por tanto, las características del horizonte A actual se explican en parte por las aportaciones de material alóctono, presumiblemente de origen eólico.

### Descripción del perfil Ma267

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

<b>Fecha:</b> 31/03/2012		<b>Perfil:</b> Ma267
<b>Municipio:</b> Campos.		
<b>Polígono:</b> 5	<b>Parcela:</b> 486	<b>Recinto:</b> 1
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 497769 E	<b>Latitud:</b> 4366392 N	<b>Altitud:</b> 70 m.
<b>Finca:</b> Son Sala.		
<b>Localización:</b> Talud del camino, en la entrada de la finca.		
<b>Clase de relieve:</b> Colina.		<b>Posición dentro del paisaje:</b> Parte alta.
<b>Litología:</b> Calizas		
<b>Edad estratigráfica:</b> Plio-pleistoceno.		
<b>Uso del terreno:</b> Agrícola.	<b>Cultivos:</b> mixto	
<b>Riego y manejo:</b> Secano.		
<b>Influencia antrópica:</b> Borde de carretera.		
<b>Afloramientos de roca:</b> No hay		
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Abundantes piedras y gravas medias y gruesas de restos de petrocálcico.		
<b>Síntomas de erosión:</b> Mucha presencia de elementos gruesos.		
<b>Costras superficiales:</b> No.		<b>Grietas:</b> No.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color marrón (7,5YR 4/4) en húmedo y marrón fuerte (7,5YR 4/6) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura débil en bloques subangulares finos, poco compacta. Muy friable. Fragmentos de costra calcárea. Sistema radicular limitado por el horizonte petrocálcico. Reacción al HCl muy fuerte. Límite abrupto y plano.
Bkm	20-100	Color amarillo rojizo (7,5YR 7/6) en húmedo y rosa (7,5YR 8/3) en seco. Estructura fuerte, laminar media, muy compacta. Friable. Fuertemente cimentado por carbonato cálcico. Reacción al HCl muy fuerte. Límite abrupto y ondulado.
Bk	100-120	Color amarillo rojizo (7,5YR 7/6) en húmedo y rosa (7,5YR 8/3) en seco. Estructura fuerte, laminar fina, compacta. Friable. Raíces muertas en forma de filtro. Reacción al HCl muy alta. Límite limpio y ondulado.
Btk1	120-180	Color amarillo rojizo (5YR 7/8) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/8) en seco con manchas (nódulos) de color amarillo rojizo (5YR 7/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 6/8) en seco. Textura franco-limosa. Estructura débil o moderada con bloques subangulares finos compacta. Firme. Abundantes elementos gruesos, nódulos de carbonato cálcico, blandos. Reacción al HCl muy fuerte. Límite difuso e irregular.
Btk2	180-250	Color rojo amarillento (5YR 7/8) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 5/8) en seco con manchas (nódulos) de color amarillo rojizo (5YR 7/6) en húmedo y amarillo rojizo (5YR 6/8) en seco. Textura franco arcillosa. Estructura débil o moderada con bloques subangulares finos. Compacto. Firme. Abundantes elementos gruesos, nódulos de carbonato cálcico. Reacción al HCl muy fuerte.

## CLASIFICACIÓN

**WRSB (2006):** Calcisol Pétrico Hipercálcico.

**SSS (2010):** Petrocalcic Calcixerept.

## Bibliografía

Adrover, M., Sureda, B., Castillo, N., Vadell, J. (2009) Caracterización agroecológica de los suelos de Porreres (Mallorca). Actas de las XV Jornadas Técnicas SEAE. Agricultura y Ganadería Ecológica Mediterránea. Bunyola (Mallorca).

Adrover Fiol, M., Vadell Adrover, J. (2010) Niveles de metales pesados en suelos agrícolas desarrollados sobre diferentes materiales en Porreres (Mallorca). Actas IV Congreso Ibérico de la Ciencia del Suelo. Granada.

Colom, G. (1980) Nota preliminar sobre la existencia del Plioceno inferior, Marino, en Mallorca (Baleares). Acta Geológica Hispánica 15 (2): 45-49.

Colom, G., Sacares, J., Cuerda, J. (1968) Las formaciones marinas y dunares pliocénicas de la región de Lluchmayor (Mallorca). Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Illes Balears 14: 46-60.

## **Visita 4: Estudio de formaciones de paleosuelos característicos del ambiente mediterráneo.**

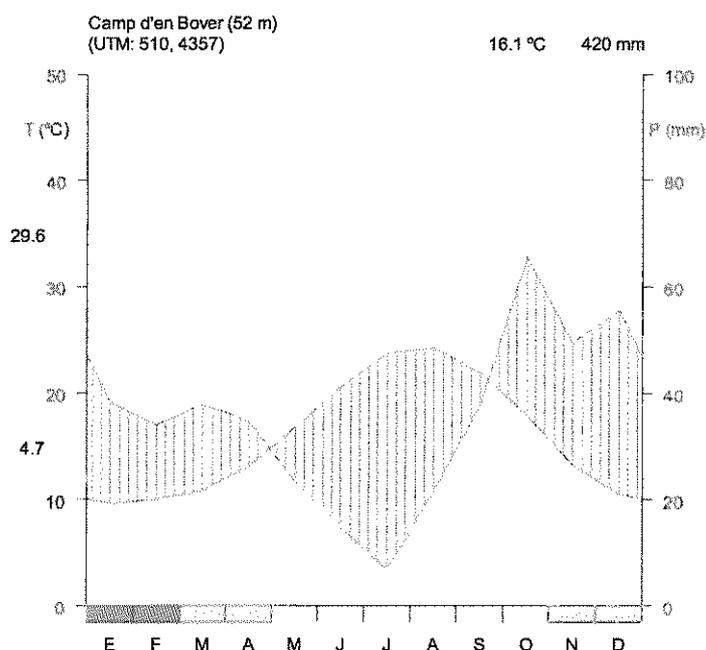
### **Camp d'en Bover**

El perfil se localiza en el sector suroccidental de la isla de Mallorca, en los alrededores de la población de Santanyí (ETRS89, 31S X:511014, Y:4357438; 52 m snm). Se encuentra en una depresión de morfología llana y forma redondeada de 0,5 km<sup>2</sup>, aproximadamente, con los alrededores que se elevan suavemente (1-2%). Esta morfología es el resultado del colapso de las rocas calcáreas subyacentes provocado por procesos cársticos. Actualmente, esta cuenca se encuentra comunicada, por el oeste, con otra próxima situada a 1,5 km de distancia en una cota inferior. Esta segunda presenta la morfología típica de una dolina, de forma circular y una superficie de 1,5 km<sup>2</sup>, con una cota de 42 m snm. Está cerrada y, en la actualidad, presenta dos simas a través de las cuales se evacuan eventuales escorrentías hídricas superficiales de gran intensidad, dirigiéndose al mar, situado a unos 4 km.

Estas dos áreas, denominadas *Camp d'en Bover* y *Camp d'en Torrella*, destacan por la profundidad del suelo y son muy apreciadas para la agricultura. Tradicionalmente se han destinado al cultivo de cereales, especialmente trigo. Contrastan con los suelos de su entorno, poco profundos (dominio de los Leptosoles).

La geología de la zona está dominada por calizas oolíticas y arrecifales correspondientes al Mioceno superior (Tortonense-Messiniense). A partir de esta época no se han registrado procesos de compresión relevantes, manteniéndose condiciones distensivas hasta finales del Neógeno (ITME, 1992). La disposición horizontal de las litologías calcáreas, unido a los procesos de disolución cárstica, favorecen la formación de colapsos sobre los cuales se pueden desarrollar morfologías características como las dolinas, favoreciendo la conservación del suelo.

La climatología de la zona es mediterránea típica con una temperatura media anual de 16,2 °C, precipitación anual de 415 mm y alta probabilidad de heladas nocturnas durante los meses de diciembre, enero y febrero (Figura 4.1).



**Figura 4.1.** Climograma de la zona del Camp den Bover

#### **Secuencia de las unidades edáficas.**

A lo largo del perfil edáfico se han diferenciado 9 unidades correspondientes a distintos procesos de deposición del material edáfico, alteración, lavado y acumulación. Los procesos que aparecen con mayor frecuencia son las iluviaciones de arcilla, las acumulaciones de carbonatos, típicamente en forma de concreciones calcáreas y la reducción de zonas concretas que se manifiestan a través de rasgos redoximórficos.

Siguiendo el orden natural de deposición de los materiales (de abajo a arriba) la secuencia es la siguiente:

1. Suelo inicial (o primitivo) suprayacente a las rocas calizas (1255-1415 cm).

Se conserva el horizonte árgico (o argílico), con un alto contenido en arcillas. Presenta un alto grado de rubefacción (matiz 10R). Presenta acumulaciones de arcilla y se observan caras de deslizamiento. Las arcillas están dominadas por la illita y los interstratificados illita-esmectita, presentando distintas disposiciones (orden de empaquetamiento). El contenido en caolinita es importante (14%). Se aprecian oolitos de manganeso y se presentan, en pequeña cantidad, gravas muy finas de cuarzo (10 g/kg) con la superficie suave, como resultado de los procesos de disolución superficial.

El grosor de este horizonte es de 160 cm y, posiblemente es el resultado de un proceso de acumulación coluvio-aluvial de materiales descarbonatados o con carbonatos que se han perdido a través de procesos de lavado, favorecidos por la alta permeabilidad de la roca subyacente que ha facilitado la eliminación total de los carbonatos. Se trata de un suelo con un alto grado de evolución en el contexto mediterráneo.

Sobre el suelo descrito se sitúan dos horizontes (1135-1215 cm y 1215-1255 cm) con características similares en cuanto a la composición de los minerales de arcilla, ausencia de

carbonatos y presencia de superficies de deslizamiento. El color presenta un matiz más amarillento que el horizonte inferior (entre 2,5 YR y 5 YR).

## 2. Horizontes entre 855 y 1135 cm.

Por encima de la primera unidad, se sitúan dos horizontes con un grado de diferenciación creciente por la presencia de carbonatos, de abajo a arriba, respecto a los materiales más antiguos. Estos horizontes son los correspondientes a 930-1135 cm y 855-930 cm, con la tierra fina descarbonatada pero apareciendo acumulaciones de carbonatos en forma de concreciones (50 g/kg) formando nódulos o formas planas, algunas desarrolladas en grietas que corresponden a superficies de deslizamiento provocadas por los procesos de expansión y retracción favorecidos por las arcillas expandibles. El manganeso tiene una alta presencia, tanto en forma de manchas como formando oolitos y pisolitos.

La composición mineralógica de las arcillas es similar a la de los horizontes más profundos, con presencia de illita, interestratificados illita-esmectita y caolinita.

Por encima de los dos horizontes mencionados se sitúa un tercer horizonte (835-855 cm) de transición con los materiales suprayacentes, haciéndose los carbonatos más patentes, en forma de concreciones y, también como componente de la tierra fina. También aparece, por primera vez la arcilla clorita, que a partir de este nivel se encuentra en todas las muestras.

Un rasgo diferenciador de esta unidad es la presencia de carbonatos en forma de concreciones. Estas acumulaciones son el resultado de un proceso de lavado de materiales carbonatados depositados en superficie, desplazados mediante la circulación del agua, aprovechando vías preferentes de circulación y precipitados en puntos discretos.

## 3. Calcilita (820-835 cm)

Sobre los materiales más edafizados se coloca una calcilita (820-835 cm) que se disgrega en agua. Se trata de un material diferenciado de los horizontes supra y subyacentes, especialmente manifiesto a través de la textura (franco limosa) y el alto contenido en carbonato cálcico equivalente (342 g CCE/ kg).

La mineralogía de las arcillas es similar a la de los horizontes más profundos, presentando clorita, que ya aparece en el horizonte subyacente, probablemente por tratarse de un horizonte de transición.

Se trata de un horizonte de origen eólico, sin que se aprecie estratificación de las partículas, con un grado de edafización limitado.

4. Por encima de la calcilita (820-835 cm) se sitúa un horizonte, que contrasta en cuanto a grosor (720-820 cm), textura, más fina y sin apenas presencia de arenas (10 g/kg), contenido en CCE bajo y una destacable porosidad vesicular fina (tamaño equivalente a arenas medias y gruesas). La formación de este horizonte puede haberse favorecido en un ambiente lacustre en el que se depositaron sedimentos finos constituidos básicamente por limos y arcillas.

Se superpone a la capa anterior un horizonte grueso (550-720 cm) con un contenido en arenas similar pero con una mayor presencia de CCE (250 g/kg) con algunas concreciones calcáreas en forma de nódulos.

5. Los siguientes horizontes (460-550 cm y 400-460 cm) se caracterizan por texturas similares a las subyacentes vecinas pero con un mayor contenido en arenas y un contenido en CCE elevado (entre 260 y 320 g/kg). Sobre todo en el nivel entre 400 y 460 cm la acumulación de carbonatos en forma de concreciones calcáreas es destacable (alrededor de 150 g/kg). Respecto a los minerales de arcilla, la composición es similar a los horizontes subyacentes.

Un rasgo destacable de esta unidad es la presencia de numerosos nódulos de carbonato de calcio en el nivel de 400 cm. Adquieren la fisonomía de línea de nódulos del tamaño equivalente a gravas gruesas y piedras. Además, en una zona periférica de la excavación la

línea de nódulos se hace más densa y en algunas zonas adquiere la fisonomía de un horizonte petrocálcico.

La morfología exterior de estos nódulos es de formas suavizadas, como resultado de la precipitación de carbonatos formando una capa de entre varios mm y un cm que envuelve o rodea la concreción calcárea original. Estas formas y disposición evidencian procesos de erosión e inundaciones de estos suelos que habrán favorecido la consolidación exterior de estos nódulos. Del mismo modo, la presencia de numerosas manchas redoximórficas y vetas con pérdida de hierro corroborarían procesos reductores propios de estos ambientes.

#### 6. Horizonte 265-400 cm

Se trata de un suelo completamente descarbonatado. Desde un punto de vista mineralógico presenta una composición en minerales de arcilla similar a los horizontes subyacentes.

La transición de este horizonte con el subyacente (incluyendo la zona donde la acumulación de carbonatos es mayor, con características de horizonte petrocálcico) es abrupta, pasando de un horizonte sin carbonatos a contenidos muy elevados. Este rasgo es indicador de que este horizonte descarbonatado se ha depositado sobre el horizonte subyacente ya completamente descarbonatado. De este modo las concreciones calcáreas presentes en los horizontes por debajo de 400 cm corresponden al desplazamiento de carbonatos procedentes de horizontes que, posteriormente, fueron erosionados y su posición fue ocupada por este nuevo material, presumiblemente, procedente de los alrededores de la zona, llegando a través de procesos coluvio-aluviales.

Aunque la tierra fina está totalmente descarbonatada, la presencia de carbonatos en este horizonte es notoria, sobretudo en forma de concreciones calcáreas de formas planas, en disposición horizontal cuando se sitúan en la parte superior del horizonte (265 cm) y en disposición vertical cuando se sitúan en fisuras que facilitan los flujos descendientes de agua.

#### 7. Profundidad 140-265 cm.

En este tramo se diferencian tres horizontes con características similares pero que, aparentemente, corresponden a diferentes episodios. Las texturas son similares, el contenido en CCE de la tierra fina es decreciente, en profundidad, a lo largo de los tres horizontes diferenciados y el contenido en concreciones calcáreas, similar a lo largo de todo el intervalo. De forma similar ocurre con los minerales de arcilla, que presentan composiciones similares en todo el tramo y son equivalentes a los otros horizontes subyacentes.

El horizonte inferior (245-265 cm) presenta características diferenciadas, sobretudo con la subyacente, con un contenido en CCE de la tierra fina mucho más elevado. En algunas zonas del horizonte aparece material estratificado en una franja estrecha (entre 3 y 5 cm en las zonas donde se hace visible) correspondiente a procesos aluviales. Se observan gravas muy finas constituidas por calizas que adquieren formas redondeadas, pequeños fragmentos de sílice y oolitos ricos en manganeso.

La disposición en estratos de parte del material de este horizonte, unido a un límite inferior abrupto, indica que el suelo sobre el que se depositó este sedimento fue erosionado y, por lo menos parte del material, llegó a través de procesos aluviales.

Los horizontes superiores (220-245 cm y 140-220 cm) presentan una composición similar, altos contenidos de CCE de la tierra fina y abundantes concreciones calcáreas.

#### 8. Nivel de 140 cm

A esta profundidad se identifica un cambio abrupto entre las capas lindantes. El límite entre capas es abrupto y presenta una morfología ligeramente ondulada. Esta superficie define un nivel erosivo sobre el cual se depositó una fina capa (130-140 cm) con una disposición irregular, marcada por el relieve de la superficie del suelo erosionado que presenta ligeras

ondulaciones que pueden suponer una variación de unos 10 cm, entre las cotas máximas y mínimas, apreciables a escala decamétrica. Este horizonte presenta características diferenciadas de los materiales que le rodean: una textura muy fina (570 g/kg de arcillas), una estructura prismática muy definida y un contenido muy bajo de CCE (28 g/kg).

Por encima de este horizonte (130-140 cm) se dispone otro horizonte de textura arcillosa, con un contenido de arcillas de 406 g/kg, contenidos en CCE altos (229 g/kg) y concreciones calcáreas (392 g/kg).

Un rasgo notorio de los horizontes 130-140 cm y 110-130 cm es la presencia de arenas gruesas de carbonato de calcio, observables a simple vista. Estas arenas de origen eólico de zonas próximas probablemente correspondan a un episodio o unos pocos episodios que coincidirían con el momento que se depositó el material arcilloso correspondiente al horizonte 130-140 cm y la inmediata del material suprayacente. Por otra parte, entre estos dos horizontes no se aprecia mezcla de materiales por lo que presumiblemente la aportación de nuevo material se realizó en un intervalo de tiempo corto

#### 9. Suelo agrícola actual (0-110 cm).

Identificamos con esta denominación la parte superior de este perfil que tiene una mayor relevancia para la vegetación natural y los cultivos que se pueden desarrollar actualmente.

Entre 45 y 110 cm se diferencian dos horizontes con características similares: textura franco-arcillo-limosa, altos contenidos de CCE de la tierra fina (alrededor de 190 g/kg) y contenido en concreciones calcáreas muy elevado (alrededor de 400 g/kg).

Por encima del nivel de 45 cm diferenciamos dos horizontes con un nivel de CCE bajo; del mismo modo el contenido en elementos gruesos es muy bajo (13 g/kg en el horizonte superficial y 11 g/kg en el horizonte entre 20 y 45 cm).

La composición de los minerales de arcilla es similar a los horizontes subyacentes, con una disminución de las esmectitas en las formas interestratificadas con las illitas.

Los procesos más destacables en estos horizontes superiores son el lavado de carbonatos, desapareciendo los carbonatos de las fracciones más finas que se localizan en los horizontes entre 45 y 110 cm en forma de concreciones calcáreas. Al mismo tiempo se observa una acumulación de arcillas en el horizonte entre 20 y 45 cm, resultado de un proceso de iluviación.

### **Procesos dominantes**

En este perfil de más de 14 m de profundidad se pueden apreciar horizontes, correspondientes a varios paleosuelos, con características diferenciadas desarrolladas a partir de unos procesos recurrentes.

La iluviación de arcilla y la movilización de carbonatos constituyen los dos procesos más relevantes que, en algún grado aparecen en la mayoría de los horizontes diferenciados.

Los procesos redoximórficos, manifestados a través de colores gleicos constituyen otro rasgo muy común que aparece sobretudo en horizontes con texturas arcillosas, con una permeabilidad baja.

La composición de los minerales de arcilla es similar a lo largo de todo el perfil; se diferencian los horizontes más antiguos (de 855 a 1415 cm) con una mayor presencia de esmectitas en las formas interestratificadas con la illita y la ausencia de cloritas. En el resto de

capas las cloritas están presentes y el contenido en esmectita interestratificada es ligeramente inferior.

Discernir el origen de los materiales constituyentes presenta una elevada complejidad. Algunos horizontes presentan características propias de materiales de origen eólico (especialmente entre 820 y 835 cm) y en otros casos se trata, aparentemente, de materiales con un alto grado de edafización (por ejemplo el horizonte entre 265 y 400 cm, completamente descarboxinado) que se han depositado en el lugar a partir de procesos coluvio-aluviales, aprovechando las características de una cuenca de subsidencia que recibe aportes de los alrededores. Situaciones en las que se puedan combinar ambos orígenes son las más habituales residiendo la dificultad en establecer la participación de cada parte.

A lo largo de toda la secuencia no se aprecian, claramente, antiguos horizontes A. Esta ausencia podría ser debida, en parte, a la erosión de estos horizontes y también a las características de los procesos de deposición. La formación de esta secuencia de paleosuelos se tiene que situar en un periodo largo de tiempo, durante parte del Pleistoceno, con condiciones climáticas cambiantes pasando por épocas húmedas y templadas favorables al desarrollo de la vegetación en las que se minimizan los procesos erosivos, combinadas con otras épocas áridas con pérdida de la cubierta vegetal y la materia orgánica de los suelos, en las que se facilitan los procesos erosivos y la acumulación de estos materiales minerales en las partes bajas.

Situar los paleosuelos diferenciados en el tiempo nos permitiría relacionar los procesos formadores con las condiciones ambientales, presumiblemente, de una parte del Pleistoceno.

El grado de diferenciación edáfica que se puede apreciar en estos paleosuelos pone de manifiesto un grado de alteración limitado, propio del ambiente mediterráneo. Es en el suelo más profundo donde se presentan las características indicadoras de un mayor grado de evolución en unas condiciones mediterráneas (descarboxinación completa, rubefacción alcanzando el matíz 10R). En muchos de los otros horizontes, superiores, el grado de descarboxinación es limitado, lo cual indica que los procesos formadores han intervenido sobre el material de forma limitada.

### **Descripción del perfil Ma274**

#### **CARACTERÍSTICAS GENERALES**

<b>Fecha:</b> entre 31/03/2012 y 10/9/2012.		<b>Perfil:</b> Ma274
<b>Municipio:</b> Santanyí.		
<b>Polígono:</b> 1	<b>Parcela:</b> 99	<b>Recinto:</b> 2
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 511014 E	<b>Latitud:</b> 4357438 N	<b>Altitud:</b> 52 m.
<b>Localización:</b> Camp d'en Bover, junto a la carretera que une Santanyí con Cas Concos.		

<b>Litología:</b> Calizas.	
<b>Edad estratigráfica:</b> Mioceno.	
<b>Uso del terreno:</b> Agrícola.	<b>Cultivos:</b> Cultivos herbáceos de secano.
<b>Afloramientos de roca:</b> No hay.	
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Medida, forma, naturaleza y abundancia	
<b>Síntomas de erosión:</b> No apreciables.	
<b>Crostas superficiales:</b> No.	<b>Grietas:</b> No.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

**Horizonte      Profundidad      Descripción**  
(cm)

Ap	0-25	Color rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y rojo amarillento (5 YR 5/6) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura en bloques angulares y subangulares de tamaño fino. Muy compactado. Elementos gruesos constituidos por fragmentos de nódulos de tamaño gravas finas y medias de forma subangular y naturaleza calcárea, poco abundantes (<5%). Artefactos: presencia de restos de cerámica. Raíces (finas, muertas y pocas). Reacción al HCl media. Presencia de conchas de caracoles. No se observan manchas. Límite con la capa inferior abrupto y liso.
Bw	25-45	Color rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y entre marrón rojizo y rojo amarillento (5YR 5/5) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura en bloques subangulares de tamaño medio y estructura secundaria granular de tamaño medio y consistencia moderada. Muy pocos elementos gruesos constituidos por nódulos de carbonatos de calcio de tamaño gravas finas y medias de forma redondeada, poco abundantes (<5%). Sin presencia o con muy pocas raíces finas. Reacción de la tierra fina al HCl media. No se observan manchas. Límite con la capa inferior claro y liso.
2Bkc1	45-70	Color marrón rojizo (5YR 4/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura en bloques subangulares de tamaño fino y mediano. Pocos elementos gruesos (5%) constituidos por concreciones de carbonatos de calcio de tamaño medio. Reacción de la tierra fina al HCl alta. No se observan manchas. Límite con la capa inferior claro y liso.
2Bkc2	70-110	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo (2,5YR 5/6) en seco. Textura franco arcillo limosa. Consistencia muy dura. Estructura en bloques subangulares de tamaño medio. Muchos nódulos de carbonato de calcio de tamaño gravas gruesas y piedras de formas redondeadas y frecuentes (10-

		20%) concreciones, también de carbonato de calcio, alargadas dispuestas verticalmente. La distribución de los nódulos y concreciones es más o menos regular pero aumenta en profundidad. Reacción de la tierra fina al HCl alta. No se observan manchas. Límite con la capa inferior claro y liso.
3Bkc3	110-130	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (2,5YR 4/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura en bloques angulares y subangulares. Presencia de nódulos de carbonatos de calcio. Presencia de granos de arena calcárea observables a simple vista. Reacción al HCl alta. No se observan manchas. Límite con la capa inferior abrupto y discontinuo.
4Bt	130-140	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura prismática entre fina y media. Presencia de nódulos de carbonatos de calcio muy finos. Algunas manchas de manganeso de tamaño entre fina y muy fina. Presencia de granos de arena de naturaleza calcárea identificables a simple vista. Reacción al HCl media. El grosor de esta capa es variable, alcanzando unos 10 cm donde tiene mayor presencia y disminuyendo hasta desaparecer en otros lugares. Límite con la capa inferior abrupto y ondulado.
5Btkc1	140-220	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura en bloques subangulares entre fina y media. Abundantes nódulos y concreciones de carbonatos de calcio de tamaño gravas gruesas y piedras. Algunos de las concreciones (nódulos) son esferoidales de tipo concéntrico formados sobre un núcleo que es un nódulo macizo de hasta 5 cm de diámetro. Esta capa termina con una línea de, entre 215 y 220 cm aproximadamente. Las concreciones son redondeados y esferoidales verticales, de unos 2-3 cm de ancho por 6-7 cm de largo. Reacción al HCl alta. Límite con la capa inferior abrupto.
6Btkc2	220-245	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura en bloques angulares moderados medios. Abundantes nódulos de tamaño gravas gruesas. Nódulos de carbonato de calcio redondeados, subangular-esferoidal verticales con revestimientos de manganeso, definiendo un crecimiento concéntrico. El núcleo es un nódulo redondeado. Muchas manchas de color negro, (precipitados de manganeso formando acumulaciones). Reacción al HCl alta. Hay porosidad vesicular. Límite con la capa inferior gradual.
6Btkc3	245-265	Color rojo (2,5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura prismática de tamaño medio. Frecuentes nódulos de carbonatos de calcio (aprox 15%) de tamaño grava media y formas redondeadas-esferoidales, algunos en disposición vertical y otras

		horizontalmente. Hay frecuentes manchas negras muy finas. Dentro de los agregados aparecen acumulaciones de carbonato de calcio de tamaño gravas finas. Alta reacción al HCl. Hay revestimientos de arcilla. Capa, aparentemente, más roja que la subyacente. Termina en una línea de nódulos de carbonato de calcio.
7Btg1	265-400	Color rojo (2,5YR 4/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4,5/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura prismática entre media y gruesa. Algunos (muy pocos) nódulos de carbonato de calcio de tamaño gravas gruesas. Presencia de concreciones calcáreas que ocupan algunas grietas verticales. Se ven láminas verticales de precipitados de carbonatos de calcio que se rompen fácilmente en fragmentos más pequeños. Muchas manchas decoloradas verticales de varias decenas de cm de largo y anchos variables (aproximadamente 20 cm) de color gris verdoso claro (Gley 1 7/10Y) en seco. Frecuentes manchas de manganeso en las caras de los agregados. Acumulaciones de manganeso en los canales de los poros. Algunas caras decoloradas los agregados. Reacción al HCl nula, tanto en la tierra roja como las vetas grises. Esta capa termina en una alineación de nódulos de carbonato de calcio (fisonomía de línea de nódulos de tamaño piedras entre pequeñas y medianas). Límite del horizonte ligeramente ondulado, y abrupto la línea de nódulos.
8Btg2	400-460	Color marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo y amarillo rojizo (7,5 YR 6/6) en seco. Presencia de caras decoloradas de color entre rosa (7,5 YR 7/3) y gris verdoso claro (Gley 8/10Y). Textura franco-arcillo-limosa. Estructura en bloques subangulares Moderada acumulación de nódulos de carbonato de calcio en los primeros 3-4 cm del horizonte. Manchas de manganeso muy frecuentes y revestimientos de arcilla. Es muy compacto y extremadamente duro. Se aprecia porosidad vesicular. Reacción al HCl muy alta. Límite con el horizonte inferior gradual.
8Btg3	460-550	Color marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura prismática de medida media y grande. Manchas de color gris verdoso claro (Gley 7,5/10Y) presente entre el 20 y 50% de los agregados. Sin presencia de concreciones de carbonato de calcio. Algunos revestimientos de arcilla en las caras de los agregados de color rojo 2,5 YR 4/6. Acumulaciones de manganeso en las caras de los agregados y en el interior de los poros de color 2,5 YR 3/1. Reacción al HCl alta. Límite gradual.

9Btg4	550-720	Color marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 6/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura prismática con prismas muy grandes. Hasta un 20% de las caras de los agregados tienen color gris verdoso claro (Gley 7,5/10Y). Presencia de algunos nódulos de carbonato de calcio. Elementos estructura muy grandes con menos superficies decoloradas. Reacción al HCl alta.
9Btg5	720-820	Color rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y entre rojo amarillento y amarillo rojizo (5YR 5,5/6) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura prismática con prismas muy grandes. Horizonte ligeramente húmedo, muy compacto y extremadamente firme. Porosidad vesicular. Presencia de cutanes en los poros muy gruesos. No tiene nódulos. Manchas de manganeso, mayoritariamente en los poros. Reacción HCl mediana. Hay canales rellenos de material más rojo. Límite con la capa inferior claro y liso.
10C	820-835	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y entre rojo amarillento y amarillo rojizo (5YR 5,5/6) en seco. Textura franco-limosa. Está ligeramente litificado pero se deshace completamente en el agua. Se observan canales. Presencia de nódulos de carbonato de calcio de unos 4 cm de diámetro de forma redondeada que en el interior son más rojos (color 10R 4/6 y 10R 3/1). Reacción al HCl alta. El límite inferior es claro.
11Btgkc	835-855	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6). Textura arcillosa. La estructura es granular moderada fina. Hay concreciones (nódulos alargados de carbonato de calcio) muy duras de hasta 1 cm de diámetro, muy cristalinas y de distribución irregular. Hay pequeños nódulos de manganeso y muchos de revestimientos de arcilla en los canales de los poros. Reacción al HCl muy alta.
12Btikc <i>L = side</i>	855-930	Color marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5 YR 5/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura prismática muy definida de tamaño medio. Matriz sin reacción al HCl y nódulos con reacción al HCl muy alta. Los nódulos de carbonato de calcio presentan una distribución irregular y tienen forma redondeada. También hay nódulos que tienen un núcleo de material rojo de hasta 4 cm de diámetro y de forma arrionada. Se observan caras de deslizamiento de varios cm con una inclinación de 10-20°. En las caras de los prismas hay revestimientos de color rojo (2,5 YR 4/6) muy frecuentes. Hay nódulos de manganeso de hasta 4-5 mm de diámetro. Límite con el horizonte inferior gradual.
12Btig1	930-1135	Color marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura prismática muy grande. Revestimientos de carbonato de calcio dentro de las grietas, en algunos casos engloban material rojo. La matriz no reacciona al HCl. Manchas de

		manganeso de color gris muy oscuro (5 YR 3/1) de más de 1 cm. Nódulos de manganeso de 4 mm de diámetro. Caras de deslizamiento de diferentes grados de inclinación. Revestimientos de arcilla en los canales de las caras. Hay algunas vetas de color gris verdoso claro (Gley 1 8/5GY). No hay nódulos de carbonato de calcio. Limite, con el horizonte inferior, gradual.
12Btig2	1135-1215	Color rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo y rojo (2,5YR 5/6) en seco. Algunos agregados con las caras de color gris verdoso claro (Gley 1 8/10GY) y rojo oscuro (2,5 YR 3/6) en el interior de los agregados. Textura arcillosa. Estructura muy fuerte en bloques angulares de tamaño grande, con caras de deslizamiento que interceptan bloques angulares. No hay elementos gruesos. Manchas de manganeso frecuentes en las caras de los agregados, de más de 15 mm y color negro (5 YR 2,5/1). En el interior de los agregados las manchas de manganeso son muy abundantes y de más de 10 mm. Reacción al HCl inapreciable. Argilanes frecuentes. Pocos nódulos de manganeso (<2%). Límite inferior gradual y liso.
13Bt	1215-1255	Color rojo (2,5 YR 4/6) en húmedo y rojo (2,5 YR 4/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura fuerte en bloques subangulares de tamaño grande. No hay elementos gruesos. Manchas de manganeso frecuentes de más de 10 mm, asociadas a las caras elementos estructura de color negro (2,5 YR 2,5/1). Reacción al HCl inapreciable. Muy compacto, friable, Argilanes poco numerosos localizados en los revestimientos. Pocos nódulos de manganeso (<2%) de consistencia blanda. Límite inferior gradual y plano.
13Bti	1255-1415	Color rojo (10R 4/6) en húmedo y rojo (10R 4/7) en seco. Textura arcillosa. Estructura moderada en bloques subangulares de tamaño medio. Muy pocos elementos gruesos de sílice. Manchas de manganeso abundantes (20-50%) de tamaño variable, pequeñas y grandes de color negro (2,5 YR 2,5/1). Reacción al HCl inapreciable. Muy compacto, friable. Arcilanes frecuentes, localizados en los revestimientos. Presencia de caras de deslizamiento asociadas a los elementos estructura. Pocos nódulos de manganeso (<2%) de consistencia blanda. Límite inferior contacto lítico.
13R	>1415	Roca caliza de consistencia dura. La superficie de la roca es suave debido a los procesos de disolución.

## Resultados

**Tabla 4.1.** Contenido en carbono orgánico (g/kg) y pH 1:2,5 con agua y KCl 1M.

Prof. (cm)	CO	pH H <sub>2</sub> O	pH KCL
0-25	9,6	8,5	7,5
25-45	6,2	8,4	7,3
45-70	4,5	8,5	7,5
70-110	1,7	8,6	7,4
110-130	0,9	8,5	7,4
130-140	1,0	8,3	7,2
140-220	1,5	8,5	7,5
220-245	1,0	8,4	7,4
245-265	0,0	8,5	7,3
265-400	0,0	8,3	7,0
400-460	0,0	8,6	7,5
460-550	0,0	8,5	7,4
550-720	0,0	8,7	7,4
720-820	0,0	8,2	7,3
820-835	0,0	8,9	7,7
835-855	0,0	8,6	7,4
855-930	0,0	8,4	7,2
930-1135	0,0	8,3	6,7
1135-1215	0,0	8,3	6,4
1215-1255	0,0	8,3	6,4
1255-1415	0,0	8,3	6,4

**Tabla 4.2.** Composición granulométrica de la tierra fina, contenido en carbonato cálcico equivalente (CCE) y agua retenida a un nivel de succión equivalente a 1,5 MPa (g/kg).

Prof. (cm)	Arenas	Limos	Arcillas	CCE	H (1,5 MPa)
0-25	85,5	603,5	310,9	25,8	102,0
25-45	46,0	515,2	438,9	13,0	134,7
45-70	102,0	547,4	350,6	188,6	113,9
70-110	147,7	466,1	386,2	190,6	119,6
110-130	241,1	353,4	405,5	229,0	123,6
130-140	50,6	379,2	570,2	28,0	167,4
140-220	90,7	503,3	406,0	381,0	117,7
220-245	93,0	485,5	421,5	268,6	132,5
245-265	118,6	398,0	483,4	58,1	152,9
265-400	39,0	499,0	461,9	1,2	149,5
400-460	47,4	560,3	392,2	328,7	131,1
460-550	42,9	458,2	498,9	248,7	166,1
550-720	11,9	529,0	459,1	254,7	156,8
720-820	14,4	416,7	568,9	70,0	203,2
820-835	272,9	447,4	279,7	342,1	107,2
835-855	84,1	362,8	553,0	40,7	180,4
855-930	71,5	333,8	594,7	5,8	196,9
930-1135	76,8	317,3	605,9	0,0	200,8
1135-1215	63,2	361,8	575,0	0,0	188,9
1215-1255	37,8	403,6	558,6	0,0	199,5
1255-1415	132,1	278,1	589,8	0,0	189,6

**Tabla 4.3.** Composición mineral de la tierra fina (< 2mm; g/kg). Cuantificación realizada mediante DRX.

Prof. (cm)	Calcita	Cuarzo	Feldespatos-K	Plagioclasas	Filosilicatos
0-25	38	207	60	37	659
25-45	25	166	16	75	719
45-70	194	74	7	20	705
70-110	226	103	7	30	634
110-130	177	79	5	28	711
130-140	32	107	3	51	807
140-220	446	32	7	17	498
220-245	211	44	6	16	724
245-265	82	58	24	18	818
265-400	6	105	10	23	855
400-460	432	52	6	19	491
460-550	327	38	3	17	615
550-720	375	65	8	10	542
720-820	104	52	16	5	823
820-835	368	66	10	20	536
835-855	103	101	13	4	779
855-930	47	64	7	9	873
930-1135	0	96	18	16	869
1135-1215	0	104	11	17	868
1215-1255	0	107	11	27	855
1255-1415	0	75	11	59	854

**Tabla 4.4.** Distribución de los minerales de arcilla presentes en la fracción de < 0,002 mm.  
 IS (R3 0,95): Interestratificado de illita-esmectita dispuestas de una forma regular, con una proporción illita:esmectita 95:5.  
 IS (R0 0,6): Interestratificado de illita-esmectita dispuestas al azar, con una proporción illita:esmectita 60:40.

Prof. (cm)	Illita	IS (R3 0.95)	IS (R0 0.6)	Clorita	Caolinita
0-25	438	375	63	63	63
25-45	444	389	56	56	56
45-70	429	357	71	71	71
70-110	425	350	75	75	75
110-130	375	375	100	75	75
130-140	415	390	73	49	73
140-220	444	356	67	67	67
220-245	476	310	95	48	71
245-265	391	348	130	43	87
265-400	435	261	174	43	87
400-460	514	257	143	29	57
460-550	444	306	139	56	56
550-720	387	323	161	65	65
720-820	429	357	71	71	71
820-835	417	306	139	56	83
835-855	467	267	133	33	100
855-930	469	250	156	0	125
930-1135	429	321	143	0	107
1135-1215	367	333	200	0	100
1215-1255	333	333	233	0	100
1255-1415	381	286	191	0	143

**Tabla 4.5.** Composición elemental de la tierra fina (g/kg) y relación Si/Al. La cuantificación elemental se ha realizado sobre muestras de tierra fina pulverizada mediante microanálisis por espectrometría de la dispersión de energías de rayos X (XFlash Detector 4010, Bruker AXS acoplado a un microscopio de barrido electrónico Hitachi S-3400N).

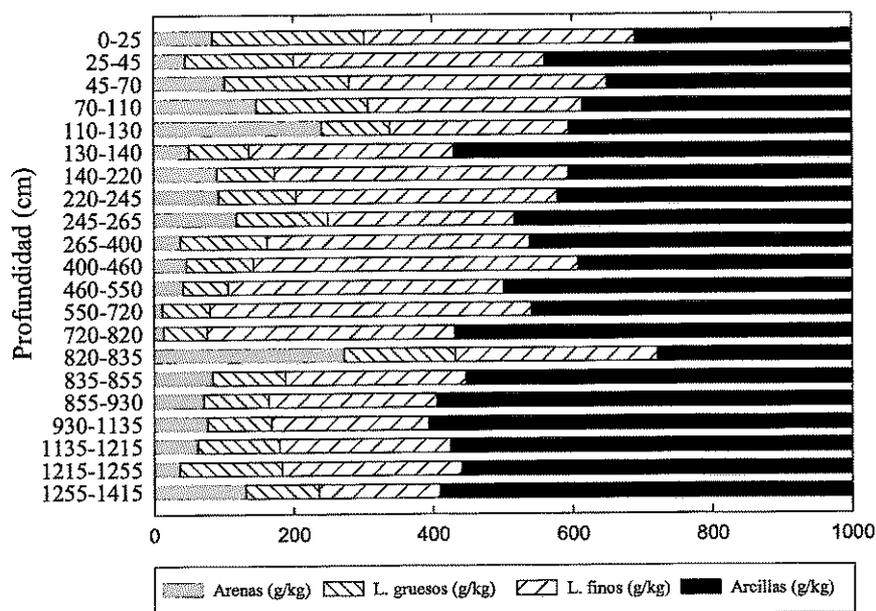
Prof. (cm)	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Si/Al
0-25	290	101	73	18	9	39	2,9
25-45	265	107	81	15	10	41	2,5
45-70	251	107	78	94	12	40	2,3
70-110	259	119	81	73	13	39	2,2
110-130	255	120	81	67	12	40	2,1
130-140	276	124	88	15	13	41	2,2
140-220	207	95	66	199	11	35	2,2
220-245	233	106	74	132	12	38	2,2
245-265	240	120	80	37	12	41	2,0
265-400	266	114	88	9	10	40	2,3
400-460	217	93	67	167	11	37	2,3
460-550	228	105	69	126	12	41	2,2
550-720	236	104	69	129	13	39	2,3
720-820	255	118	83	44	13	44	2,2
820-835	224	103	72	159	12	35	2,2
835-855	250	117	77	41	11	42	2,1
855-930	263	122	83	14	9	41	2,2
930-1135	256	118	86	6	9	38	2,2
1135-1215	276	122	85	7	10	40	2,3
1215-1255	285	120	86	6	11	39	2,4
1255-1415	249	117	83	6	8	34	2,1

**Tabla 4.6.** Composición elemental de la tierra fina (g/kg). La cuantificación elemental se ha realizado sobre tierra fina atacada con *aqua regia* en un digestor de microondas modelo MARS (CEM, Vertex) y determinada mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

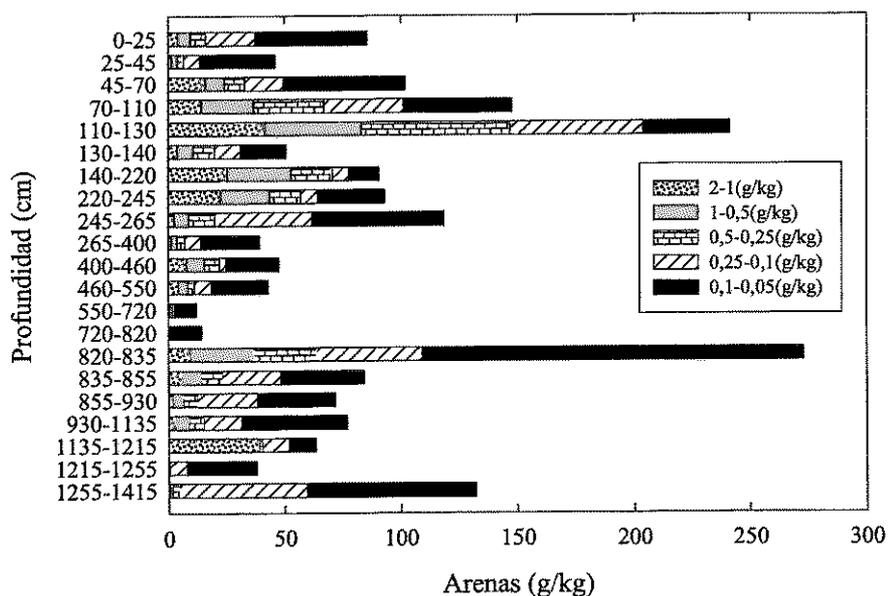
Prof. (cm)	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na
0-25	61,0	35,9	16,3	8,1	16,3	1,0
25-45	86,4	46,3	10,4	10,3	22,8	1,3
45-70	67,8	35,9	84,3	9,5	17,9	1,1
70-110	69,6	37,1	84,7	9,2	17,5	1,1
110-130	70,1	37,4	105,5	9,0	17,8	1,0
130-140	83,8	43,9	15,5	10,8	23,5	1,4
140-220	64,0	31,8	158,2	9,2	17,5	1,0
220-245	70,5	35,7	111,9	9,5	18,7	1,1
245-265	87,1	44,3	28,3	9,6	22,0	1,2
265-400	89,8	47,9	4,3	10,0	24,4	1,2
400-460	61,5	32,1	140,1	9,4	16,7	1,3
460-550	74,2	38,1	109,5	10,8	21,0	1,2
550-720	79,0	38,2	111,9	10,8	22,7	1,4
720-820	96,4	49,4	35,1	12,5	25,9	1,6
820-835	52,0	26,4	141,8	7,2	14,0	0,9
835-855	93,7	47,1	22,3	9,5	23,1	1,2
855-930	100,8	49,7	8,3	9,2	23,0	1,2
930-1135	99,6	59,7	2,6	8,9	23,3	1,1
1135-1215	93,2	48,3	3,3	9,5	23,5	1,2
1215-1255	88,6	46,8	3,5	9,7	21,1	1,1
1255-1415	93,0	47,6	2,4	7,9	20,3	1,0

**Tabla 4.7.** Composición en elementos traza de la tierra fina (mg/kg). La cuantificación elemental se ha realizado sobre tierra fina atacada con *aqua regia* en un digestor de microondas modelo MARS (CEM, Vertex) y determinada mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

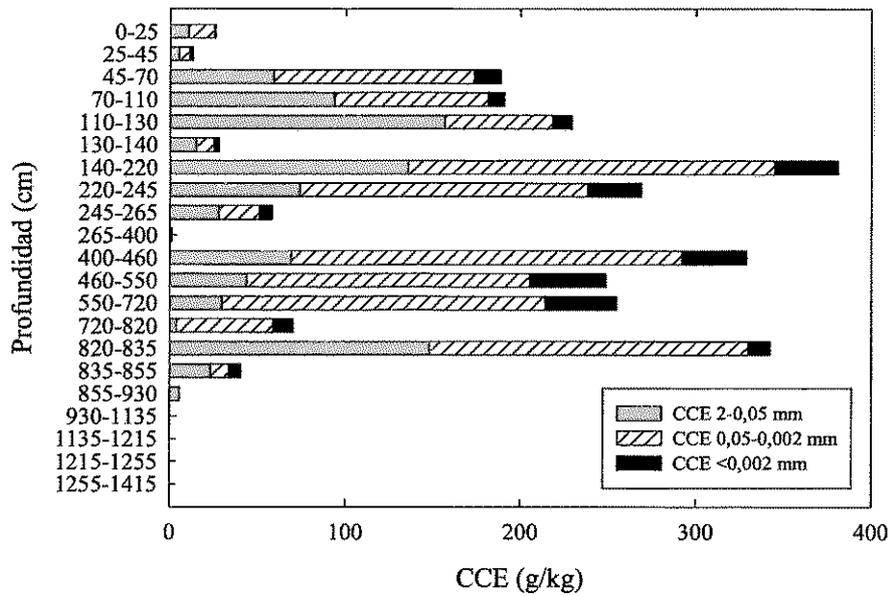
Prof. (cm)	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Ba	Sr	Ti	V
0-25	65,0	22,7	761,4	35,5	26,8	84,5	269,7	95,1	1006,9	82,6
25-45	84,2	23,7	817,7	45,9	25,2	95,4	378,2	91,0	1085,9	114,1
45-70	64,0	17,0	564,7	33,2	19,2	70,2	279,1	156,1	944,8	84,2
70-110	65,5	17,1	628,6	33,5	20,1	68,7	256,5	155,2	980,6	88,0
110-130	69,6	16,5	741,3	35,2	19,6	65,7	246,6	207,3	912,6	88,3
130-140	99,9	20,4	829,8	49,3	24,4	87,4	358,1	103,4	1079,5	121,1
140-220	57,7	16,2	514,2	28,2	15,3	62,2	234,0	157,9	924,3	80,8
220-245	65,4	18,0	591,5	33,5	16,3	69,3	256,6	167,9	1013,7	90,0
245-265	83,3	22,5	926,5	45,2	24,6	84,1	303,5	102,9	1078,3	111,7
265-400	82,6	23,5	983,4	45,5	25,5	88,1	354,6	85,9	1123,3	119,1
400-460	58,3	19,2	603,7	39,8	19,7	71,8	242,8	167,6	897,0	78,8
460-550	64,8	20,8	665,7	34,4	17,0	76,4	263,6	184,9	909,7	90,0
550-720	68,0	20,2	771,6	35,2	17,6	78,2	317,4	206,6	1063,3	98,6
720-820	82,8	25,7	1110,4	46,9	27,7	100,9	364,9	143,7	1156,2	120,4
820-835	49,8	14,4	523,5	26,9	12,6	55,8	188,6	144,6	899,7	68,1
835-855	88,4	24,3	799,6	45,9	23,0	90,3	293,5	104,8	1123,9	110,8
855-930	95,8	22,0	704,9	47,0	20,9	89,8	300,1	88,1	1120,9	123,1
930-1135	101,0	24,0	758,0	48,1	25,3	99,1	278,2	83,6	1194,0	132,0
1135-1215	99,1	23,2	1019,6	47,5	25,0	90,7	313,5	90,7	1127,9	122,1
1215-1255	88,5	23,7	945,3	46,9	22,9	87,7	290,8	82,5	1255,4	119,3
1255-1415	95,1	21,5	1240,2	48,1	24,9	88,7	268,0	77,6	1326,4	114,0



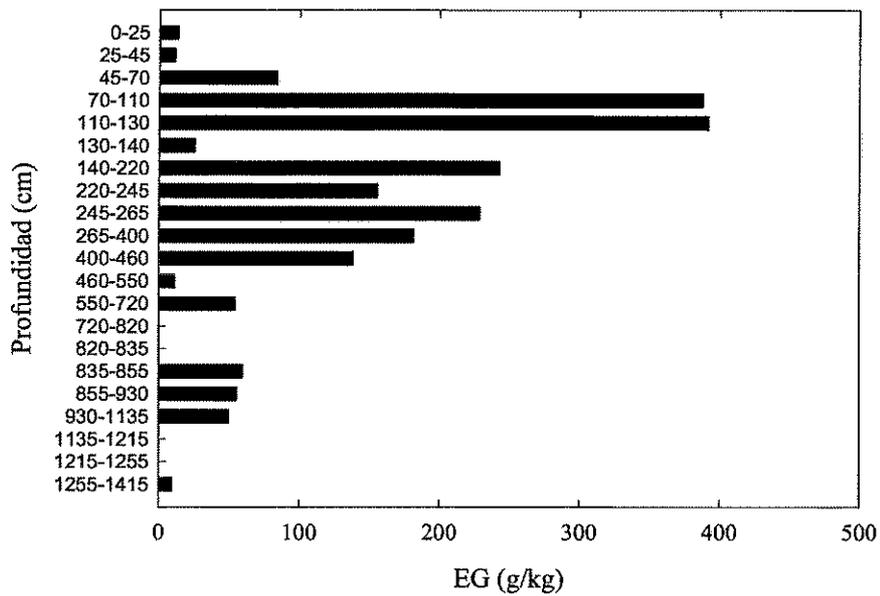
**Figura 4.1.** Distribución de las fracciones granulométricas de la tierra fina (arenas: 2-0,05 mm; limos gruesos: 0,05-0,02 mm; limos finos: 0,02-0,002 mm y arcillas: <0,002 mm).



**Figura 4.2:** Distribución de las distintas fracciones de arenas a lo largo del perfil.

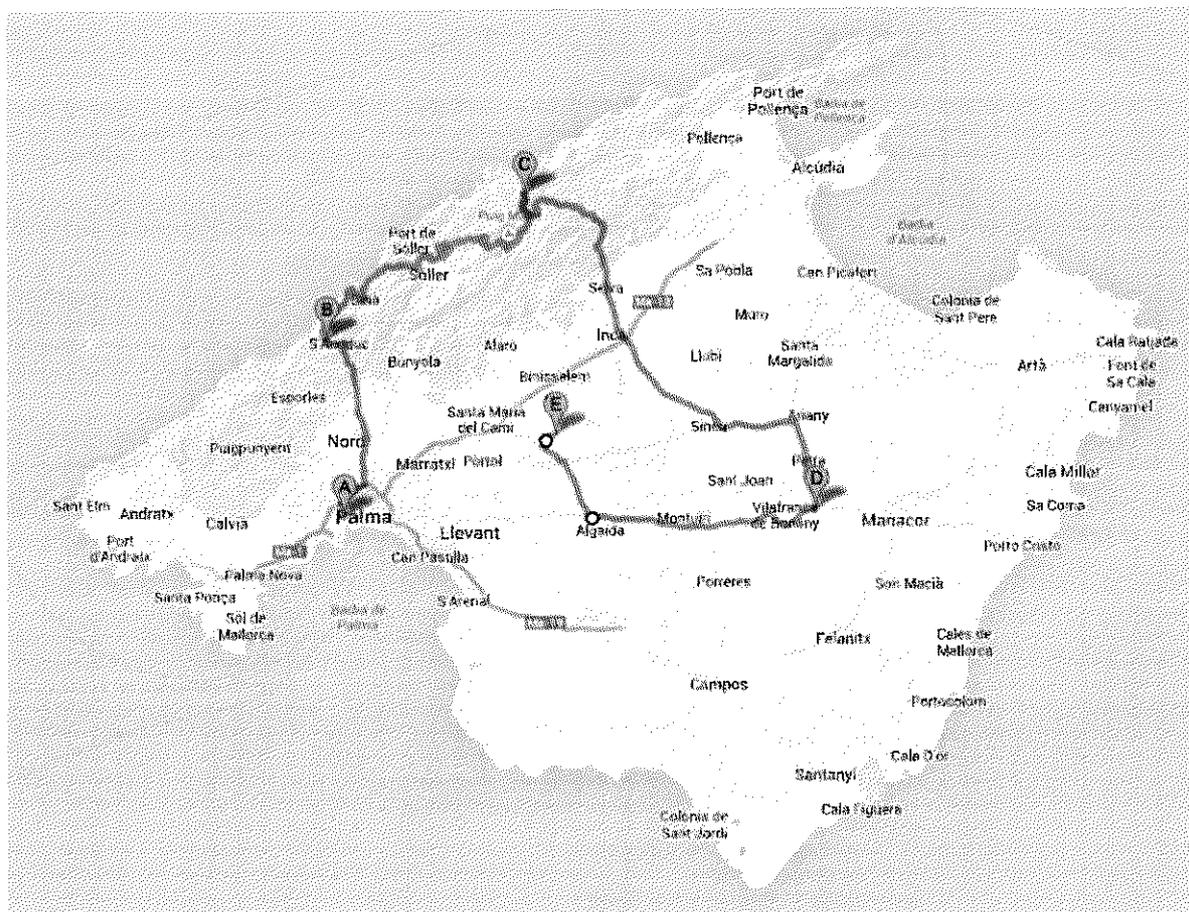


**Figura 4.3.** Contenido en Carbonato Cálculo Equivalente de las distintas fracciones granulométricas de la tierra fina.



**Figura 4.4.** Contenido en elementos gruesos, constituidos por concreciones calcáreas de distintas morfologías y tamaños.

## Itinerario 2



A: Salida desde Palma

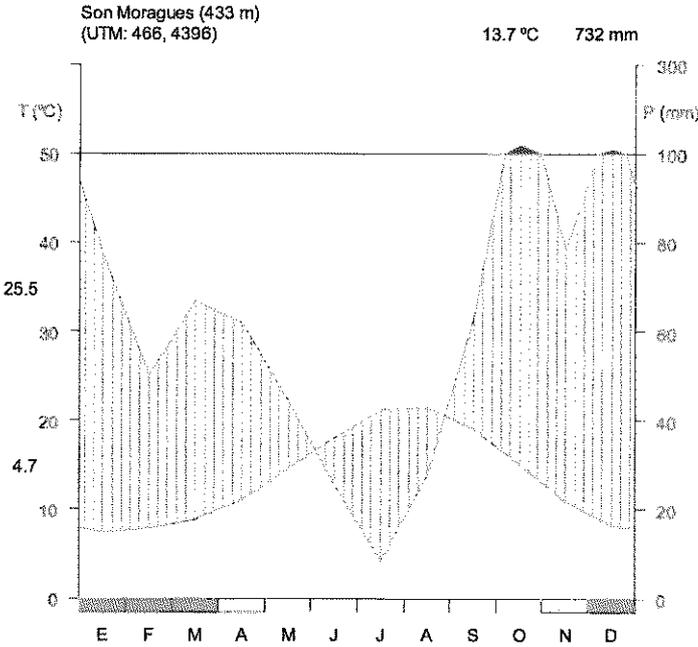
B: Visita 1: Suelos de terrazas destinadas a cultivos agrícolas

C: Visita 2: Suelos desarrollados en ambientes cársticos

D: Visita 3: Manejo del suelo dirigido a la conservación del agua.

E: Visita 4: Gestión agrícola de los suelos poco profundos y con horizontes petrocálcicos.

**Visita 1: Suelos de terrazas destinadas a cultivos agrícolas**



**Figura 5.1.** Climograma de la zona de Son Moragues (Valldemossa)

## Visita 2: Suelos desarrollados en ambientes cársticos

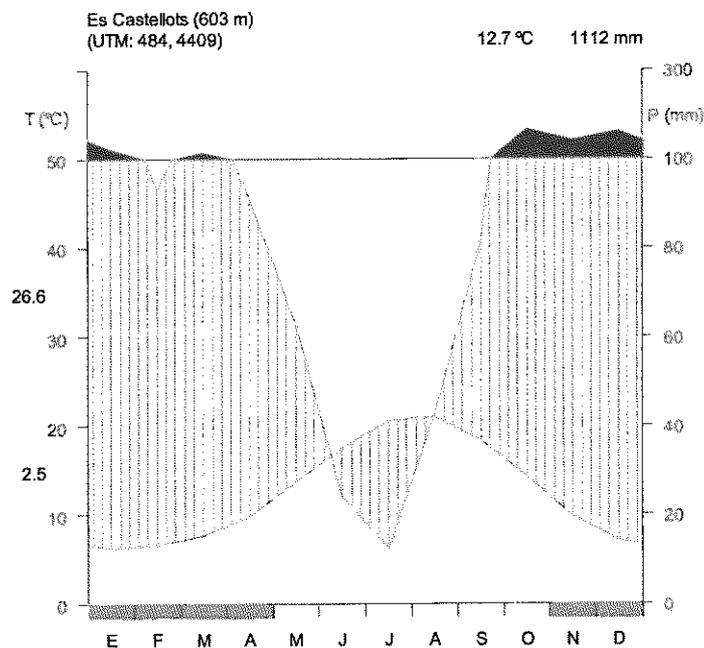


Figura 6.1. Climograma de la zona de Es Castellots (Escorca).

### Descripción del perfil Ma265

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

<b>Fecha:</b> 29/03/2012		<b>Perfil:</b> Ma265
<b>Municipio:</b> Escorca.		
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 484328 E	<b>Latitud:</b> 4409435 N	<b>Altitud:</b> 258 m.
<b>Localización:</b> Dolina situada al suroeste de los montículos denominados 'Es Castellots'.		
<b>Afloramientos de roca:</b> Abundantes.		
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Pocas gravas y piedras de forma subangular.		
<b>Costras superficiales:</b> No.	<b>Grietas:</b> No.	

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-15	Color marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/4) en seco. Textura franco-limosa. Sin elementos gruesos. Estructura granular. Consistencia esponjosa. Muchas raíces medianas, finas y muy finas de <i>Smilax aspera</i> . Reacción al HCl inapreciable. Presencia de restos de carbón. Límite con el horizonte inferior claro.
Bw1	15-22	Color marrón (7,5YR 4/4) húmedo y marrón amarillento (10YR 5/6) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura granular. Sin elementos gruesos. Frecuentes raíces medianas, finas y muy finas de <i>Smilax aspera</i> . Reacción al HCl inapreciable. Abundantes restos de carbón. Límite con el horizonte inferior claro.
Bw2	22-70	Color marrón (7,5YR 4/4) húmedo y marrón amarillento (10YR 6/6) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura entre granular y bloques angulares. Sin presencia de elementos gruesos. Frecuentes raíces muy finas. Reacción al HCl inapreciable. Presencia de restos de carbón.

## VEGETACIÓN

Especies presentes: *Erica arborea* predominante con presencia de *Erica multiflora*, *Smilax aspera*, *Chamaerops humilis*, *Hypericum balearicum*, *Pistacea lentiscus*, *Selaginella denticulata*, *Olea europaea*, *Arum pictum*.

## OBSERVACIONES

Perfil abierto con azada a 1 m del sumidero.

## CLASIFICACIÓN

<b>WRB (2006):</b> Cambisol Háptico (Límico).
<b>SSS (2010):</b> (Typic Haploxerept).

## Resultados

**Tabla 6.1.** Características físico-químicas del perfil Ma265

Horizonte	A	Bw1	Bw2
Profundidad	0-15	15-22	22->70
Arenas (g/kg)	112	47	36
2-1 mm (g/kg)	0	0	0
1-0,5 mm (g/kg)	1	0	0
0,5-0,25 mm (g/kg)	4	1	0
0,25-0,1 mm (g/kg)	21	5	5
0,1-0,05 mm (g/kg)	86	40	31
Limos (g/kg)	709	654	685
0,05-0,02 mm (g/kg)	312	284	299
0,02-0,002 mm (g/kg)	397	370	386
Arcillas (g/kg)	179	299	279
CCE (g/kg)	0	0	0
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	6,1	6,2	6,5
pH KCl 1M (1:2,5)	4,7	4,5	4,4
CE 1:5 (dS/m)	0,055	0,039	0,029
Carbono orgánico (g/kg)	26,1	9,0	5,6
Nitrógeno total (g/kg)	1,4	0,8	0,6
C/N	18,9	11,5	9,8
P Olsen (mg/kg)	10,9	9,2	8,3
Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	-	1,23	1,56
Hm -33 kPa (g/kg)	-	232,1	220,2
Hm -1,5 MPa (g/kg)	86,0	111,5	104,9

**Tabla 6.2.** Composición elemental del perfil Ma265

Horizonte	A	Bw1	Bw2
Profundidad	0-15	15-22	22->70
Al (g/kg)	52,5	70,1	68,3
Ca (g/kg)	1,3	0,8	0,7
Fe (g/kg)	30,9	39,6	39,0
K (g/kg)	13,8	17,7	17,2
Mg (g/kg)	6,7	8,6	8,2
Na (g/kg)	0,8	1,0	1,0
P (mg/kg)	284	276	227
As (mg/kg)	17,4	21,3	21,1
B (mg/kg)	28,2	40,5	40,6
Cd (mg/kg)	0,24	0,18	0,22
Co (mg/kg)	13,3	14,5	14,4
Cr (mg/kg)	57,6	63,1	62,9
Cu (mg/kg)	12,0	14,8	15,5
Mn (mg/kg)	507	565	541
Ni (mg/kg)	29,3	33,2	32,1
Pb (mg/kg)	24,3	22,5	20,8
Zn (mg/kg)	63,0	67,0	63,8

**Descripción del perfil Ma266**

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

<b>Fecha:</b> 29/03/2012		<b>Perfil:</b> Ma266
<b>Municipio:</b> Escorca.		
<b>Polígono:</b> 3	<b>Parcela:</b> 14	<b>Recinto:</b> 1
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 484210 E	<b>Latitud:</b> 4409278 N	<b>Altitud:</b> 665 m.
<b>Localización:</b> Al sudeste de los montículos denominados 'Es Castellots'. Entre estos montículos i el 'Nuu de sa Corbata'.		
<b>Litología:</b> Calizas duras.		
<b>Edad estratigráfica:</b> Lias (Jurásico).		
<b>Afloraments de roca:</b> Abundants.		
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Gravas y piedras comunes.		
<b>Costras superficiales:</b> No.		<b>Grietas:</b> No.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

Horizonte	Prof, (cm)	Descripción
A	0-20	Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y marrón (10YR 4/3) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura granular compuesta. Sin elementos gruesos. Presencia de raíces finas y muy finas. Reacción al HCl inapreciable. Límite claro. Presencia de una capa de musgo en superficie.
Bw	20-45	Color marrón oliva (2,5 Y 4/4) en húmedo y marrón oliva claro (2,5Y 5/6) en seco. Textura arcilosa. Estructura entre angular y bloques angulares poco definidos con tendencia a una consistencia masiva. Presencia de gravas de naturaleza calcárea de forma subangular. No se observan raíces. Reacción al HCl apreciable. Límite abrupto con la roca subyacente.
R	>45	Roca caliza de consistencia dura.

## VEGETACIÓN

**Especies frecuentes:** *Ampelodesmos mauritanica*, *Urginea maritima*, *Olea europaea*, *Rosmarinus officinalis*, *Pistacia lentiscus*, *Selaginella denticulata*, *Ophioglossum lusitanicum*, *Asphodelus aestivus*, *Brachypodium retusum*.

## OBSERVACIONES

La profundidad del suelo es muy variable con numerosos afloramientos de roca.

## CLASIFICACIÓN

**WRSB (2006):** Phaeozem Epiléptico (Calcárico).

**SSS (2010):** Lithic Haploxeroll.

## Resultados

**Tabla 6.3.** Características físico-químicas del perfil Ma266

Horizonte	A	Bw
Profundidad	0-20	20-45
Arenas (g/kg)	131	104
2-1 mm (g/kg)	5	31
1-0,5 mm (g/kg)	21	27
0,5-0,25 mm (g/kg)	24	13
0,25-0,1 mm (g/kg)	39	16
0,1-0,05 mm (g/kg)	42	17
Limos (g/kg)	545	394
0,05-0,02 mm (g/kg)	135	85
0,02-0,002 mm (g/kg)	410	309
Arcillas (g/kg)	324	502
CCE (g/kg)	0,0	41,7
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	7,9	8,3
pH KCl 1M (1:2,5)	6,7	7,0
CE 1:5 (dS/m)	0,079	0,077
Carbono orgánico (g/kg)	36,1	11,4
Nitrógeno total (g/kg)	2,3	1,0
C/N	15,4	11,4
P Olsen (mg/kg)	79,1	76,8
Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	1,25	-
Hm -33 kPa (g/kg)	290,2	-
Hm -1,5 MPa (g/kg)	164,9	166,1
Extracto pasta saturada		
CE (dS/m)	0,338	0,204
pH	7,8	7,8
Hm (g/kg)	534	439

**Tabla 6.4.** Composición elemental del perfil Ma266

Horizonte	A	Bw
Profundidad	0-20	20-45
Al (g/kg)	81,4	96,7
Ca (g/kg)	6,8	22,1
Fe (g/kg)	43,5	48,8
K (g/kg)	15,5	17,2
Mg (g/kg)	9,9	11,9
Na (g/kg)	0,8	0,9
P (mg/kg)	548	283
As (mg/kg)	24,5	27,4
B (mg/kg)	53,4	61,5
Cd (mg/kg)	0,53	0,16
Co (mg/kg)	18,6	18,9
Cr (mg/kg)	85,3	96,7
Cu (mg/kg)	23,5	24,7
Mn (mg/kg)	878	699
Ni (mg/kg)	53,4	63,1
Pb (mg/kg)	32,0	22,3
Zn (mg/kg)	85,8	84,8

**Descripción del perfil Ma269**

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

<b>Fecha:</b> 24/04/2012		<b>Perfil:</b> Ma269
<b>Municipio:</b> Escorca		
<b>Polígono:</b> 4	<b>Parcela:</b> 41	<b>Recinto:</b> 88
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 484237 E	<b>Latitud:</b> 4409082 N	<b>Altitud:</b> 655 m.
<b>Localización:</b> Junto a la carretera que va a sa Calobra, a la altura del 'Nuu de sa Corbata'. A 1 m del perfil Ma269.		
<b>Litología:</b> Calizas duras.		
<b>Edat estratigràfica:</b> Lías (Jurásico)		
<b>Afloramientos de roca:</b> Dominantes.		
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Abundantes.		
<b>Síntomas de erosión:</b> La tierra fina sólo se encuentra en fisuras y concavidades protegidas.		
<b>Costras superficiales:</b> No.		<b>Grietas:</b> No.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0-35	Color marrón muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo i marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco. Textura franco-limosa. Estructura granular compuesta. Sin elementos gruesos. Raíces finas y muy finas muy abundantes. Reacción al HCl inapreciable. Límite con el horizonte inferior entre neto y gradual.
Bw	35-80	Color marrón oscuro (7,5YR 3/4) en húmedo y marrón fuerte (7,5YR 4/6) en seco. Textura franco-limosa. Estructura entre granular y bloques angulares poco definidos. Entre frecuentes y abundantes raíces muy finas, finas y medianas. Sin elementos gruesos. Reacción al HCl inapreciable.
R	>80	Roca caliza dura.

## VEGETACIÓN

**Espècies:** *Pistacea lentiscus*, *Rossmarinus officinalis*, *Cneorum triccocum*, *Hypericum balearicum*, *Olea europaea*, *Smilax aspera*, *Asphodelus aestivus*, *Amphelodesmos mauritanica*, *Brachypodium retusum*, *Euphorbia characias*. *Teucrium asiaticum*, *Urginea maritima*, *Rubia angustifolia*, *Rhamnus ludovici-salvatoris*.

## OBSERVACIONES

Se ha aprovechado un corte de carretera. La fisura donde se ha muestreado el suelo tiene una anchura de unos 10 cm en la parte superior (correspondiente al horizonte A) y entre 30 y 40 cm la parte inferior (correspondiente al horizonte Bw).

Estos suelos ocupan las fisuras entre las rocas. El resto de superficie del terreno está dominado por gravas, piedras y rocas constituyendo un Leptosol Nudilítico.

## CLASSIFICACIÓN

**WRSB (2006):** Phaeozem Léptico (Límico).

**SSS (2010):** Typic Haploxeroll (Lithic Haploxeroll).

## Resultados

**Tabla 6.5.** Características físico-químicas del perfil Ma269

Horizonte	A	Bw
Profundidad	0-35	35-80
Arenas (g/kg)	192,7	258,9
2-1 mm (g/kg)	1,7	2,4
1-0,5 mm (g/kg)	20,8	6,2
0,5-0,25 mm (g/kg)	50,2	11,5
0,25-0,1 mm (g/kg)	58,5	87,4
0,1-0,05 mm (g/kg)	61,5	151,4
Limos (g/kg)	562,2	612,0
0,05-0,02 mm (g/kg)	116,8	214,7
0,02-0,002 mm (g/kg)	445,4	397,3
Arcillas (g/kg)	245,1	129,1
CCE (g/kg)	0	0
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,0	8,2
pH KCl 1M (1:2,5)	7,0	6,9
CE 1:5 (dS/m)	0,14	0,07
Carbono orgánico (g/kg)	54,0	13,2
Nitrógeno total (g/kg)	4,0	1,2
C/N	13,5	10,8
P Olsen (mg/kg)	12,6	10,0
Hm -1,5 MPa (g/kg)	221,8	145,4

## Descripción del perfil Ma270

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

<b>Fecha:</b> 24/04/2012		<b>Perfil:</b> Ma270
<b>Municipio:</b> Escorca		
<b>Polígono:</b> 4	<b>Parcela:</b> 41	<b>Recinto:</b> 88
<b>Coordenadas UTM:</b> ETRS89 31 S		
<b>Longitud:</b> 484237 E	<b>Latitud:</b> 4409083 N	<b>Altitud:</b> 655 m.
<b>Localización:</b> Junto a la carretera que va a sa Calobra, a la altura del 'Nuu de sa Corbata'. A 1 m del perfil Ma269.		

<b>Litología:</b> Calizas duras.	
<b>Edat estratigràfica:</b> Lías (Jurásico)	
<b>Afloramientos de roca:</b> Dominantes.	
<b>Elementos gruesos en superficie:</b> Abundantes. Presencia de artefactos (fragmentos de cristal).	
<b>Síntomas de erosión:</b> La tierra fina sólo se encuentra en fisuras y concavidades protegidas.	
<b>Costras superficiales:</b> No.	<b>Grietas:</b> No.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0-20	Color marrón grisáceo muy oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo y marrón (7,5YR 4/2) en seco. Textura franca. Estructura granular compuesta. Pocos elementos gruesos. Raíces finas y muy finas abundantes. Reacción al HCl inapreciable. Límite con el horizonte inferior claro.
Bwkc	20-120	Color marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) con tendencia a marrón oliváceo (2,5Y 4/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura entre granular compuesta y bloques poco definidos. Abundantes nódulos de carbonato de calcio de forma irregular y tamaño mayoritario entre 2-4 cm. Raíces finas y muy finas entre frecuentes y abundantes. Reacción al HCl inapreciable.
R	>120	Roca caliza dura. Se observan algunos restos de nódulos de carbonato de calcio cimentados a la roca.

## VEGETACIÓN

**Especies:** *Pistacea lentiscus*, *Rossmarinus officinalis*, *Cneorum tricccom*, *Hypericum balearicum*, *Olea europaea*, *Smilax aspera*, *Asphodelus aestivus*, *Amphelodesmos mauritanica*, *Brachypodium retusum*, *Euphorbia characias*, *Teucrium asiaticum*, *Urginea maritima*, *Rubia angustifolia*, *Rhamnus ludovici-salvatoris*.

## OBSERVACIONES

Suelo situado a 1 m del perfil Ma269. Al igual que el anterior ocupa una fisura entre la roca.

## Resultados

**Tabla 6.6.** Características físico-químicas del perfil Ma270

Horizonte	A	Bwkc
Profundidad	0-20	20-120
Arenas (g/kg)	285,9	233,2
2-1 mm (g/kg)	8,9	9,8
1-0,5 mm (g/kg)	55,2	20,2
0,5-0,25 mm (g/kg)	56,1	23,6
0,25-0,1 mm (g/kg)	88,7	83,1
0,1-0,05 mm (g/kg)	77,0	96,5
Limos (g/kg)	484,2	559,2
0,05-0,02 mm (g/kg)	111,9	167,0
0,02-0,002 mm (g/kg)	372,4	392,2
Arcillas (g/kg)	229,9	207,6
CCE (g/kg)	0	0
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	7,8	8,4
pH KCl 1M (1:2,5)	6,9	7,1
CE 1:5 (dS/m)	0,13	0,08
Carbono orgánico (g/kg)	67,5	9,9
Nitrógeno total (g/kg)	3,9	0,9
C/N	17,2	11,4
P Olsen (mg/kg)	14,7	8,9
Hm -1,5 MPa (g/kg)	247,1	153,7

**Tabla 6.7.** Composición mineral de la tierra fina (< 2mm; g/kg). Cuantificación realizada mediante DRX

Perfil	Ma266	Ma266	Ma269	Ma269	Ma270	Ma270
Horizonte	A	Bw	A	Bw	A	Bwkc
Profundidad (cm)	0-20	20-45	0-35	35-80	0-20	20-120
Filosilicatos	81,0	80,0	86,3	77,1	88,2	90,8
Cuarzo	16,8	18,2	10,1	16,3	9,4	8,0
Feldespato-K	0,8	0,4	0,6	2,0	0,9	0,6
Plagioclasas	0,5	1,0	3,1	3,2	0,9	0,3
Paligorskita	0,9	0,5	-	0,4	-	0,3

**Tabla 6.8.** Distribución de los minerales de arcilla presentes en la fracción de < 0,002 mm.  
 IS (R3 0,95): Interestratificado de illita-esmectita dispuestas de una forma regular, con una proporción illita:esmectita 95:5.  
 IS (R0 0,8): Interestratificado de illita-esmectita dispuestas al azar, con una proporción illita:esmectita 80:20.  
 IS (R0 0,6): Interestratificado de illita-esmectita dispuestas al azar, con una proporción illita:esmectita 60:40.  
 IS (R1 0,9): Interestratificado de clorita-esmectita, con una proporción caolinita:esmectita 90:10.

Perfil	Ma266	Ma266	Ma269	Ma269	Ma270	Ma270
Horizonte	A	Bw	A	Bw	A	Bwkc
Profundidad (cm)	0-20	20-45	0-35	35-80	0-20	20-120
Illita dioctaédrica.	12,5	15,6	27,3	41,2	28,6	30
Caolinita	6,3	6,3	9,1	11,8	14,3	13,3
Clorita trioctaédrica	12,5	6,3	9,1	5,9	7,1	6,7
IS 0.95 R3	37,5	21,9	-	-	-	-
IS 0.8 R0	-	-	45,5	35,3	42,9	43,3
IS 0.6 R0	25	40,6	-	-	-	-
CS 0.9 R1	6,3	3,1	9,1	5,9	7,1	6,7

<b>Elementos gruesos en superficie: 10-15%.</b>	
<b>Síntomas d de erosión: No.</b>	
<b>Costras superficiales: No.</b>	<b>Grietas: No.</b>

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

<b>Horizonte</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Descripción</b>
Ap	0-20	Color marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y marrón grisáceo (10YR 5/2) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura granular. Elementos gruesos frecuentes (10-15%) constituidos por gravas de diferentes tamaños y algunas piedras pequeñas de formas subangulares y naturaleza calcárea. Muchos elementos gruesos son areniscas. Presencia de restos de conchas de caracoles. Reacción al HCl fuerte. Límite abrupto ondulado producido por el laboreo con cultivadores.
A	20-40	Color marrón grisáceo (10YR 5/2) en húmedo y entre marrón grisáceo y gris marrón claro (10YR 5,5/2) en seco. Textura arcillosa. Estructura granular con tendencia a masiva, muy compacta. Elementos gruesos frecuentes constituidos sobre todo por gravas finas y medianas de formas subangulares y naturaleza calcárea. Frecuentes raíces finas y muy finas. Presencia de restos de plástico de cultivos anteriores. Reacción al HCl fuerte. Límite con el horizonte inferior claro.
2Ab	40-60	Color marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y marrón grisáceo (10YR 5/2) en seco. Textura arcillosa. Consistencia masiva. Presencia de restos de conchas de caracoles. Reacción al HCl fuerte. Límite con el horizonte inferior claro.
2Bk1	60-70	Color entre marrón grisáceo y gris marrón claro (2,5Y 5,5/2) en húmedo y gris (2,5Y 6/1) en seco. Textura franco-arcillosa. Consistencia masiva. Reacción al HCl fuerte.
2Bk2	70-90	Color gris marrón claro (2,5Y 6/2) en húmedo y gris claro (2,5Y 7/1) en seco. Textura franco-arcillosa. Consistencia masiva. Reacción al HCl fuerte.
2C	90-150	Color amarillo pálido (5Y 8/2) en húmedo y blanco (5Y 8/1) en seco. Textura franco-limosa. Consistencia masiva. Reacción al HCl fuerte. Material margoso.

## VEGETACIÓN

La misma que la del perfil Ma280

## OBSERVACIONES

Este perfil se localiza en la parte baja de la parcela donde se ha abierto el perfil Ma280, situado en la parte alta.

La prospección de las capas superiores se ha realizado mediante la excavación con una azada y las inferiores mediante una barrena.

## CLASIFICACIÓN

<b>WRB (2006):</b> Calcisol Hipercálcico (Nóvico).
<b>SSS (2010):</b> Calcixerept.

## Resultados

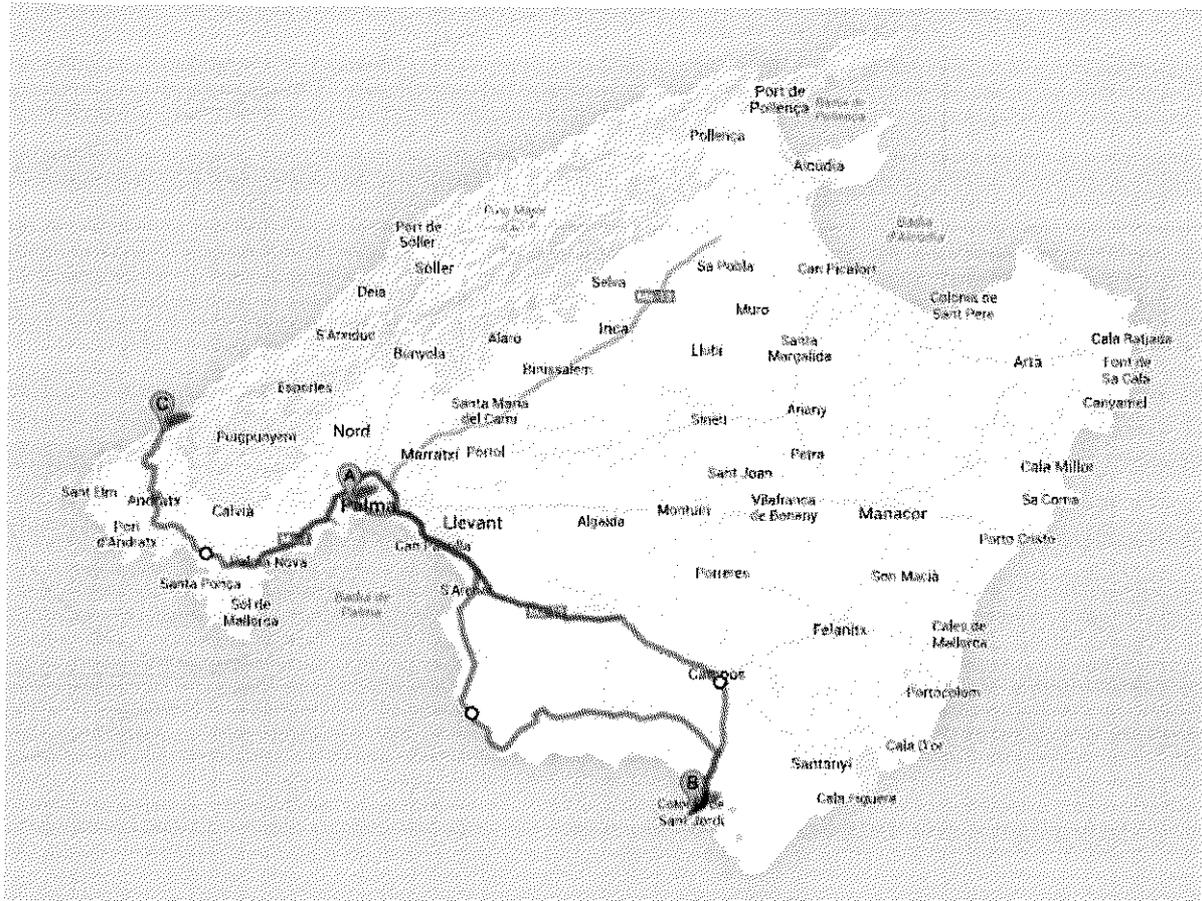
**Tabla 7.3:** Características físico-químicas del perfil Ma 281

Horizonte	Ap	A	2Ab	2Bk1	2Bk2	2C
Profundidad	0-20	20-40	40-60	60-70	70-90	90-150
Arenas (g/kg)	221	204	216	220	208	91
2-1 mm (g/kg)	12	13	11	30	18	5
1-0,5 mm (g/kg)	14	0	18	24	26	10
0,5-0,25 mm (g/kg)	22	24	24	30	37	16
0,25-0,1 mm (g/kg)	85	86	85	72	71	32
0,1-0,05 mm (g/kg)	88	82	78	64	55	28
Limos (g/kg)	408	391	344	344	472	665
0,05-0,02 mm (g/kg)	107	106	87	89	75	72
0,02-0,002 mm (g/kg)	301	285	257	292	397	593
Arcillas (g/kg)	371	405	440	399	320	244
CCE (g/kg)	168	160	145	277	498	593
Caliza activa (g/kg)	63,5	64,0	53,3	120,5	163,0	162,3
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,2	8,3	8,3	8,5	8,7	8,9
pH KCl 1M (1:2,5)	7,2	7,3	7,3	7,5	7,7	7,8
CE 1:5 (dS/m)	0,171	0,127	0,131	0,061	0,152	0,138
Carbono orgánico (g/kg)	6,7	6,5	4,8	3,5	3,6	1,9
P Olsen (mg/kg)	24,7	17,9	10,0	10,9	11,8	11,3
Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	1,33	1,49				
Hm -33 kPa (g/kg)	211,9	171,0				
Hm -1,5 MPa (g/kg)	134,7	155,3	160,8	151,0	117,1	90,1

**Tabla 7.4:** Composición elemental del perfil Ma281

Horizonte	Ap	A	2Ab	2Bk1	2Bk2	2C
Profundidad	0-20	20-40	40-60	60-70	70-90	90-150
Al (g/kg)	43,0	41,7	43,3	36,8	25,3	23,7
Ca (g/kg)	82,7	77,3	70,6	116,7	214,6	248,9
Fe (g/kg)	22,9	22,1	25,0	20,6	14,9	11,8
K (g/kg)	14,3	13,8	14,5	11,4	7,6	7,9
Mg (g/kg)	16,3	15,4	16,1	17,0	17,2	16,0
Na (g/kg)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
P (mg/kg)	472	405	277	164	144	181
As (mg/kg)	8,0	9,8	16,7	12,3	5,3	6,1
B (mg/kg)	48,7	49,3	50,0	44,2	30,7	33,9
Cd (mg/kg)	0,04	0,22	0,20	0,19	0,19	0,10
Co (mg/kg)	10,1	10,6	9,9	14,0	6,0	4,6
Cr (mg/kg)	57,1	56,4	56,1	51,3	36,1	30,7
Cu (mg/kg)	21,0	20,7	22,0	19,4	12,8	14,1
Mn (mg/kg)	750	866	695	1308	449	333
Ni (mg/kg)	30,5	31,0	30,8	33,0	17,0	15,3
Pb (mg/kg)	14,1	15,9	16,1	12,1	6,1	3,0
Zn (mg/kg)	51,2	52,1	53,9	43,4	29,6	28,4

## Itinerario 3



A: Salida de Palma

B: Visita 1: Suelos incipientes desarrollados en sistemas dunares y suelos fósiles asociados a estas formaciones.

C: Visita 2: Gestión de los suelos afectados por el fuego. Incendio de Andratx.

C	16-46	Color marrón muy pálido (10YR 7/3) en húmedo y marrón muy pálido (10YR 8/2) en seco. Textura arenosa. Sin estructura. Ausencia de elementos gruesos. Reacción al HCl muy fuerte. Límite con el horizonte inferior abrupto.
2Ab	46-85	Color gris marrón claro (10YR 6/2) en húmedo y gris claro (10YR 7/2) en seco. Textura franco-arenosa. Presencia de conchas de caracoles terrestres. Reacción al HCl muy fuerte. Numerosos restos orgánicos, muchos de ellos de aspecto fibroso, correspondientes a especies leñosas. Olor a sulfuroso. En la parte inferior de esta capa, a partir de 85 cm el color dominante es gris verdoso (Gley 6/10Y) en húmedo y desprende un intenso olor a sulfuroso. El límite con el horizonte inferior es claro.
2C	100-150	Color entre gris y gris claro (10YR 6,5/1) en húmedo y gris claro (10YR 7/1) en seco. Textura arenosa. Reacción al HCl muy fuerte.

## VEGETACIÓN

Especies presentes: *Arthrocnemum macrostachyum*, *Sarcocornia fruticosa*, *Sarcocornia perennis subsp. alpini*, *Inula crithmoides*.

En posiciones ligeramente elevadas (entre 10 y 20 cm) aparece *Limonium antoni-llorensii*.

## OBSERVACIONES

El nivel freático está a 55 cm.

La prospección de las capas superiores se ha realizado mediante la excavación con una azada y las inferiores mediante una barrena.

## CLASSIFICACIÓN

<b>WRB (2006):</b> Solonchak Hipersálico Gleyico (Areninóvico).
---

<b>SSS (2010):</b> Typic Aquisalid.
-------------------------------------

## Resultados

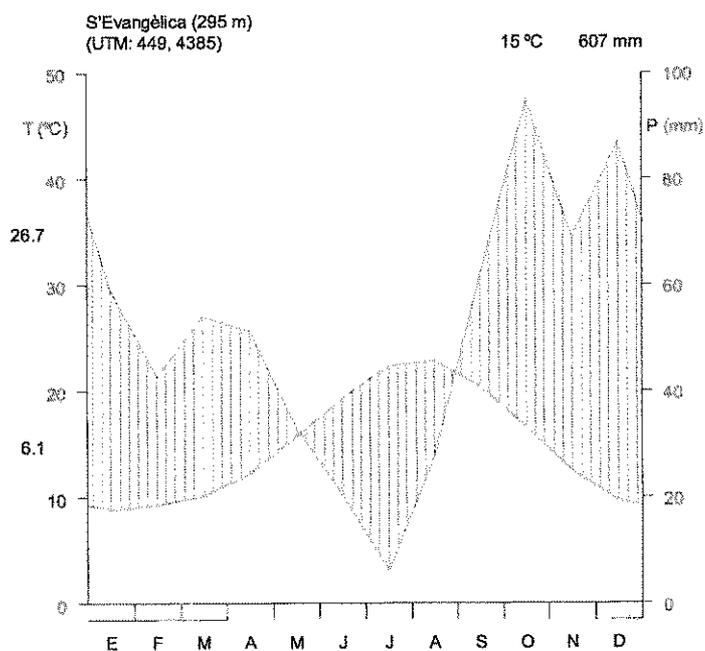
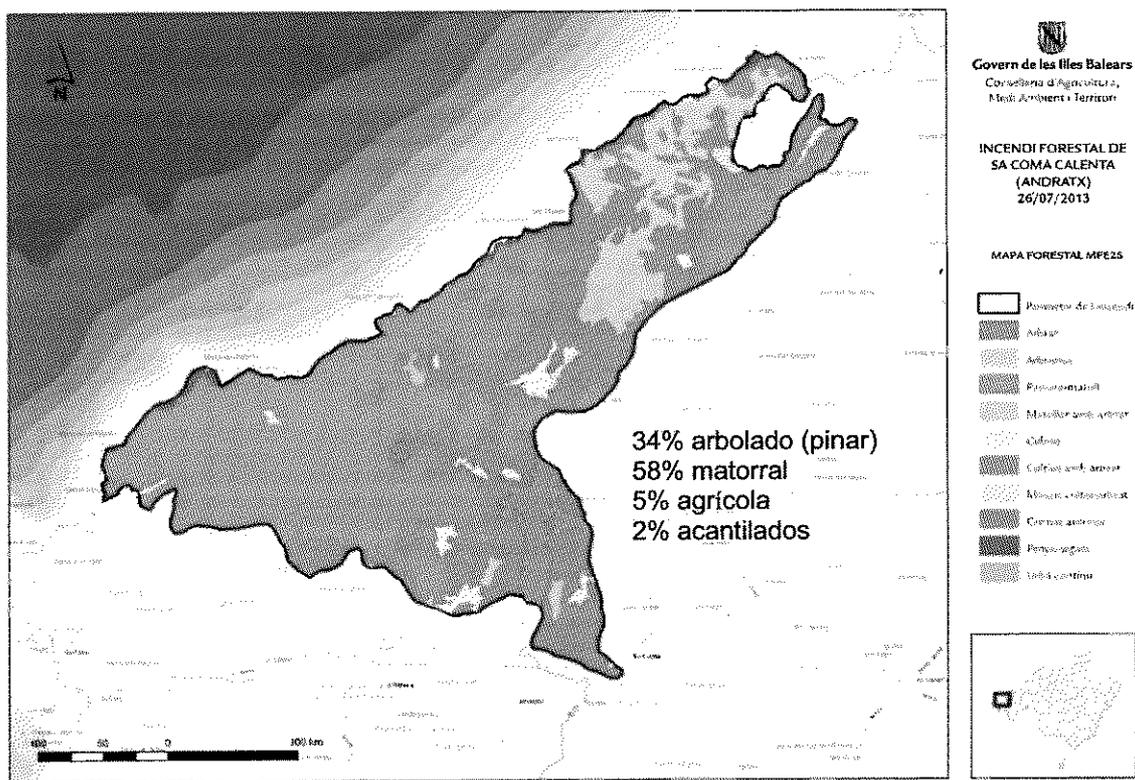
**Tabla 8.2.** Características físico-químicas del perfil Ma282.

Horizonte	A1	A2	C	2Ab	2C
Profundidad	0-1	1-16	16-46	46-100	>100
Arenas (g/kg)	727,5	874,9	951,4	298,9	825,7
2-1 mm (g/kg)	2,9	3,4	1,9	2,1	85,2
1-0,5 mm (g/kg)	67,5	66,3	103,4	26,1	161,0
0,5-0,25 mm (g/kg)	254,3	306,6	416,4	57,3	217,0
0,25-0,1 mm (g/kg)	378,6	488,2	425,8	132,3	335,0
0,1-0,05 mm (g/kg)	24,2	10,5	3,9	80,9	27,5
Limos (g/kg)	85,9	29,6	5,5	452,8	71,3
0,05-0,02 mm (g/kg)	1,8	0,8	0,0	63,6	9,1
0,02-0,002 mm (g/kg)	84,1	28,8	5,5	389,2	62,2
Arcillas (g/kg)	186,6	95,5	43,1	248,4	103,0
CCE (g/kg)	586,0	819,4	930,3	636,1	894,3
Caliza activa (g/kg)	63,9	68,3	51,3	131,0	108,6
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	8,7	8,7	9,0	8,2	8,6
pH KCl 1M (1:2,5)	8,7	8,7	9,0	8,1	8,6
CE 1:5 (dS/m)					
Carbono orgánico (g/kg)	10,1	4,4	2,8	23,9	8,5
Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )		1,18	1,22	0,81	
Hm -33 kPa (g/kg)		140,0	103,3	781,8	
Hm -1,5 MPa (g/kg)	101,5	46,5	22,8	199,5	39,7
Extracto pasta saturada <sup>(*)</sup>					
CE (dS/m)	208,0	147,5	80,0	122,2	104,1
pH	7,9	7,9	8,1	7,5	7,7
Hm (g/kg)	466,7	347,3	406,5	819,3	326,9

CCE: Carbonato Cálcico Equivalente; CE: Conductividad Eléctrica; P Olsen: fósforo extraído mediante el método Olsen; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico mediante saturación con acetato amónico; Hm: Humedad expresada en unidades de masa.

(\*) : Fecha muestreo: 7-9-2012.

## Visita 2: Gestión de los suelos afectados por el fuego. Incendio de Andratx.



**Figura 9.2.** Climograma de la zona de S'Evangèlica (Andratx)





*Handwritten signature or mark*

