

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Evolución temporal y espacial de  
las propiedades de los suelos bajo  
la influencia de especies vegetales  
en antiguos sistemas agrarios  
abandonados en la provincia  
de Alicante

**TESIS DOCTORAL**

ALUMNA: INÉS LLORET PÉREZ

DIRECTORES: MARÍA DESAMPARADOS SORIANO SOTO

VICENTE PONS MARTÍ

*Curso Académico: 2015-2016*

**VALENCIA, SEPTIEMBRE 2015**

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>7</b>
2.1. LOCALIZACIÓN .....	7
2.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA .....	9
2.2.1. Rasgos geológicos y estructurales .....	9
2.2.2. Geomorfología de las zonas adyacentes.....	11
2.2.3. Morfología de las laderas de la cuenca.....	13
2.3. EDAFOLOGÍA.....	14
2.4. CLIMATOLOGÍA.....	15
2.4.1. Datos climáticos de estaciones próximas a la zona de estudio .....	16
2.4.1.1. Temperaturas .....	16
2.4.1.2. Precipitaciones.....	17
2.4.1.3. Torrencialidad.....	18
2.4.1.4. Clasificación climática de Thornthwaite.....	19
2.4.1.5. Clasificación climática Soil Taxonomy .....	21
2.4.2. Datos climáticos de la estación experimental en Castell de Castells.....	21
2.4.2.1. Clasificación climática de Thornthwaite.....	21
2.4.2.2. Temperaturas .....	22
2.4.2.3. Precipitaciones.....	23
2.4.2.4. Régimen de humedad del suelo.....	23
2.5. VEGETACIÓN.....	24
2.5.1. Biogeografía y series de vegetación .....	24
2.5.2. Diversidad florística de los matorrales existentes en la zona de estudio .....	26
2.5.3. Descripción de la vegetación en los puntos de muestreo.....	30
2.6. USOS DEL SUELO Y ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO .....	35
2.6.1. Bancales de cultivo abandonados en la zona de estudio.....	36

<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2. FASE DE CAMPO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.1. Obtención de datos climáticos.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.2. Toma de muestras de suelo .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.2.1. Muestreo del suelo en los perfiles de suelo .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.2.1.1. Muestreo de los horizontes de los perfiles de suelo.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.2.1.2. Muestreo superficial de suelo inalterado en los perfiles de suelo:             Determinación de la fauna edáfica.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.2.2. Muestreo del suelo en los diferentes microambientes.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2.2.1. Muestreo superficial y subsuperficial de suelo alterado en los diferentes             microambientes.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2.2.2. Muestreo superficial de suelo inalterado en los diferentes             microambientes: Determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y             porosidad del suelo .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.2.2.3. Muestreo superficial y subsuperficial de suelo inalterado en los             diferentes microambientes: Determinación de la fauna edáfica .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA DE LABORATORIO .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.1. Preparación de las muestras de suelo alteradas en el laboratorio .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2. Determinaciones analíticas realizadas en las muestras de suelo en el     laboratorio .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2.1. Métodos físicos.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.2.1.1. Determinación del color de un suelo (Tabla de Munsell).....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.2.1.2. Determinación de la humedad gravimétrica (Reynolds, 1970).....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.2.1.3. Determinación de las curvas de retención hídrica (Richards, 1947).....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.2.1.4. Determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y             porosidad del suelo (Richards, 1947).....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.2.1.5. Determinación de la textura (Equipo Coulter).....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.2.1.6. Estabilidad estructural de macroagregados. Test de la gota (Imeson y             Vis, 1984).....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.2.1.7. Determinación de la microagregación (Edwards y Bremner, 1967) .....</b>	<b>61</b>

<b>3.3.2.2. Métodos químicos .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.2.2.1. Determinación del pH (Richards, 1954) .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.2.2.2. Determinación de la conductividad eléctrica (Richards, 1954) .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.2.2.3. Determinación de los carbonatos totales (Método del calcímetro de Bernard, 1965) .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3.2.2.4. Determinación del nitrógeno total (Black, 1965) .....</b>	<b>64</b>
<b>3.3.2.2.5. Determinación del fósforo asimilable (Olsen y Dean, 1965) .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.2.2.6. Determinación de las bases de cambio y de la capacidad de intercambio catiónico (Peech, 1945) .....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.2.2.7. Determinación de la materia orgánica total (Walkey y Black, 1934) ....</b>	<b>67</b>
<b>3.3.2.2.8. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por oxidación (Lotti y Galoppini, 1986) .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.2.3. Métodos quimiométricos .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.2.3.1. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por espectroscopía de infrarrojos (Stevenson, 1994) .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.2.3.2. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por microscopía electrónica (Gimeno, 1990) .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.2.4. Métodos biológicos .....</b>	<b>72</b>
<b>3.3.2.4.1. Extracción de artrópodos (De Liñán, 1998) .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4. ESTUDIO DE GABINETE .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.1. EuroSEM .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.1.1. Modelo Digital de Elevaciones (DEM) .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.1.2. Elección de las estaciones climáticas y elección de los datos de lluvia ....</b>	<b>74</b>
<b>3.4.1.3. Modelo de erosión .....</b>	<b>76</b>
<b>3.4.1.3.1. Elección del modelo de erosión: EuroSEM-2010 .....</b>	<b>76</b>
<b>3.4.1.3.2. Representación del paisaje con EuroSEM-2010 .....</b>	<b>76</b>
<b>3.4.1.3.3. Datos de Entrada y de Salida del programa EuroSEM-2010 .....</b>	<b>77</b>
<b>3.4.1.3.3.1. Datos de Entrada de EuroSEM (Datos de Input) .....</b>	<b>77</b>
<b>3.4.1.3.3.2. Archivos de Salida de EuroSEM (Datos de Output) .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.1.3.4. Componente dinámico implementado en la ecuación de infiltración del modelo EuroSEM-2010 .....</b>	<b>81</b>

<b>3.5. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>82</b>
<b>3.5.1. Test estadísticos aplicados.....</b>	<b>82</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1. PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.1. Propiedades físicas de los suelos en los puntos de muestreo.....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.1.1. Descripción de los puntos de muestreo .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.1.1.1. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....</b>	<b>86</b>
<b>4.1.1.1.2. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.....</b>	<b>87</b>
<b>4.1.1.2. Humedad del suelo .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.1.2.1. Humedad gravimétrica del suelo. Variabilidad temporal y espacial.....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.1.2.1.1. Variación anual de la humedad gravimétrica del suelo .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.1.2.1.2. Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual. ....</b>	<b>91</b>
<b>4.1.1.2.2. Humedad volumétrica del suelo en las muestras inalteradas. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1.1.2.2.1. Variación anual de la humedad volumétrica del suelo en las muestras inalteradas .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1.1.2.2.2. Humedad volumétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, en las muestras inalteradas .....</b>	<b>95</b>
<b>4.1.1.2.3. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas sometidas a diferentes presiones. Variabilidad espacial .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.1.2.3.1. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas a diferentes presiones. Curvas de humedad .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.1.2.3.2. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas a diferentes presiones. Agua útil del suelo.....</b>	<b>98</b>
<b>4.1.1.3. Textura del suelo .....</b>	<b>98</b>
<b>4.1.1.3.1. Porcentajes de arena, limo y arcilla textural. Variabilidad espacial .....</b>	<b>98</b>
<b>4.1.1.3.2. Diámetro medio de las partículas (textural). Variabilidad espacial .....</b>	<b>99</b>
<b>4.1.1.4. Estructura del suelo .....</b>	<b>101</b>
<b>4.1.1.4.1. Macroagregación. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>101</b>

<b>4.1.1.4.1.1.</b>	<b>Distribución del tamaño de los agregados.....</b>	<b>101</b>
<b>4.1.1.4.1.1.1.</b>	<b>Variación anual de la distribución del tamaño de los agregados .....</b>	<b>101</b>
<b>4.1.1.4.1.1.2.</b>	<b>Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la distribución del tamaño de los agregados.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1.1.4.1.2.</b>	<b>Estabilidad de los agregados. Test de la gota. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.1.4.1.2.1.</b>	<b>Variación anual de la estabilidad de los agregados .....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.1.4.1.2.2.</b>	<b>Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes.....</b>	<b>115</b>
<b>4.1.1.4.2.</b>	<b>Microagregación. Variabilidad espacial.....</b>	<b>118</b>
<b>4.1.1.4.2.1.</b>	<b>Distribución de los microagregados en tamaños.....</b>	<b>118</b>
<b>4.1.1.4.2.2.</b>	<b>Diámetro medio de los microagregados.....</b>	<b>119</b>
<b>4.1.1.4.2.3.</b>	<b>Modelo de agregación. Microagregados estables al agua .....</b>	<b>120</b>
<b>4.1.1.4.2.4.</b>	<b>Fracción fina microagregada .....</b>	<b>121</b>
<b>4.1.1.4.2.5.</b>	<b>Índice de agregación relativo (I.A.R.).....</b>	<b>121</b>
<b>4.1.1.4.3.</b>	<b>Densidad aparente del suelo. Variabilidad temporal y espacial.....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.1.4.3.1.</b>	<b>Variación anual de la densidad aparente del suelo .....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.1.4.3.2.</b>	<b>Densidad aparente del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual.....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.1.4.4.</b>	<b>Porosidad del suelo. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>124</b>
<b>4.1.1.4.4.1.</b>	<b>Variación anual de la porosidad del suelo .....</b>	<b>124</b>
<b>4.1.1.4.4.2.</b>	<b>Porosidad del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual... </b>	<b>125</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Propiedades químicas de los suelos en los puntos de muestreo.....</b>	<b>126</b>
<b>4.1.2.1.</b>	<b>Acidez del suelo, conductividad eléctrica y carbonato cálcico. Variabilidad espacial.....</b>	<b>126</b>
<b>4.1.2.2.</b>	<b>Macronutrientes: Nitrógeno y fósforo. Variabilidad temporal y espacial</b>	<b>129</b>
<b>4.1.2.2.1.</b>	<b>Variación anual del nitrógeno y fósforo .....</b>	<b>129</b>
<b>4.1.2.2.2.</b>	<b>Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de nitrógeno y fósforo .....</b>	<b>130</b>

<b>4.1.2.3. Bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y C.I.C. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>131</b>
<b>4.1.2.3.1. Variación anual de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) .....</b>	<b>131</b>
<b>4.1.2.3.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) .....</b>	<b>134</b>
<b>4.1.2.4. Materia orgánica total. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>139</b>
<b>4.1.2.4.1. Variación anual de la materia orgánica total.....</b>	<b>139</b>
<b>4.1.2.4.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la materia orgánica total .....</b>	<b>142</b>
<b>4.1.2.5. Relación C/N. Variabilidad temporal y espacial.....</b>	<b>145</b>
<b>4.1.2.5.1. Variación anual de la relación C/N .....</b>	<b>145</b>
<b>4.1.2.5.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la relación C/N.....</b>	<b>145</b>
<b>4.1.2.6. Composición de la materia orgánica del suelo mediante oxidación: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Índices de la composición húmica. Variabilidad temporal y espacial.....</b>	<b>147</b>
<b>4.1.2.6.1. Variación anual de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas determinados mediante oxidación y de los índices de la composición húmica...</b>	<b>147</b>
<b>4.1.2.6.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas determinados mediante oxidación y de los índices de la composición húmica .....</b>	<b>150</b>
<b>4.1.2.7. Composición de la materia orgánica del suelo mediante espectroscopía de infrarrojos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Variabilidad temporal y espacial.....</b>	<b>157</b>
<b>4.1.2.8. Composición de la materia orgánica del suelo mediante microscopía electrónica y rayos X: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Variabilidad temporal y espacial .....</b>	<b>165</b>
<b>4.1.2.8.1. Estudio del contenido y la naturaleza del C en las fracciones orgánicas mediante microscopía electrónica/RX .....</b>	<b>166</b>
<b>4.1.2.8.2. Representación gráfica y fotográfica de las distintas fracciones orgánicas obtenidas mediante microscopía electrónica/RX para los puntos de muestreo de ambas parcelas estudiadas .....</b>	<b>169</b>
<b>4.1.2.8.2.1. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....</b>	<b>170</b>

4.1.2.8.2.2. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.....	171
4.1.2.8.2.3. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....	172
4.1.2.8.2.4. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo .....	173
4.1.2.8.2.5. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....	174
4.1.2.8.2.6. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo .....	175
4.1.2.9. Comparación de contenidos de C en las fracciones orgánicas determinados por los distintos métodos utilizados: microscopía electrónica/RX, espectroscopía de infrarrojos y oxidación. Variabilidad temporal y espacial.....	176
4.1.3. Artrópodos como indicadores de la actividad biológica en los puntos de muestreo .....	182
4.1.3.1. Fauna edáfica. Variabilidad espacial .....	182
4.1.4. Relaciones entre parámetros en puntos de muestreo .....	194
4.2. ESTUDIO DE LOS SUELOS Y DE LA INFLUENCIA DE LA EDAD DE ABANDONO AGRÍCOLA EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN TERRAZAS MARGINALES DE LA CUENCA DE ESTUDIO .....	225
4.2.1. Caracterización de los perfiles de suelo de la cuenca .....	226
4.2.2. Propiedades físicas de los perfiles de suelo de la cuenca .....	240
4.2.2.1. Curvas de retención hídrica .....	240
4.2.2.2. Textura .....	242
4.2.2.3. Estructura. Macroagregación.....	244
4.2.2.3.1. Distribución de macroagregados por tamaños .....	244
4.2.2.3.2. Estabilidad de agregados (test de la gota) .....	245
4.2.2.4. Estructura. Microagregación .....	247
4.2.2.4.1. Textura de microagregados.....	247
4.2.2.4.2. Modelo de agregación. Microagregados estables al agua .....	248
4.2.2.4.3. Fracción fina microagregada .....	249
4.2.2.4.4. Índice de agregación relativo .....	251



<b>4.2.3. Propiedades químicas de los perfiles de suelo de la cuenca.....</b>	<b>255</b>
4.2.3.1. Acidez del suelo, conductividad eléctrica y carbonato cálcico .....	255
4.2.3.2. Macronutrientes (nitrógeno y fósforo) .....	259
4.2.3.3. Bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y C.I.C. ....	260
4.2.3.4. Materia orgánica total .....	265
4.2.3.5. Relación C/N.....	266
4.2.3.6. Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas mediante oxidación. Índices de la composición húmica .....	267
4.2.3.6.1. Ácidos húmicos .....	267
4.2.3.6.2. Ácidos fúlvicos .....	268
4.2.3.6.3. Huminas .....	269
4.2.3.6.4. Composición de la materia orgánica .....	269
4.2.3.6.5. Índices de la composición húmica .....	270
<b>4.2.4. Artrópodos como indicadores de la actividad biológica de los suelos de la cuenca.....</b>	<b>273</b>
<b>4.2.5. Estadística de los perfiles de suelo de la cuenca .....</b>	<b>277</b>
4.2.5.1. Análisis del cluster o dendrograma.....	277
4.2.5.2. Matriz de correlación .....	278
4.2.5.3. Análisis de componentes principales (ACP).....	280
<b>4.2.6. Discusión de los resultados de los perfiles de suelo de la cuenca. Edad de abandono y su influencia en las propiedades de los suelos .....</b>	<b>282</b>
<b>4.3. APLICACIÓN DEL MODELO EUROSEM-2010 EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....</b>	<b>286</b>
4.3.1. Fragmentación de los eventos de precipitación. Base de datos de la precipitación.....	289
4.3.2. Escenarios de aplicación del modelo EuroSEM-2010 en la cuenca de estudio.	291
4.3.2.1. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario a y d: condiciones de humedad intermedia, infiltración verano/invierno, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa.....	291
4.3.2.2. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario b y e: condiciones de humedad verano/invierno, infiltración verano/invierno, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa.....	296

4.3.2.3. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario c y f: condiciones de humedad verano/invierno, infiltración verano/invierno, valores k hidrofobia variables para cada polígono, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa .....	301
4.3.3. Resumen de los resultados en los escenarios de aplicación del modelo EuroSEM-2010 .....	308
5. CONCLUSIONES .....	313
6. BIBLIOGRAFÍA.....	317

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Esquema de las interacciones planta-suelo-abandono de cultivos.....	<b>4</b>
<b>Figura 2.1.</b> Situación del municipio de Castell de Castells en el sureste de la Península Ibérica, en la comarca de la Marina Alta (Alicante).....	<b>7</b>
<b>Figura 2.2.</b> Detalle del mapa topográfico nacional de España, escala 1:25.000 .....	<b>8</b>
<b>Figura 2.3.</b> Situación de la cuenca de estudio.....	<b>8</b>
<b>Figura 2.4.</b> Panorámica de la zona de estudio .....	<b>9</b>
<b>Figura 2.5.</b> Mapa geológico de la zona de estudio .....	<b>9</b>
<b>Figura 2.6.</b> Mapa litológico de la zona de estudio.....	<b>11</b>
<b>Figura 2.7.</b> Esquema geomorfológico del área de estudio de Cocoll (Boix, 1999) .....	<b>12</b>
<b>Figura 2.8.</b> Vista general de la cuenca de estudio .....	<b>13</b>
<b>Figura 2.9.</b> Temperaturas máximas absolutas y mínimas absolutas (medias anuales) en las estaciones de estudio. Período 1980-2010 .....	<b>16</b>
<b>Figura 2.10.</b> Temperaturas máximas, mínimas y medias (medias anuales) en las estaciones de estudio. Período 1980-2010.....	<b>16</b>
<b>Figura 2.11. a)</b> Precipitación total anual en las estaciones de estudio. <b>b)</b> Precipitación máxima anual en las estaciones de estudio. Período 1980-2010 .....	<b>18</b>
<b>Figura 2.12.</b> Coeficiente de torrencialidad R para las estaciones de estudio .....	<b>19</b>
<b>Figura 2.13.</b> Temperaturas máximas, mínimas y medias registradas en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio .....	<b>23</b>
<b>Figura 2.14.</b> Precipitaciones registradas en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio .....	<b>23</b>
<b>Figura 2.15.</b> Representación de las alturas medias (cm) de la vegetación en los subtransectos.....	<b>23</b>
<b>Figura 2.16. a)</b> Cobertura total de la vegetación en los subtransectos. <b>b)</b> Cobertura de los parámetros en los subtransectos: leñosas, herbáceas, hojarasca, piedra, restos vegetales, líquenes y musgos .....	<b>27</b>
<b>Figura 2.17. a)</b> Cobertura relativa de las especies leñosas más representativas en los subtransectos. <b>b)</b> Cobertura relativa de la especie herbácea más representativa <i>Brachypodium retusum</i> en los subtransectos .....	<b>30</b>
<b>Figura 2.18. a)</b> Especies leñosas más frecuentes en cada subtransecto. <b>b)</b> Especies herbáceas más frecuentes en cada subtransecto .....	<b>30</b>

<b>Figura 2.19.</b> Mapa de usos y cultivos de la zona de estudio.....	<b>35</b>
<b>Figura 3.1.</b> Organigrama general del trabajo realizado.....	<b>41</b>
<b>Figura 3.2.</b> Distribución de los 13 perfiles de suelo estudiados en las tres zonas de la cuenca .....	<b>43</b>
<b>Figura 3.3.</b> Medidas del cilindro extractor metálico utilizado en la toma de muestra de suelo inalterado para la determinación de la fauna edáfica.....	<b>44</b>
<b>Figura 3.4.</b> Cilindro extractor metálico empleado en la toma de muestra de suelo inalterado para la determinación de la fauna edáfica .....	<b>44</b>
<b>Figura 3.5.</b> Parcelas seleccionadas Campo Arriba y Campo Abajo, situadas en las zonas sur y centro, respectivamente.....	<b>44</b>
<b>Figura 3.6.</b> Puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo alterado seleccionados en cada parcela. Agrupación de los puntos de muestreo según microambientes .....	<b>45</b>
<b>Figura 3.7.</b> Croquis de la parcela Campo Arriba con la ubicación de los distintos puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo alterado .....	<b>46</b>
<b>Figura 3.8.</b> Croquis de la parcela Campo Abajo con la localización de cada uno de los puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo alterado .....	<b>47</b>
<b>Figura 3.9.</b> Puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado seleccionados en cada parcela, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo .....	<b>48</b>
<b>Figura 3.10.</b> Croquis de la parcela Campo Arriba con la ubicación de los distintos puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo.....	<b>49</b>
<b>Figura 3.11.</b> Croquis de la parcela Campo Abajo con la localización de cada uno de los puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo.....	<b>50</b>
<b>Figura 3.12.</b> Puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo inalterado seleccionados en cada parcela, para la determinación de la fauna edáfica .....	<b>51</b>
<b>Figura 3.13.</b> Algunos puntos de muestreo seleccionados en ambas parcelas, donde se han tomado muestras de suelo inalteradas superficiales y subsuperficiales para determinar la fauna edáfica existente.....	<b>51</b>
<b>Figura 3.14.</b> Batería de tamices utilizada en el tamizado en seco .....	<b>52</b>
<b>Figura 3.15.</b> Tablas Munsell para la determinación del color de un suelo.....	<b>54</b>
<b>Figura 3.16.</b> Representación del color de un suelo .....	<b>54</b>
<b>Figura 3.17.</b> Desecador .....	<b>55</b>

<b>Figura 3.18.</b> Anillos sobre placas porosas en las bandejas de humectación.....	<b>55</b>
<b>Figura 3.19. a)</b> Estufa de aire. <b>b)</b> Desecador.....	<b>56</b>
<b>Figura 3.20.</b> Detalle de colocación de las muestras en la cámara de Richards .....	<b>56</b>
<b>Figura 3.21. a)</b> Esquema general de la cámara de presión de Richards. <b>b)</b> Sección de la cámara de Richards. ....	<b>57</b>
<b>Figura 3.22.</b> Batidoras.....	<b>59</b>
<b>Figura 3.23.</b> Equipo Coulter LS 130 (CIDE).....	<b>59</b>
<b>Figura 3.24.</b> Gotero utilizado en el test de la gota. Detalle del tubo de polietileno, del tamiz y de los agregados.....	<b>60</b>
<b>Figura 3.25.</b> pHmetro .....	<b>62</b>
<b>Figura 3.26.</b> Conductímetro .....	<b>62</b>
<b>Figura 3.27.</b> Calcímetro de Bernard .....	<b>63</b>
<b>Figura 3.28. a)</b> Digestor Kjeldahl. <b>b)</b> Destilador Tekator. <b>c)</b> Valoración de nitrógeno .	<b>64</b>
<b>Figura 3.29.</b> Espectrofotómetro .....	<b>65</b>
<b>Figura 3.30.</b> Absorción atómica.....	<b>66</b>
<b>Figura 3.31.</b> Fotómetro de llama .....	<b>66</b>
<b>Figura 3.32.</b> Extractos húmicos .....	<b>68</b>
<b>Figura 3.33.</b> Preparación de la muestra. Prensa. Espectrofotómetro de IR .....	<b>70</b>
<b>Figura 3.34.</b> Preparación de las muestras. <i>Sputtering</i> . Microscopio electrónico de barrido HITACHI mod. S-4100 con cañón de emisión de campo, detector BSE AUTRATA, sistema de captación de imágenes EMIP 3.0, y sistema de microanálisis RONTEC .....	<b>71</b>
<b>Figura 3.35.</b> Embudo Berlesse utilizado en el laboratorio para la extracción de artrópodos.....	<b>72</b>
<b>Figura 3.36.</b> Lupa binocular empleada para realizar el conteo de artrópodos .....	<b>72</b>
<b>Figura 3.37. a)</b> Imagen que muestra en negro las curvas de nivel originales y en rojo las curvas de nivel obtenidas como resultado del DEM. <b>b)</b> Ráster del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) del Pico del Cocoll, término municipal de Castell de Castells (Alicante) .....	<b>73</b>
<b>Figura 3.38. a)</b> Ráster obtenido del comando <i>Basin</i> en el ámbito de la zona de estudio del Pico del Cocoll, término municipal de Castell de Castells (Alicante). <b>b)</b> Imagen ráster de la pendiente de salida calculada en porcentaje.....	<b>74</b>
<b>Figura 3.39.</b> Mapa de las estaciones climáticas próximas a la zona de estudio.....	<b>74</b>

<b>Figura 3.40.</b> Representación de los datos de lluvia de la estación de <b>a)</b> la Marina Baixa y <b>b)</b> Guadalest, en intervalos de 6 horas para el período seleccionado. Fuente: web del MARM.....	<b>75</b>
<b>Figura 3.41. a)</b> Diagrama de flujo de la componente hidrológica. <b>b)</b> Representación de movimiento de flujo sobre la superficie del suelo.....	<b>76</b>
<b>Figura 3.42. a)</b> Representación geométrica del terreno mediante planos y canales con EuroSEM en una subcuenca. <b>b)</b> Representación geométrica de la superficie en planos y canales .....	<b>77</b>
<b>Figura 3.43.</b> Static output file. Parámetros de la cuenca y datos de los elementos ...	<b>81</b>
<b>Figura 4.1.</b> Variación de la humedad gravimétrica del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ) .....	<b>89</b>
<b>Figura 4.2.</b> Humedad gravimétrica del suelo obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ), de cada punto de muestreo .....	<b>90</b>
<b>Figura 4.3.</b> Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media mensual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ). <b>92</b>	
<b>Figura 4.4.</b> Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ).....	<b>92</b>
<b>Figura 4.5.</b> Humedad gravimétrica del suelo media mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ) .....	<b>93</b>
<b>Figura 4.6.</b> Humedad gravimétrica del suelo media mensual obtenida en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), relacionada con la precipitación media y con la temperatura media del aire, datos registrados a lo largo del año en la estación climatológica de la zona de estudio.....	<b>93</b>
<b>Figura 4.7.</b> Variación de la humedad volumétrica del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>94</b>
<b>Figura 4.8.</b> Humedad volumétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>95</b>
<b>Figura 4.9.</b> Humedad volumétrica del suelo media mensual, relacionada con la precipitación y con la temperatura media del aire, datos registrados a lo largo del año en la estación climatológica de la zona de estudio.....	<b>96</b>
<b>Figura 4.10.</b> Curva característica de humedad obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>97</b>
<b>Figura 4.11.</b> Agua útil del suelo obtenida en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ). <b>98</b>	
<b>Figura 4.12.</b> Porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>99</b>

<b>Figura 4.13.</b> Diámetro medio de las partículas obtenido en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>100</b>
<b>Figura 4.14.</b> Variación de la distribución del tamaño de los agregados a lo largo del año en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ).....	<b>102</b>
<b>Figura 4.15.</b> Distribución de los agregados por fracciones en los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso), en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> )...	<b>103</b>
<b>Figura 4.16.</b> Distribución de los agregados por fracciones en los suelos bajo especies aromáticas ( <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lavandula latifolia</i> y <i>Santolina chamaecyparissus</i> ), en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ).....	<b>104</b>
<b>Figura 4.17.</b> Distribución de los agregados por fracciones en los suelos bajo especies leñosas ( <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Cistus albidus</i> y <i>Ulex parviflorus</i> ), en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ) .....	<b>106</b>
<b>Figura 4.18.</b> Distribución de los agregados por fracciones en el suelo bajo especie herbácea ( <i>Brachypodium retusum</i> ), en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ) .....	<b>107</b>
<b>Figura 4.19.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en cada fracción de tamaño en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>108</b>
<b>Figura 4.20.</b> Valores medios mensuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) .....	<b>109</b>
<b>Figura 4.21.</b> Valores medios mensuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ) .....	<b>110</b>
<b>Figura 4.22.</b> Valores medios anuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ) .....	<b>110</b>
<b>Figura 4.23.</b> Porcentaje de agregados supervivientes frente a n° impactos de gota, obtenidos en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) a pF 6,1 (en seco) en los meses de enero, abril, julio y octubre; y a pF 1 (en húmedo) en los meses de enero y julio.	<b>113</b>
<b>Figura 4.24.</b> Valores de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de n° impactos gota en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ), a pF 6,1 (en seco) y a pF 1 (en húmedo) .....	<b>115</b>
<b>Figura 4.25.</b> Valores máximos, mínimos y medias, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de n° impactos gota en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) a pF 6,1 (en seco) .....	<b>116</b>
<b>Figura 4.26.</b> Valores máximos, mínimos y medias, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de n° impactos gota en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) a pF 1 (en húmedo) .....	<b>117</b>
<b>Figura 4.27.</b> Distribución de los microagregados en tamaños obtenida en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ) de los puntos de muestreo .....	<b>119</b>

<b>Figura 4.28.</b> Diámetro medio de los microagregados obtenido en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>119</b>
<b>Figura 4.29.</b> Modelo de agregación obtenido en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ). Microagregados estables al agua .....	<b>120</b>
<b>Figura 4.30.</b> Fracción fina microagregada obtenida en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>121</b>
<b>Figura 4.31.</b> Índice de agregación relativo (I.A.R.) obtenido en las muestras de suelo superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>122</b>
<b>Figura 4.32.</b> Variación de la densidad aparente del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>123</b>
<b>Figura 4.33.</b> Densidad aparente del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) .....	<b>123</b>
<b>Figura 4.34.</b> Variación de la porosidad del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>124</b>
<b>Figura 4.35.</b> Porosidad del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) .....	<b>125</b>
<b>Figura 4.36.</b> Niveles de pH del suelo obtenidos, en suspensión de agua y en suspensión de KCl, en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ).....	<b>126</b>
<b>Figura 4.37.</b> Conductividad eléctrica del suelo obtenida en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) .....	<b>127</b>
<b>Figura 4.38.</b> Carbonato cálcico del suelo obtenido en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (A <sub>2</sub> ) .....	<b>127</b>
<b>Figura 4.39.</b> Variación del contenido de nitrógeno y fósforo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>129</b>
<b>Figura 4.40.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en los contenidos de nitrógeno y fósforo en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>130</b>
<b>Figura 4.41.</b> Evolución de los contenidos de potasio, sodio, magnesio, calcio y C.I.C. a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>133</b>
<b>Figura 4.42.</b> Valores medios mensuales y anuales de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y C.I.C. obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>134</b>
<b>Figura 4.43.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de potasio, sodio, magnesio, calcio y C.I.C., obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>137</b>



<b>Figura 4.44.</b> Variación de los contenidos de materia orgánica total del suelo a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ).....	<b>139</b>
<b>Figura 4.45.</b> Evolución de la materia orgánica total del suelo a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ) de cada punto de muestreo.....	<b>141</b>
<b>Figura 4.46.</b> Valores medios mensuales y anuales de materia orgánica total obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ). <b></b>	<b>142</b>
<b>Figura 4.47.</b> Valores máximos, mínimos y medios mensuales de materia orgánica total obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ).....	<b>142</b>
<b>Figura 4.48.</b> Valores máximos, mínimos y medios anuales de materia orgánica obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ).....	<b>143</b>
<b>Figura 4.49.</b> Contenidos medios de materia orgánica total del suelo por grupos de cobertura, obtenidos en las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en los meses de enero y julio .....	<b>144</b>
<b>Figura 4.50.</b> Evolución de la relación C/N a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>145</b>
<b>Figura 4.51.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en la relación C/N de las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>146</b>
<b>Figura 4.52.</b> Variación de los contenidos de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>147</b>
<b>Figura 4.53.</b> Variación de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación) a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>149</b>
<b>Figura 4.54.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ).....	<b>152</b>
<b>Figura 4.55.</b> Valores medios mensuales y anuales, de la composición de la materia orgánica total (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y no humificable) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>153</b>
<b>Figura 4.56.</b> Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>154</b>

<b>Figura 4.57.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos húmicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de enero bajo distintas coberturas.....	<b>157</b>
<b>Figura 4.58.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos húmicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de julio bajo distintas coberturas.....	<b>157</b>
<b>Figura 4.59.</b> Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos húmicos de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) correspondientes a los meses de enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) ...	<b>158</b>
<b>Figura 4.60.</b> Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos húmicos de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) .....	<b>159</b>
<b>Figura 4.61.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos fúlvicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de enero bajo distintas coberturas.....	<b>159</b>
<b>Figura 4.62.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos fúlvicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de julio bajo distintas coberturas.....	<b>160</b>
<b>Figura 4.63.</b> Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos fúlvicos de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) correspondientes a los meses enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y para los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) ...	<b>161</b>
<b>Figura 4.64.</b> Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos fúlvicos de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) .....	<b>162</b>
<b>Figura 4.65.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a las huminas del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de enero bajo distintas coberturas.	<b>162</b>
<b>Figura 4.66.</b> Espectros de IR (medias) correspondientes a las huminas del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en el mes de julio bajo distintas coberturas ..	<b>163</b>
<b>Figura 4.67.</b> Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en huminas de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) correspondientes a los meses de enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) .....	<b>164</b>
<b>Figura 4.68.</b> Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en huminas de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos) .....	<b>164</b>

<b>Figura 4.69.</b> Proporciones relativas de los elementos Si, Al y O en la fracción humina del suelo de las muestras superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) .....	<b>166</b>
<b>Figura 4.70.</b> Contenidos de C en las distintas fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en los meses de enero y julio mediante el análisis de microscopía/RX.....	<b>167</b>
<b>Figura 4.71.</b> Contenidos medios de C (meses de enero y julio) en las distintas fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) mediante el análisis de microscopía/RX.....	<b>167</b>
<b>Figura 4.72.</b> Contenidos de C respecto de la proporción de O determinados en el análisis de las fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) en los meses de enero y julio mediante microscopía electrónica/RX.....	<b>168</b>
<b>Figura 4.73.</b> Contenidos medios de C (meses de enero y julio) respecto de la proporción de O, determinados en el análisis de las fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) mediante microscopía electrónica/RX.....	<b>168</b>
<b>Figura 4.74.</b> Comparación de % de C en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio) .....	<b>176</b>
<b>Figura 4.75.</b> Contenidos de C en ácidos húmicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>177</b>
<b>Figura 4.76.</b> Comparación de % de C en ácidos húmicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>177</b>
<b>Figura 4.77.</b> Contenidos de C en ácidos fúlvicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>178</b>
<b>Figura 4.78.</b> Comparación de % de C en ácidos fúlvicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>178</b>
<b>Figura 4.79.</b> Contenidos de C en huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>179</b>

<b>Figura 4.80.</b> Comparación de % de C en huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).....	<b>180</b>
<b>Figura 4.81.</b> Comparación de % de C medios (entre los meses de enero y julio) en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A <sub>1</sub> ) para los distintos grupos de cobertura.....	<b>181</b>
<b>Figura 4.82.</b> Individuos por m <sup>2</sup> capturados en cada horizonte A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> , así como en ambos horizontes.....	<b>184</b>
<b>Figura 4.83.</b> Individuos por m <sup>2</sup> capturados en los horizontes A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> de cada punto de muestreo.....	<b>184</b>
<b>Figura 4.84.</b> Individuos por m <sup>2</sup> capturados en ambos horizontes de cada punto de muestreo.....	<b>185</b>
<b>Figura 4.85.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso) en ambos horizontes (A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> ), ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>185</b>
<b>Figura 4.86.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en los suelos bajo especies aromáticas ( <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lavandula latifolia</i> y <i>Santolina chamaecyparissus</i> ) en ambos horizontes (A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> ), ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>186</b>
<b>Figura 4.87.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en los suelos bajo especies leñosas de mayor porte ( <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Cistus albidus</i> y <i>Ulex parviflorus</i> ) en ambos horizontes (A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> ), ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>187</b>
<b>Figura 4.88.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en los suelos bajo la especie herbácea <i>Brachypodium retusum</i> en ambos horizontes (A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> ), ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>188</b>
<b>Figura 4.89.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en los suelos superficiales (horizonte A <sub>1</sub> ) y subsuperficiales (horizonte A <sub>2</sub> ), sin especificar el punto de muestreo, ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>188</b>
<b>Figura 4.90.</b> Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m <sup>2</sup> en ambos horizontes, sin especificar el punto de muestreo, ordenados de mayor a menor abundancia.....	<b>189</b>
<b>Figura 4.91.</b> Colémbolos, ácaros oribátidos, ácaros gamásidos y larvas de coleópteros capturados por m <sup>2</sup> en ambos horizontes de las parcelas estudiadas, en los diferentes puntos de muestreo.....	<b>192</b>
<b>Figura 4.92.</b> Zona de estudio.....	<b>194</b>

<b>Figura 4.93.</b> Variación de la amplitud térmica a lo largo del año en distintos microambientes .....	<b>195</b>
<b>Figura 4.94.</b> Distribución de macroagregados en los diferentes puntos de muestreo. Valores medios anuales obtenidos en las muestras de suelo superficiales.....	<b>195</b>
<b>Figura 4.95.</b> Detalle de los macroagregados del suelo de la zona de estudio .....	<b>196</b>
<b>Figura 4.96.</b> Porcentajes de arena, limo y arcilla textural en los distintos puntos de muestreo .....	<b>196</b>
<b>Figura 4.97.</b> Cluster obtenido con los valores medios anuales .....	<b>222</b>
<b>Figura 4.98.</b> Gráfico de componentes principales.....	<b>224</b>
<b>Figura 4.99.</b> Humedad volumétrica en los diferentes horizontes correspondientes a cada uno de los perfiles estudiados en la cuenca, ubicados en las distintas zonas A) Zona sur, B) Zona centro, y C) Zona norte, tras someter dichas muestras a presiones de 0, 20 y 1.500 kPa.....	<b>240</b>
<b>Figura 4.100.</b> Contenidos medios de humedad volumétrica en capacidad de campo (a presión 20 kPa), en punto de marchitamiento (a presión 1500 kPa) y en agua útil, obtenidos en los diferentes perfiles analizados.....	<b>242</b>
<b>Figura 4.101.</b> Variación porcentual de las partículas de suelo (arena, limo y arcilla textural) en los perfiles de la cuenca de estudio.....	<b>243</b>
<b>Figura 4.102.</b> Distribución de macroagregados por tamaños de las muestras tomadas en los diferentes horizontes de los perfiles de la cuenca de estudio.....	<b>244</b>
<b>Figura 4.103.</b> Valores de la mediana y media en la estabilidad de agregados, obtenidos en los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca .....	<b>245</b>
<b>Figura 4.104.</b> Porcentaje de agregados supervivientes frente a n <sup>o</sup> impactos de gota, obtenidos en los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca .....	<b>246</b>
<b>Figura 4.105.</b> Porcentajes de arena, limo y arcilla de microagregados, obtenidos en los horizontes de los perfiles estudiados en la cuenca .....	<b>247</b>
<b>Figura 4.106.</b> Modelo de agregación obtenido en los horizontes de los perfiles de la cuenca. Microagregados estables al agua .....	<b>248</b>
<b>Figura 4.107.</b> Fracción fina microagregada obtenida en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>249</b>
<b>Figura 4.108.</b> Valores medios de fracción fina microagregada, obtenidos en los perfiles de la cuenca .....	<b>250</b>
<b>Figura 4.109.</b> Índice de agregación relativo obtenido en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>252</b>
<b>Figura 4.110.</b> Valores medios de índice de agregación relativo, obtenidos en los perfiles de la cuenca .....	<b>252</b>

<b>Figura 4.111.</b> Valores de acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl en los horizontes de los perfiles de la cuenca.....	<b>255</b>
<b>Figura 4.112.</b> Niveles de conductividad eléctrica obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>256</b>
<b>Figura 4.113.</b> Contenidos de carbonato cálcico obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>257</b>
<b>Figura 4.114.</b> Valores medios de la acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl en los perfiles de la cuenca .....	<b>258</b>
<b>Figura 4.115.</b> Valores medios obtenidos de la conductividad eléctrica y del carbonato cálcico del suelo en los perfiles de la cuenca .....	<b>258</b>
<b>Figura 4.116.</b> Contenidos de nitrógeno y fósforo obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>259</b>
<b>Figura 4.117.</b> Valores medios de nitrógeno y fósforo obtenidos en los perfiles de la cuenca .....	<b>260</b>
<b>Figura 4.118.</b> Contenidos de potasio y sodio obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>261</b>
<b>Figura 4.119.</b> Contenidos de magnesio y calcio obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>262</b>
<b>Figura 4.120.</b> Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) obtenida en los horizontes de los perfiles de la cuenca .....	<b>263</b>
<b>Figura 4.121.</b> Valores medios obtenidos de bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) en los perfiles de la cuenca .....	<b>264</b>
<b>Figura 4.123.</b> Valores medios de relación C/N obtenidos en los perfiles de la cuenca.....	<b>265</b>
<b>Figura 4.124.</b> Valores medios de ácidos húmicos obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca .....	<b>267</b>
<b>Figura 4.125.</b> Valores medios de ácidos fúlvicos obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca .....	<b>268</b>
<b>Figura 4.126.</b> Valores medios de huminas obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.....	<b>269</b>
<b>Figura 4.127.</b> Valores medios de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, materia orgánica no humificable y materia orgánica total, obtenidos en las diferentes zonas de la cuenca .....	<b>270</b>
<b>Figura 4.128.</b> Valores medios de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación), obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca .....	<b>272</b>

<b>Figura 4.129.</b> Artrópodos aislados en los perfiles de suelo.....	<b>276</b>
<b>Figura 4.130.</b> Análisis del cluster o dendrograma de los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca.....	<b>277</b>
<b>Figura 4.131.</b> Gráfico de componentes principales.....	<b>281</b>
<b>Figura 4.132.</b> Evolución de la cobertura vegetal del suelo agrícola en terrazas marginales con la edad de abandono .....	<b>282</b>
<b>Figura 4.133.</b> Variaciones con la edad de abandono de las prácticas agrícolas del (a) contenido de materia orgánica del suelo; (b) relación C/N; (c) diámetro medio de microagregados (fracción de suelo <100 µm); y (d) % de agua a saturación .....	<b>283</b>
<b>Figura 4.134.</b> Mapa del Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio.....	<b>286</b>
<b>Figura 4.135.</b> Mapa que representa las características litológicas de la cuenca de estudio .....	<b>286</b>
<b>Figura 4.136.</b> Mapa de pendientes de la cuenca de estudio.....	<b>286</b>
<b>Figura 4.137.</b> Mapa de las unidades de suelo de la cuenca de estudio .....	<b>287</b>
<b>Figura 4.138.</b> Mapa de las unidades de vegetación de la cuenca de estudio .....	<b>287</b>
<b>Figura 4.139.</b> Esquema de la cuenca resultado de la intersección de los distintos mapas.....	<b>288</b>
<b>Figura 4.140.</b> Esquema mostrando el orden de introducción de los polígonos de la cuenca en EuroSEM-2010 .....	<b>289</b>
<b>Figura 4.141.</b> Lluvia acumulada en función del tiempo. Estación pluviométrica de la Marina Baixa (izquierda) y Guadalest (derecha) .....	<b>290</b>
<b>Figura 4.142.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>a1</b> : invierno y <b>a2</b> : verano.....	<b>292</b>
<b>Figura 4.143.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>a1</b> : invierno y <b>a2</b> : verano.....	<b>294</b>
<b>Figura 4.144.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>d1</b> : invierno y <b>d2</b> : verano.....	<b>295</b>
<b>Figura 4.145.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>d1</b> : invierno y <b>d2</b> : verano .....	<b>296</b>
<b>Figura 4.146.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>b1</b> : invierno y <b>b2</b> : verano .....	<b>29</b>

<b>Figura 4.147.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>b1</b> : invierno y <b>b2</b> : verano.....	<b>299</b>
<b>Figura 4.148.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>e1</b> : invierno y <b>e2</b> : verano .....	<b>300</b>
<b>Figura 4.149.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>e1</b> : invierno y <b>e2</b> : verano.....	<b>301</b>
<b>Figura 4.150.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>c1</b> : invierno y <b>c2</b> : verano .....	<b>303</b>
<b>Figura 4.151.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>c1</b> : invierno y <b>c2</b> : verano .....	<b>304</b>
<b>Figura 4.152.</b> Representación cartográfica del tiempo necesario para que empiece la escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios <b>c1</b> : invierno y <b>c2</b> : verano .....	<b>304</b>
<b>Figura 4.153.</b> Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>f1</b> : invierno y <b>f2</b> : verano .....	<b>306</b>
<b>Figura 4.154.</b> Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>f1</b> : invierno y <b>f2</b> : verano .....	<b>307</b>
<b>Figura 4.155.</b> Representación cartográfica del tiempo necesario para que empiece la escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios <b>f1</b> : invierno y <b>f2</b> : verano.....	<b>308</b>
<b>Figura 4.156.</b> Bancales abandonados en la cuenca de estudio .....	<b>311</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Temperaturas medias (tm) en las estaciones de estudio.....	<b>17</b>
<b>Tabla 2.2.</b> Precipitación máxima en las estaciones de estudio.....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.3.</b> Déficit y exceso de agua en el suelo en las estaciones de estudio según Thornthwaite .....	<b>19</b>
<b>Tabla 2.4.</b> Clasificación climática de Thornthwaite .....	<b>20</b>
<b>Tabla 2.5.</b> Clasificación climática Soil Taxonomy .....	<b>21</b>
<b>Tabla 2.6.</b> Ficha climática de Thorthwaite de la estación experimental de Castell de Castells situada en la zona de estudio.....	<b>22</b>
<b>Tabla 2.7.</b> Régimen de humedad del suelo obtenido en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio.....	<b>23</b>
<b>Tabla 2.8.</b> Etapas de regresión y especies bioindicadoras de la serie de vegetación del territorio.....	<b>25</b>
<b>Tabla 2.9.</b> Características de las especies vegetales seleccionadas en ambas parcelas, bajo las que se estudian las propiedades de los suelos .....	<b>31</b>
<b>Tabla 2.10.</b> Principales usos del suelo en el pasado en el municipio de Castell de Castells .....	<b>35</b>
<b>Tabla 2.11.</b> Edad de abandono de los bancales en la zona de estudio .....	<b>36</b>
<b>Tabla 2.12.</b> Características de las tipologías de los bancales en los perfiles de estudio.....	<b>37</b>
<b>Tabla 3.1.</b> Organización del trabajo de campo y de laboratorio.....	<b>40</b>
<b>Tabla 3.2.</b> Determinaciones analíticas realizadas en las diferentes muestras de suelo en el laboratorio.....	<b>53</b>
<b>Tabla 3.3.</b> Datos de lluvia de la estación de <b>a)</b> la Marina Baixa y <b>b)</b> Guadalest, en intervalos de 15 minutos para el período seleccionado. Fuente: web del MARM .....	<b>75</b>
<b>Tabla 3.4.</b> Tipo de elemento y numeración, características del elemento, anchura, longitud, elementos contribuyentes.....	<b>78</b>
<b>Tabla 3.5.</b> Características hidráulicas del suelo .....	<b>78</b>
<b>Tablas 3.6 y 3.7.</b> Parámetros relacionados con la superficie del suelo .....	<b>78</b>
<b>Tabla 3.8.</b> Características de vegetación y uso del suelo .....	<b>79</b>
<b>Tabla 3.9.</b> Darcy-Weisbach's M rill (rangeland, cropland) .....	<b>79</b>

<b>Tabla 3.10.</b> Static output file. Tipo de elemento y numeración, características del elemento, anchura, longitud, etc.....	<b>80</b>
<b>Tabla 3.11.</b> Static output file. Erosión, lluvia, deposición total y escorrentía .....	<b>80</b>
<b>Tabla 3.12.</b> HYDSED. Escorrentía, infiltración, descarga y concentración de descarga de los sedimentos, para cada uno de los planos por unidad temporal .....	<b>81</b>
<b>Tabla 4.1.</b> Características morfológicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela Campo Arriba .....	<b>86</b>
<b>Tabla 4.2.</b> Características morfológicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela Campo Abajo.....	<b>87</b>
<b>Tabla 4.3.</b> Abundancia de carbonato cálcico en las muestras superficiales ( $A_1$ ) o subsuperficiales ( $A_2$ ), en los puntos de muestreo .....	<b>128</b>
<b>Tabla 4.4.</b> Microscopía electrónica/RX de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....	<b>170</b>
<b>Tabla 4.5.</b> Microscopía electrónica/RX de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.....	<b>171</b>
<b>Tabla 4.6.</b> Microscopía electrónica/RX de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....	<b>172</b>
<b>Tabla 4.7.</b> Microscopía electrónica/RX de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.....	<b>173</b>
<b>Tabla 4.8.</b> Microscopía electrónica/RX de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba .....	<b>174</b>
<b>Tabla 4.9.</b> Microscopía electrónica/RX de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.....	<b>175</b>
<b>Tabla 4.10.</b> Artrópodos más abundantes en los suelos de las parcelas estudiadas ..	<b>193</b>
<b>Tabla 4.11.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte $A_1$ ), textura y distribución de agregados con humedad, textura y densidad aparente .....	<b>198</b>
<b>Tabla 4.12.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte $A_1$ ), estabilidad de agregados con humedad, textura, distribución de agregados y microagregación ....	<b>200</b>
<b>Tabla 4.13.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte $A_1$ ), microagregación con humedad, textura y distribución de agregados.....	<b>202</b>
<b>Tabla 4.14.</b> Relaciones entre parámetros químicos (horizonte $A_1$ ), macronutrientes, materia orgánica total y composición de la materia orgánica con carbonato cálcico, pH, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total y composición de la materia orgánica .....	<b>205</b>
<b>Tabla 4.15.</b> Relaciones entre parámetros químicos (horizonte $A_1$ ), bases de cambio y C.I.C. con carbonato cálcico, conductividad eléctrica, bases de cambio y C.I.C .....	<b>206</b>

<b>Tabla 4.16.</b> Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A <sub>1</sub> ), índices de composición húmica con carbonato cálcico, bases de cambio y C.I.C., composición de la materia orgánica e índices de composición húmica .....	<b>207</b>
<b>Tabla 4.17.</b> Relaciones entre parámetros físicos, químicos y biológicos (horizonte A <sub>1</sub> ), humedad con carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio y C.I.C., materia orgánica total, composición de la materia orgánica y fauna edáfica .....	<b>208</b>
<b>Tabla 4.18.</b> Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A <sub>1</sub> ), textura con carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio y C.I.C., composición de la materia orgánica e índices de composición húmica .....	<b>209</b>
<b>Tabla 4.19.</b> Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A <sub>1</sub> ), distribución de agregados con carbonato cálcico, conductividad eléctrica, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total y composición de la materia orgánica .....	<b>210</b>
<b>Tabla 4.20.</b> Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A <sub>1</sub> ), estabilidad de agregados con carbonato cálcico, materia orgánica total y composición de la materia orgánica .....	<b>211</b>
<b>Tabla 4.21.</b> Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A <sub>1</sub> ), microagregación con carbonato cálcico, macronutrientes, materia orgánica total, composición de la materia orgánica e índices de composición húmica .....	<b>213</b>
<b>Tabla 4.22.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A <sub>2</sub> ), distribución de agregados con humedad.....	<b>213</b>
<b>Tabla 4.23.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A <sub>1</sub> ): humedad, textura y distribución de agregados; con parámetros físicos (horizonte A <sub>2</sub> ): humedad y distribución de agregados.....	<b>214</b>
<b>Tabla 4.24.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A <sub>1</sub> ): estabilidad de agregados, microagregación y densidad aparente; con parámetros físicos (horizonte A <sub>2</sub> ): humedad y distribución de agregados.....	<b>215</b>
<b>Tabla 4.25.</b> Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A <sub>1</sub> ): carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total, composición de la materia orgánica e índices de composición húmica; con parámetros químicos (horizonte A <sub>2</sub> ): carbonato cálcico y materia orgánica total.....	<b>216</b>
<b>Tabla 4.26.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A <sub>1</sub> ): humedad, textura y distribución de agregados; con parámetros químicos (horizonte A <sub>2</sub> ): carbonato cálcico y materia orgánica total.....	<b>217</b>
<b>Tabla 4.27.</b> Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A <sub>1</sub> ): estabilidad de agregados y microagregación; con parámetros químicos (horizonte A <sub>2</sub> ): carbonato cálcico y materia orgánica total.....	<b>219</b>
<b>Tabla 4.28.</b> Análisis factorial y valores de la varianza explicada.....	<b>222</b>

<b>Tabla 4.29.</b> Análisis de componentes principales. Valores de comunalidad entre parámetros y factores obtenidos.....	<b>223</b>
<b>Tabla 4.30.</b> Características macromorfológicas del perfil Entrada de la zona sur (SAC-S-P1) .....	<b>227</b>
<b>Tabla 4.31.</b> Características macromorfológicas del perfil Campo Arriba de la zona sur (SAC-S-P2) .....	<b>228</b>
<b>Tabla 4.32.</b> Características macromorfológicas del perfil Aliagas de la zona sur (SAC-S-P3) .....	<b>229</b>
<b>Tabla 4.33.</b> Características macromorfológicas del perfil Carrasca de la zona sur (SAC-S-P4) .....	<b>230</b>
<b>Tabla 4.34.</b> Características macromorfológicas del perfil Final de la zona centro (SAC-C-P1).....	<b>231</b>
<b>Tabla 4.35.</b> Características macromorfológicas del perfil Almendros de la zona centro (SAC-C-P2).....	<b>232</b>
<b>Tabla 4.36.</b> Características macromorfológicas del perfil Tarde de la zona centro (SAC-C-P3).....	<b>233</b>
<b>Tabla 4.37.</b> Características macromorfológicas del perfil Campo Abajo de la zona centro (SAC-C-P4) .....	<b>234</b>
<b>Tabla 4.38.</b> Características macromorfológicas del perfil Bañeras de la zona centro (SAC-C-P5).....	<b>235</b>
<b>Tabla 4.39.</b> Características macromorfológicas del perfil Grietas de la zona norte (SAC-N-P1) .....	<b>236</b>
<b>Tabla 4.40.</b> Características macromorfológicas del perfil Carrasca Alta de la zona norte (SAC-N-P2) .....	<b>237</b>
<b>Tabla 4.41.</b> Características macromorfológicas del perfil Carrasca Baja de la zona norte (SAC-N-P3) .....	<b>238</b>
<b>Tabla 4.42.</b> Características macromorfológicas del perfil Pinos de la zona norte (SAC-N-P4) .....	<b>239</b>
<b>Tabla 4.43.</b> Tipos de artrópodos encontrados en los perfiles de la cuenca .....	<b>274</b>
<b>Tabla 4.44.</b> Uso, litología, tipo de suelo, vegetación y número total de individuos/m <sup>2</sup> encontrados en los perfiles estudiados en la cuenca (valores medios).....	<b>275</b>
<b>Tabla 4.45.</b> Matriz de correlación de las variables correspondientes a las propiedades físicas y químicas estudiadas de los perfiles de suelo de la cuenca .....	<b>279</b>
<b>Tabla 4.46.</b> Análisis factorial y valores de la varianza explicada .....	<b>280</b>
<b>Tabla 4.47.</b> Matriz de componentes principales .....	<b>280</b>

<b>Tabla 4.48.</b> Evolución de la vegetación y de la cobertura del suelo tras el abandono de las prácticas agrícolas. N = nº parcelas; D.E.= Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 95%.....	<b>282</b>
<b>Tabla 4.49.</b> Variaciones de la actividad biológica en el suelo con la edad de abandono de las prácticas agrícolas, utilizando la población de microartrópodos como indicador. N = nº parcelas; D.E.= Desviación estándar .....	<b>284</b>
<b>Tabla 4.50.</b> Características del suelo natural de la zona de estudio .....	<b>285</b>
<b>Tabla 4.51.</b> Datos de lluvia de la estación pluviométrica de la Marina Baixa (izquierda) y Guadalest (derecha), disgregados en intervalos de 5 minutos .....	<b>290</b>
<b>Tabla 4.52.</b> Esquema de las condiciones aplicadas en cada uno de los escenarios de las distintas simulaciones realizadas en la cuenca de estudio.....	<b>291</b>
<b>Tabla 4.53.</b> Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, <b>a1, a2:</b> lluvia Guadalest y <b>d1, d2:</b> lluvia Marina Baixa .....	<b>293</b>
<b>Tabla 4.54.</b> Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, <b>b1, b2:</b> lluvia Guadalest y <b>e1, e2:</b> lluvia Marina Baixa .....	<b>298</b>
<b>Tabla 4.55.</b> Coeficiente de hidrofobia (k) aplicado en los escenarios <b>c</b> y <b>f</b> .....	<b>302</b>
<b>Tabla 4.56.</b> Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, <b>c1, c2:</b> lluvia Guadalest y <b>f1, f2:</b> lluvia Marina Baixa.....	<b>303</b>
<b>Tabla 4.57.</b> Valores medios del coeficiente de hidrofobia (k) de las especies vegetales presentes en la cuenca de estudio, en condiciones de invierno y verano.....	<b>305</b>

## RESUMEN

Las condiciones ambientales semihúmedas de la zona de estudio influyen de manera directa sobre las características de los suelos allí desarrollados, siendo la vegetación un factor clave sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

Estas relaciones se manifiestan en los distintos parámetros del suelo de manera que:

Los valores de humedad gravimétrica a lo largo del año presentan relaciones directas con las precipitaciones medias registradas, e inversas con las temperaturas medias del aire obtenidas en la estación meteorológica.

Los contenidos medios anuales de la humedad gravimétrica del suelo son siempre mayores bajo especies herbáceas, seguido de los suelos que soportan vegetación de porte medio (*Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*), siendo los menores niveles de humedad gravimétrica los obtenidos en los pasillos.

En los meses de diciembre, febrero, y de abril a julio se observa una disminución en los niveles de humedad volumétrica, con algunas excepciones especialmente en suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* y *Ulex parviflorus* (en diciembre), y en pasillo pedregoso y bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (en junio). Pero a partir de agosto y hasta noviembre los contenidos de humedad se van incrementando de manera progresiva en la mayoría de los puntos de muestreo, salvo bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* y *Brachypodium retusum* (en agosto) y bajo *Ulex parviflorus* (en octubre).

Los valores texturales denotan un contenido medio elevado de arcilla en todos los puntos de muestreo, y una baja desviación. La mayor cantidad de microporos y arcilla produce una elevación del agua fuertemente retenida por la estructura del suelo (*Juniperus oxycedrus*), mientras que ligeras modificaciones de estos parámetros originan una disminución del contenido de agua útil (*Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*).

El estado de agregación del suelo es un parámetro sintético capaz de explicar la calidad del suelo de la zona al estar influenciado por los procesos de evolución edáfica, por la erosión, por la vegetación, por el uso y por las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los resultados de la agregación del suelo indican que los valores medios mensuales de las distintas fracciones de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), presentan una distribución de agregados predominante a lo largo del año que sigue la pauta (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). Estacionalmente, los porcentajes más elevados de las fracciones mayores (>10 y de 10-5 mm) predominan en los horizontes subsuperficiales (A<sub>2</sub>). En la fracción intermedia de 5-2 mm esto ocurre en los meses estivales (desde junio a agosto), y en los meses de febrero y mayo, siendo en el resto de meses del año donde los suelos superficiales (A<sub>1</sub>) presentan valores más elevados que los subsuperficiales (A<sub>2</sub>). En cambio, en las fracciones de menor tamaño (2-1 mm y <1 mm), durante todos los meses del año se registran porcentajes más altos en los horizontes superficiales (A<sub>1</sub>).

La acción agregante de las raíces se manifiesta en la época estival y en primavera, cuando aumenta la capa mucilaginosa que existe alrededor de las raíces que confiere al suelo una acción cementante sobre las partículas producidas por las raíces y bacterias de la zona radicular.

Los resultados obtenidos en los diferentes microambientes muestran, tanto para suelo seco como húmedo, la mayor estabilidad para la especie *Brachypodium retusum*, seguido por los suelos bajo aromáticas y por último pasillos. El aumento del contenido de humedad eleva la estabilidad de los agregados (pF 1), hecho que se manifiesta también en los meses en los que existe aumento de precipitación (enero y octubre), con un acusado descenso en meses secos (julio).

De forma similar a los resultados obtenidos de diámetro medio de los microagregados, los valores medios más elevados de microagregados estables al agua se alcanzan en los suelos bajo *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*, le siguen con valores algo inferiores los suelos bajo *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia* y *Ulex parviflorus*, observándose los valores más bajos en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* y en los pasillos.

A partir de los valores medios obtenidos de fracción fina microagregada, se observa que el suelo bajo *Lavandula latifolia* es el que presenta mayor porcentaje, descendiendo para los suelos bajo *Brachypodium retusum*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Thymus vulgaris* con valores muy similares entre ellos, siendo bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos donde se han obtenido los porcentajes más bajos. En los suelos del grupo de los pasillos se obtienen porcentajes más elevados de fracción fina microagregada en el pasillo pedregoso que en el desnudo.

El índice de agregación relativo establecido en función de la textura particular de cada horizonte, nos indica las proporciones en que los minerales primarios (textura) se organizan formando "clusters de partículas" de mayor tamaño o unidades microestructurales, obteniéndose los valores medios más elevados en los suelos bajo *Brachypodium retusum*, seguido de los suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*, siendo bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos donde se observan los valores más bajos de índice de agregación relativo.

Los valores medios de densidad aparente son bajos en general, y tienden a incrementarse con gran variabilidad en los meses fríos y disminuyen en los meses cálidos (mínimos en los meses de junio y julio, y máximos en septiembre y enero), localizándose los valores más altos en los pasillos y bajo las especies *Juniperus oxycedrus*, *Thymus vulgaris* y *Cistus albidus*. Los valores intermedios de densidad aparente corresponden a los suelos bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus* y bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, siendo los suelos bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia* los que presentan los valores medios más bajos de densidad aparente. La mayor variabilidad se observa en el suelo del pasillo desnudo y bajo la especie aromática *Thymus vulgaris*, mientras que la menor variabilidad se obtiene en el suelo del pasillo pedregoso y bajo *Juniperus oxycedrus*.

Los máximos valores obtenidos de densidad aparente que se dan en los suelos de los pasillos corresponden con los suelos más compactados, y coinciden con valores mínimos de porosidad, haciéndose patente el efecto favorecedor de la vegetación sobre la compactación del suelo, al favorecer las raíces la formación de poros y grietas en el suelo que aumentan la porosidad y el paso de aire y solutos.

La vegetación de cobertura continua como la cubierta de *Brachypodium retusum*, favorece la disminución de la densidad aparente, así como la permanencia de la humedad en el suelo y la estabilidad de la estructura.

Las plantas aromáticas favorecen igualmente la disminución de la densidad aparente, posiblemente por el aporte de residuos vegetales que realiza un efecto protector sobre la estructura del suelo, mejorando su estabilidad y la formación de agregados de mayor tamaño.

Los valores medios anuales de porosidad presentan escasa variabilidad, y de forma generalizada, las desviaciones son muy semejantes a lo largo del año. Las especies aromáticas (*Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*) y herbáceas (*Brachypodium retusum*) proporcionan valores elevados. Mientras que los porcentajes más bajos se obtienen en pasillos y bajo las especies *Juniperus oxycedrus* y *Thymus vulgaris*. Los suelos de los pasillos sin vegetación presentan baja porosidad, disminuyendo todavía más con el aumento de la pedregosidad. Se han obtenido relaciones inversas con los valores de densidad aparente, dada la disminución de la porosidad debida a la compactación del suelo.

Temporalmente se observa la disminución de los valores medios de porosidad en los meses fríos y un aumento desde marzo hasta junio, a partir de este mes los valores vuelven a descender, siendo los meses de septiembre y enero los que presentan los valores más bajos de porosidad.

Como resumen de las propiedades químicas podemos destacar la elevada proporción de las fracciones de materia orgánica más evolucionadas, ácidos fúlvicos y huminas en suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, respectivamente. De igual forma, los contenidos mayores de ácidos húmicos se obtienen también bajo *Brachypodium retusum*, lo cual nos indica que se trata de un género de plantas enriquecedoras para el suelo, que aporta una cobertura vegetal bastante continua y constante en gran parte del año, con elevada evolución de la materia orgánica que bajo ella se desarrolla.

Los resultados obtenidos en los diferentes índices de composición húmica indican que el índice de polimerización se considera normal bajo la mayoría de las especies, aunque para los pasillos, *Juniperus oxycedrus* y *Santolina chamaecyparissus* descienden ligeramente de este valor, indicando que la humificación podría frenarse en las primeras etapas del proceso de transformación.

El índice de estabilidad estructural pone en evidencia un predominio de la humina, fracción húmica con mejor actividad estructurante. Y aunque los valores obtenidos en los distintos microambientes no son elevados, pero estos van acompañados de niveles correctos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Los rangos del grado de humificación son ligeramente inferiores a los valores medios normales de suelos agrícolas, indicando una cierta acumulación de materia orgánica fresca aportada por la vegetación que podría producir una deficiente evolución orgánica en estos suelos.

El contenido de materia orgánica total es elevado para todos los puntos de muestreo, manifiestándose de nuevo el contraste entre la especie *Brachypodium retusum* y algunas aromáticas frente a menores valores en los pasillos, con diferencias significativas entre estos suelos en épocas del año contrastadas (verano e invierno).

El efecto de la vegetación se hace patente en los distintos microambientes, en lo que se refiere a la relación entre la estabilidad de agregados y los diferentes niveles de materia orgánica anuales y temporales. Los cambios estacionales en la transformación de la



materia orgánica dada su mayor mineralización en la época estival, afectan directamente a este parámetro.

Respecto al resto de parámetros químicos, los contenidos medios de nitrógeno total son bajos y elevados los de fósforo asimilable. A pesar de la escasa productividad de estos suelos, hay que considerar el estado de abandono que en algunos casos se trata de 50 años, lo cual ha permitido una recuperación de sus propiedades, además de tener en cuenta la utilización ganadera actual en algunas de las parcelas estudiadas.

Los valores de CIC son elevados, lo que se corresponde con el alto contenido en materia orgánica y en algunos casos de la fracción fina de estos suelos. En el complejo de cambio el calcio es siempre el catión dominante como corresponde a suelos calizos, situándose en valores normales el resto de cationes de cambio.

Los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica, así como de carbonatos totales, muestran que se tratan de suelos básicos sin problemas de salinidad.

La recuperación del contenido de materia orgánica de los suelos del área de estudio tras el abandono de las prácticas agrícolas en zonas marginales de clima mediterráneo subhúmedo y litología calcárea, depende del tipo de cobertura vegetal que recoloniza el suelo. Comparado con el suelo desnudo, la cobertura de herbáceas de tipo *Brachypodium retusum* favorece más la acumulación de materia orgánica y la humificación de ésta que otras coberturas de tipo leñosas subarborescentes y aromáticas. No obstante, se detecta una gran variabilidad en estos dos tipos de cobertura lo que sugiere una contribución distinta de cada tipo de planta, posiblemente por la cantidad y la composición de los restos vegetales que se incorporan al suelo.

La valoración por el método químico de oxidación permite analizar el comportamiento diferencial del suelo en un gradiente de menor a mayor contenido de materia orgánica en distintas épocas del año. Este comportamiento diferencial también se ha podido constatar mediante el estudio de microscopía/RX y de IR. La cuantificación del C en cada fracción es necesaria para comprender el proceso de humificación en el suelo, y éste depende del tipo de residuos vegetales pero también del microclima del suelo y de la actividad biológica en cada microambiente edáfico.

Dentro de los artrópodos que componen la diversidad de fauna edáfica que habita en los puntos de muestreo, los individuos predominantes y más representativos son los colémbolos, seguido de ácaros oribátidos y ácaros gamásidos, siendo capturados en mayores cantidades en el horizonte superficial que en el subsuperficial. Otros artrópodos detectados en cantidades inferiores en ambos horizontes son pselafognatas, craspedosomidos, larvas de coleópteros, ácaros acarídidos, tejedores y trips, y otros individuos capturados en pequeñas cantidades son los arácnidos, chilopodas y chinches (sólo en el horizonte más superficial A<sub>1</sub>), y dípteros y pulgones (sólo en el horizonte subsuperficial A<sub>2</sub>).

Los colémbolos son más abundantes principalmente en suelos bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia*, *Thymus vulgaris* y *Rosmarinus officinalis*. En cuanto a los ácaros oribátidos, predominan en suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, mientras que los ácaros gamásidos abundan mayoritariamente bajo *Ulex parviflorus*, *Lavandula latifolia* y *Thymus vulgaris*.

En principio, cualquier influencia externa negativa en el suelo tales como la eliminación de la vegetación o cobertura vegetal, disminución de la mesofauna por parte de los

microorganismos del suelo producida por la influencia del tipo de cobertura (plantas mejorantes de las propiedades físicas del suelo), condiciones climáticas, valores más elevados del contenido de humedad, diferencias en las temperaturas extremas, amplitud térmica, influencia de la pendiente topográfica en los distintos puntos de estudio, o incluso variación de ciertas propiedades químicas como la cantidad de carbonato cálcico que favorece la cementación de los agregados, el aumento de la conductividad eléctrica por la presencia de sales que producen dispersión de agregados, o bien el aumento de cationes bivalentes como el calcio que aumentan la agregación y producen la floculación de la estructura, etc., podrían modificar este parámetro.

En el estudio del cluster se observan dos grupos diferenciados, el primero de ellos corresponde a los microambientes con mayor cobertura en el que se incluyen en primer lugar los suelos bajo *Brachypodium retusum* y de plantas como *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*, con gran cobertura frente al grupo de suelos desnudos y cubiertos por piedras. El suelo bajo *Juniperus oxycedrus* marca el nexo de unión entre ambos tipos de ambientes.

El análisis de componentes principales muestra dos factores, el factor 1 denominado *factor indicador de la nutrición de la planta* con mayor peso sobre la varianza (40,77%) que agrupa de forma directa variables como las bases de cambio (Ca y Mg), la C.I.C, el contenido en carbonatos y humedad, además de parámetros como la arcilla, pH y agregados de tamaño >10 mm, e inversa con los contenidos de arena y limo, la conductividad eléctrica, agregados de tamaños intermedios (10-5 mm, 5-2 mm y 2-1 mm) y el contenido de sodio de cambio. El factor 2 denominado *factor orgánico* que explica el 34,34% de la varianza, agrupa de manera directa y significativa los nutrientes nitrógeno y fósforo, el contenido de materia orgánica y la fracción humina, siendo inversa con las fracciones de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

En la cuenca de estudio de la sierra de Cocoll, la influencia de la edad de abandono de las prácticas agrícolas originan cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en función del tiempo de abandono y la recuperación de la calidad del suelo agrícola frente a los niveles del suelo natural no cultivado. En condiciones de clima mediterráneo subhúmedo, la recuperación de la vegetación y el incremento de materia orgánica en el suelo aumenta exponencialmente con la edad de abandono de las prácticas agrícolas.

Los suelos dominantes en la zona corresponden a Luvisoles, Calcisoles, y Leptosoles en las laderas, todos ellos con elevado contenido de materia orgánica. La mayor parte de las propiedades analizadas en los perfiles de suelo siguen un modelo de variación exponencial con la edad de abandono, incrementando su calidad durante los primeros 15 años tras el abandono, y aumentando rápidamente con niveles de cobertura vegetal superiores al 25%. En estas condiciones climáticas y experimentales, la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas a los niveles del suelo natural se produce hacia los 60-90 años del cese de las prácticas agrícolas.

Los resultados del estudio estadístico en perfiles de suelos muestra gran número de correlaciones significativas entre parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. El contenido de carbonato cálcico presenta relación con los valores de humedad (directa con la humedad en el punto de marchitez permanente e inversa con la humedad a capacidad de campo). El contenido de materia orgánica se correlaciona directamente con el agua útil, la humedad a capacidad de campo y los agregados de 5-2 mm, e inversamente con los

contenidos de arena y limo. Además el agua útil del suelo presenta relación directa con los valores de pH en agua y el contenido de magnesio de cambio, mientras que la correlación es inversa con los contenidos de arena y limo. En cuanto a los contenidos de nitrógeno y fósforo, se relacionan directamente con los valores de conductividad eléctrica, así como con el contenido en limo (en el caso del nitrógeno) y con los agregados de 5-2 mm (en el fósforo). Los valores de pH presentan además correlación directa con los agregados de menor tamaño (<1 mm), e inversa con el contenido en limo. En relación a las bases de cambio, el magnesio se relaciona indirectamente con la humedad en el punto de marchitez permanente y con el contenido en arena, sin embargo el sodio presenta correlación directa con los agregados de 5-2 mm y con los contenidos de fósforo.

Los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 de valoración de la erosión en la cuenca de estudio, combinando los datos de infiltración y humedad del suelo para dos épocas del año distintas, muestran los valores más elevados de escorrentía superficial en la época de invierno, cuando el contenido en humedad del suelo es mayor y la capacidad de infiltración del suelo es menor.

Los polígonos que presentan mayor escorrentía en las zonas bajas de ladera se caracterizan por tener alta cohesión, menor porcentaje de rocas, textura bastante fina, humedad relativamente más alta pese a tener valores altos de infiltración, y disposición topográfica con pendientes muy bajas. En base a los resultados obtenidos podemos decir que la respuesta hidrológica está regulada fundamentalmente por los valores de infiltración y los contenidos de humedad inicial, y con menor importancia el efecto de la hidrofobia. Es decir, sólo en los casos en que los tres parámetros siguen una tendencia paralela, se pone en evidencia la importancia y conllevan diferencias significativas las variaciones del coeficiente de hidrofobia en los primeros momentos de la simulación de lluvia.

La exposición de las laderas se manifiesta como un factor importante en la pérdida de suelo dado que modifica la cobertura vegetal y las interferencias y, como consecuencia, la escorrentía superficial.

La información derivada de la aplicación del modelo EuroSEM manifiesta los puntos críticos donde se presentan fenómenos erosivos, importante para aplicar medidas paliativas, específicas según la problemática de cada zona, para prevenir y mitigar la erosión del suelo y sus efectos sobre el territorio.

## RESUM

Les condicions ambientals semihumides de l'àrea d'estudi influeixen directament en les característiques dels sòls allí desenvolupats, sent la vegetació un factor clau en els paràmetres físics, químics i biològics del sòl.

Aquestes relacions es manifesten en els diferents paràmetres del sòl de manera que:

Els valors d'humitat gravimètrica al llarg de l'any presenten relacions directes amb les precipitacions mitjanes registrades, i inverses amb les temperatures mitjanes de l'aire obtingudes en l'estació meteorològica.

Els continguts mitjans anuals de la humitat gravimètrica del sòl són sempre majors sota espècies herbàcies, seguit dels sòls que suporten vegetació de port mitjà (*Ulex parviflorus* i *Santolina chamaecyparissus*), sent els menors nivells d'humitat gravimètrica els obtinguts en els sòls desprovistos de vegetació.

En els mesos de desembre, febrer, i d'abril a juliol s'observa una disminució en els nivells d'humitat volumètrica, amb algunes excepcions especialment en sòls sota les espècies *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* i *Ulex parviflorus* (al desembre), i en zones pedregoses i sota l'espècie herbàcia *Brachypodium retusum* (al juny). Però a partir d'agost i fins a novembre els continguts d'humitat es van incrementant de manera progressiva en la majoria dels punts de mostreig, excepte baix les espècies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* i *Brachypodium retusum* (a l'agost) i baix *Ulex parviflorus* (a l'octubre).

Els valors texturals denoten un contingut mitjà elevat d'argila en tots els punts de mostreig, i una baixa desviació. La major quantitat de microporos i argila produeix una elevació de l'aigua fortament retinguda per l'estructura del sòl (*Juniperus oxycedrus*), mentre que lleugeres modificacions d'aquests paràmetres originen una disminució del contingut d'aigua útil (*Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Brachypodium retusum* i *Santolina chamaecyparissus*).

L'estat d'agregació del sòl és un paràmetre sintètic capaç d'explicar la qualitat del sòl de la zona en estar influenciat pels processos d'evolució edàfica, per l'erosió, per la vegetació, per l'ús i per les propietats físiques i químiques del sòl.

Els resultats de l'agregació del sòl mostren que els valors mitjans mensuals de les diferents fraccions de les mostres de sòl superficials (horitzó A<sub>1</sub>), presenten una distribució d'agregats predominant al llarg de l'any que segueix la pauta (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). Estacionalment, els percentatges més elevats de les fraccions majors (>10 y de 10-5 mm) predominen en els horitzons subsuperficials (A<sub>2</sub>). En la fracció intermèdia de 5-2 mm açò ocorre en els mesos estivals (des de juny a agost), i en els mesos de febrer i maig, sent en la resta de mesos de l'any on els sòls superficials (A<sub>1</sub>) presenten valors més elevats que els subsuperficials (A<sub>2</sub>). En canvi, en les fraccions de menor grandària (2-1 mm i <1 mm), durant tots els mesos de l'any es registren percentatges més alts en els horitzons superficials (A<sub>1</sub>).

El poder d'agregació de les arrels es manifesta en l'època estival i a la primavera, quan augmenta la capa existent al voltant de les arrels que confereix al sòl una acció d'enduriment per a les partícules produïdes per les arrels i bacteris.

Els resultats obtinguts en els diferents microambients mostren, tant per a sòl sec com a humit, la major estabilitat per a l'espècie *Brachypodium retusum*, seguit pels sòls baix aromàtiques i finalment zones desprovistes de vegetació. L'augment del contingut d'humitat eleva l'estabilitat dels agregats (pF 1), fet que es manifesta també en els mesos en els quals existeix augment de precipitació (gener i octubre), amb un acusat descens en mesos secs (juliol).

De forma similar als resultats obtinguts de diàmetre mitjà dels microagregats, els valors mitjans més elevats de microagregats estables a l'aigua s'aconsegueixen en els sòls baix *Brachypodium retusum* i *Santolina chamaecyparissus*, li segueixen amb valors una mica inferiors els sòls baix *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia* i *Ulex parviflorus*, observant-se els valors més baixos en els sòls sota *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* i en els sòls sense vegetació.

A partir dels valors mitjans obtinguts de fracció fina microagregada, s'observa que el sòl baix *Lavandula latifolia* és el que presenta major percentatge, descendint per als sòls sota *Brachypodium retusum*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* i *Thymus vulgaris* amb valors molt similars entre ells, sent baix *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* i en els sòls desprovistos de vegetació on s'han obtingut els percentatges més baixos. En el grup dels sòls sense vegetació s'obtenen percentatges més elevats de fracció fina microagregada en els sòls pedregosos que en els nus.

L'índex d'agregació relatiu establert en funció de la textura particular de cada horitzó, ens indica les proporcions en què els minerals primaris (textura) s'organitzen formant "clusters de partícules" de major grandària o unitats microestructurals, obtenint-se els valors mitjans més elevats en els sòls baix *Brachypodium retusum*, seguit dels sòls baix *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus* i *Santolina chamaecyparissus*, sent sota *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* i en els sòls sense vegetació on s'observen els valors més baixos d'índex d'agregació relatiu.

Els valors mitjans de densitat aparent són baixos en general, i tendeixen a incrementar-se amb gran variabilitat en els mesos freds i disminueixen en els mesos càlids (mínims en els mesos de juny i juliol, i màxims al setembre i gener), localitzant-se els valors més alts en els sòls desprovistos de vegetació i sota les espècies *Juniperus oxycedrus*, *Thymus vulgaris* i *Cistus albidus*. Els valors intermedis de densitat aparent corresponen als sòls sota l'espècie aromàtica *Santolina chamaecyparissus* i baix l'espècie herbàcia *Brachypodium retusum*, sent els sòls sota les espècies aromàtiques *Rosmarinus officinalis* i *Lavandula latifolia* els que presenten els valors mitjans més baixos de densitat aparent. La major variabilitat s'observa en els sòls nus i sota l'espècie aromàtica *Thymus vulgaris*, mentre que la menor variabilitat s'obté en els sòls pedregosos i sota *Juniperus oxycedrus*.

Els màxims valors obtinguts de densitat aparent que es donen en els sòls sense vegetació corresponen amb els sòls més compactats, i coincideixen amb valors mínims de porositat, fent-se patent l'efecte afavoridor de la vegetació sobre la compactació del sòl, en afavorir les arrels la formació de porus i esquerdes en el sòl que augmenten la porositat i el pas d'aire i soluts.

La vegetació de cobertura contínua com la coberta de *Brachypodium retusum*, afavoreix la disminució de la densitat aparent, així com la permanència de la humitat en el sòl i l'estabilitat de l'estructura.

Les plantes aromàtiques afavoreixen igualment la disminució de la densitat aparent, possiblement per l'aportació de residus vegetals que realitza un efecte protector sobre l'estructura del sòl, millorant la seua estabilitat i la formació d'agregats de major grandària.

Els valors mitjans anuals de porositat presenten escassa variabilitat, i de forma generalitzada, les desviacions són molt semblants al llarg de l'any. Les espècies aromàtiques (*Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* i *Santolina chamaecyparissus*) i herbàcies (*Brachypodium retusum*) proporcionen valors elevats. Mentre que els percentatges més baixos s'obtenen en sòls desprovistos de vegetació i sota les espècies *Juniperus oxycedrus* i *Thymus vulgaris*. Els sòls sense vegetació presenten baixa porositat, disminuint encara més amb l'augment de la pedregosidad. S'han obtingut relacions inverses amb els valors de densitat aparent, donada la disminució de la porositat deguda a la compactació del sòl.

Temporalment s'observa la disminució dels valors mitjans de porositat en els mesos freds i un augment des de març fins a juny, a partir d'aquest mes els valors tornen a descendir, sent els mesos de setembre i gener els que presenten els valors més baixos de porositat.

Com a resum de les propietats químiques podem destacar l'elevada proporció de les fraccions de matèria orgànica més evolucionades, àcids fúlvics i humines en sòls baix *Santolina chamaecyparissus* i *Brachypodium retusum*, respectivament. D'igual forma, els continguts majors d'àcids húmics s'obtenen també sota *Brachypodium retusum*, la qual cosa ens indica que es tracta d'un gènere de plantes enriquidores per al sòl, que aporta una cobertura vegetal bastant contínua i constant en gran part de l'any, amb elevada evolució de la matèria orgànica que sota ella es desenvolupa.

Els resultats obtinguts en els diferents índexs de composició húmica indiquen que l'índex de polimerització es considera normal sota la majoria de les espècies, encara que per als sòls sense vegetació, *Juniperus oxycedrus* i *Santolina chamaecyparissus* descendeixen lleugerament d'aquest valor, indicant que la humificació podria frenar-se en les primeres etapes del procés de transformació.

L'índex d'estabilitat estructural posa en evidència un predomini de la humina, fracció húmica amb millor activitat estructurant. I encara que els valors obtinguts en els diferents microambients no són elevats, però aquests van acompanyats de nivells correctes d'àcids húmics i àcids fúlvics.

Els valors del grau d'humificació són lleugerament inferiors als valors mitjans normals de sòls agrícoles, indicant una certa acumulació de matèria orgànica fresca aportada per la vegetació que podria produir una deficient evolució orgànica en aquests sòls.

El contingut de matèria orgànica total és elevat per a tots els punts de mostreig, manifestant-se de nou el contrast entre l'espècie *Brachypodium retusum* i algunes aromàtiques enfront de menors valors en els sòls desprovistos de vegetació, amb diferències significatives entre aquests sòls en èpoques de l'any contrastades (estiu i hivern).

L'efecte de la vegetació es fa patent en els diferents microambients, pel que fa a la relació entre l'estabilitat d'agregats i els diferents nivells de matèria orgànica anuals i temporals. Els canvis estacionals en la transformació de la matèria orgànica donada la seua major mineralització en l'època estival, afecten directament a aquest paràmetre.

Respecte a la resta de paràmetres químics, els continguts mitjans de nitrògen total són baixos i elevats els de fòsfor assimilable. Malgrat l'escassa productivitat d'aquests sòls, cal considerar l'estat d'abandó que en alguns casos es tracta de 50 anys, la qual cosa ha permès una recuperació de les seues propietats, a més de tenir en compte la utilització ramadera actual en algunes de les parcel·les estudiades.

Els valors de la CIC són elevats, la qual cosa es correspon amb l'alt contingut en matèria orgànica i en alguns casos de la fracció fina d'aquests sòls. En el complex de canvi el calci és sempre el catió dominant com correspon a sòls calcaris, situant-se en valors normals la resta de cations de canvi.

Els valors obtinguts de pH i conductivitat elèctrica, així com de carbonats totals, mostren que es tracten de sòls bàsics sense problemes de salinitat.

La recuperació del contingut de matèria orgànica dels sòls de l'àrea d'estudi després de l'abandó de les pràctiques agrícoles en zones marginals de clima mediterrani subhúmid i litologia calcària, depèn del tipus de cobertura vegetal que recoloniza el sòl. Comparat amb el sòl nu, la cobertura d'herbàcies de tipus *Brachypodium retusum* afavoreix més l'acumulació de matèria orgànica i la humificació d'aquesta que altres cobertures de tipus llenyoses subarborescents i aromàtiques. No obstant açò, es detecta una gran variabilitat en aquests dos tipus de cobertura el que suggereix una contribució diferent de cada tipus de planta, possiblement per la quantitat i la composició de les restes vegetals que s'incorporen al sòl.

La valoració pel mètode químic d'oxidació permet analitzar el comportament diferencial del sòl en un gradient de menor a major contingut de matèria orgànica en diferents èpoques de l'any. Aquest comportament diferencial també s'ha pogut constatar mitjançant l'estudi per microscòpia/RX i IR. La quantificació del C en cada fracció és necessària per a comprendre el procés d'humificació en el sòl, i aquest depèn del tipus de residus vegetals però també del microclima del sòl i de l'activitat biològica en cada microambient edàfic.

Dins dels artròpodes que componen la diversitat de fauna edàfica que habita en els punts de mostreig, els individus predominants i més representatius són els colémbols, seguit d'àcars oribàtids i àcars gamàsids, sent capturats en majors quantitats en l'horitzó superficial que en el subsuperficial. Altres artròpodes detectats en quantitats inferiors en tots dos horitzons són pselafognatas, craspedosòmids, larves de coleòpters, àcars acaríids, teixidors i trips, i altres individus capturats en petites quantitats són els aràcnids, chilopodes i chinches (només en l'horitzó més superficial A<sub>1</sub>), i dípters i pugons (només en l'horitzó subsuperficial A<sub>2</sub>).

Els colémbols són més abundants principalment en sòls sota les espècies aromàtiques *Lavandula latifolia*, *Thymus vulgaris* i *Rosmarinus officinalis*. Quant als àcars oribàtids, predominen en sòls baix *Lavandula latifolia*, *Cistus albidus* i *Ulex parviflorus*, mentre que els àcars gamàsids abunden majoritàriament sota *Ulex parviflorus*, *Lavandula latifolia* i *Thymus vulgaris*.

En principi, qualsevol influència externa negativa en el sòl tals com l'eliminació de la vegetació o cobertura vegetal, disminució de la mesofauna per part dels microorganismes del sòl produïda per la influència del tipus de cobertura (plantes millorants de les propietats físiques del sòl), condicions climàtiques, valors més elevats del contingut d'humitat, diferències en les temperatures extremes, amplitud tèrmica, influència de la

pendent topogràfica en els diferents punts d'estudi, o fins i tot variació de certes propietats químiques com la quantitat de carbonat càlcic que afavoreix la cementació dels agregats, l'augment de la conductivitat elèctrica per la presència de sals que produeixen dispersió d'agregats, o bé l'augment de cations bivalents com el calci que augmenten l'agregació i produeixen la floculació de l'estructura, etc., podrien modificar aquest paràmetre.

En l'estudi del cluster s'observen dos grups diferenciats, el primer d'ells correspon als microambients amb major cobertura en el qual s'inclouen en primer lloc els sòls baix *Brachypodium retusum* i de plantes com *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* i *Cistus albidus*, amb gran cobertura enfront del grup de sòls nus i coberts per pedres. El sòl baix *Juniperus oxycedrus* marca el nexa d'unió entre tots dos tipus d'ambients.

L'anàlisi de components principals mostra dos factors, el factor 1 denominat *factor indicador de la nutrició de la planta* amb major pes sobre la variància (40,77%) que agrupa de forma directa variables com les bases de canvi (Ca i Mg), la C.I.C, el contingut en carbonats i humitat, a més de paràmetres com l'argila, pH i agregats de grandària > 10 mm, i inversa amb els continguts d'arena i llim, la conductivitat elèctrica, agregats de grandàries intermèdies (10-5 mm, 5-2 mm i 2-1 mm) i el contingut de sodi de canvi. El factor 2 denominat *factor orgànic* que explica el 34,34% de la variància, agrupa de manera directa i significativa els nutrients nitrògen i fòsfor, el contingut de matèria orgànica i la fracció humina, sent inversa amb les fraccions d'àcids húmics i àcids fúlvics.

En la conca d'estudi de la serra de Cocoll, la influència de l'edat d'abandó de les pràctiques agrícoles originen canvis de les propietats físiques, químiques i biològiques del sòl, en funció del temps d'abandó i la recuperació de la qualitat del sòl agrícola enfront dels nivells del sòl natural no conreat. En condicions de clima mediterrani subhúmid, la recuperació de la vegetació i l'increment de matèria orgànica en el sòl augmenta exponencialment amb l'edat d'abandó de les pràctiques agrícoles.

Els sòls dominants en la zona corresponen a Luvisols, Calcisols, i Leptosols en els vessants, tots ells amb elevat contingut de matèria orgànica. La major part de les propietats analitzades en els perfils de sòl segueixen un model de variació exponencial amb l'edat d'abandó, incrementant la seua qualitat durant els primers 15 anys després de l'abandó, i augmentant ràpidament amb nivells de cobertura vegetal superiors al 25%. En aquestes condicions climàtiques i experimentals, la recuperació de la qualitat dels sòls agrícoles als nivells del sòl natural es produeix cap als 60-90 anys del cessament de les pràctiques agrícoles.

Els resultats de l'estudi estadístic en perfils de sòls mostra gran nombre de correlacions significatives entre paràmetres físics, químics i biològics del sòl. El contingut de carbonat càlcic presenta relació amb els valors d'humitat (directa amb la humitat en el punt de pansiment permanent i inversa amb la humitat a capacitat de camp). El contingut de matèria orgànica es correlaciona directament amb l'aigua útil, la humitat a capacitat de camp i els agregats de 5-2 mm, i inversament amb els continguts d'arena i llim. A més l'aigua útil del sòl presenta relació directa amb els valors de pH en aigua i el contingut de magnesi de canvi, mentre que la correlació és inversa amb els continguts d'arena i llim. Quant als continguts de nitrògen i fòsfor, es relacionen directament amb els valors de conductivitat elèctrica, així com amb el contingut en llim (en el cas del nitrògen) i amb els agregats de 5-2 mm (en el fòsfor). Els valors de pH presenten a més correlació directa amb



els agregats de menor grandària (<1 mm), i inversa amb el contingut en llim. En relació a les bases de canvi, el magnesi es relaciona indirectament amb la humitat en el punt de pansiment permanent i amb el contingut en arena, no obstant açò el sodi presenta correlació directa amb els agregats de 5-2 mm i amb els continguts de fòsfor.

Els resultats de l'aplicació del model EuroSEM-2010 de valoració de l'erosió en la conca d'estudi, combinant les dades d'infiltració i humitat del sòl per a dues èpoques de l'any diferents, mostren els valors més elevats de vessament superficial en l'època d'hivern, quan el contingut en humitat del sòl és major i la capacitat d'infiltració del sòl és menor.

Els polígons que presenten major vessament en les zones baixes de vessant es caracteritzen per tenir alta cohesió, menor percentatge de roques, textura bastant fina, humitat relativament més alta malgrat tenir valors alts d'infiltració, i disposició topogràfica amb pendents molt baixes. Sobre la base dels resultats obtinguts podem dir que la resposta hidrològica està regulada fonamentalment pels valors d'infiltració i els continguts d'humitat inicial, i amb menor importància l'efecte de la hidrofobia. És a dir, només en els casos en què els tres paràmetres segueixen una tendència paral·lela, es posa en evidència la importància i comporten diferències significatives les variacions del coeficient de hidrofobia en els primers moments de la simulació de pluja.

L'exposició dels vessants es manifesta com un factor important en la pèrdua de sòl atès que modifica la cobertura vegetal i les interferències i, com a conseqüència, el vessament superficial.

La informació derivada de l'aplicació del model EuroSEM manifesta els punts crítics on es presenten fenòmens erosius, important per a aplicar mesures pal·liatives, específiques segons la problemàtica de cada zona, per a prevenir i mitigar l'erosió del sòl i els seus efectes sobre el territori.

## SUMMARY

Semihumid environmental conditions of the study area have a direct bearing on the characteristics of soils developed there, being a key factor vegetation on the physical, chemical and biological soil parameters.

These relationships are manifested in different soil parameters so that:

Gravimetric values throughout the year humidity have direct relationships with average rainfall recorded, and reverse with average air temperatures obtained from the meteorological station.

The annual average gravimetric moisture content of the soil are always higher under herbaceous species, followed by the soils that supports vegetation of medium size (*Ulex parviflorus* and *Santolina chamaecyparissus*), with the lowest levels of gravimetric moisture obtained in the hallways.

In the months of December, February, April and July and a decrease is observed in volumetric moisture levels, with a few exceptions especially in soils under the species *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* and *Ulex parviflorus* (in December), and on rocky corridor and low herbaceous species *Brachypodium retusum* (in June). But from August to November moisture contents are increasing progressively in most sampling points except under the species *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* and *Brachypodium retusum* (in August) and low *Ulex parviflorus* (in October).

Textural values denote a medium high clay content in all sampling points, and a low deviation. Most clay micropores and water causes an elevation tightly held by the soil structure (*Juniperus oxycedrus*), while slight changes of these parameters cause a decrease in water content of useful (*Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Brachypodium retusum* and *Santolina chamaecyparissus*).

The state of aggregation of the soil is a synthetic parameter able to explain soil quality of the area to be influenced by the processes of soil evolution, erosion by vegetation, the use and the physical and chemical properties of soil.

The results of soil aggregation indicate that the average monthly values of the different fractions of the samples of surface soil (A<sub>1</sub> horizon) have a predominant distribution of aggregates during the year following the pattern 5-2 mm > 2-1 mm > <1 mm > 10-5 mm > > 10 mm. Seasonally, the highest percentages of older fractions (> 10 and 10-5 mm) predominate in the subsurface horizons (A<sub>2</sub>). In the intermediate fraction 5-2 mm this occurs in the summer months (June to August), and in the months of February and May, being in the remaining months of the year where surface soils (A<sub>1</sub>) have higher values the subsurface (A<sub>2</sub>). In contrast, smaller fractions (2-1 mm and <1 mm), for every month of the year, higher percentages are recorded in the surface horizons (A<sub>1</sub>).

The root aggregating action occurs in the summer and spring, when it increases the mucilaginous layer that exists around the roots that gives the land a cementing action on the particles produced by the roots and bacteria from the root zone.

The results obtained show different microenvironments for both dry and wet soil, the increased stability for the species *Brachypodium retusum*, followed by low aromatic soils and finally corridors. Increasing moisture content increases the stability of aggregates (pF 1), a fact that is also evident in the months in which there is increased rainfall (January to October), with a sharp decline in dry months (July).

Similar to the results obtained with an average diameter of microaggregates, the highest average values of water stable microaggregates are reached in soils under *Brachypodium retusum* and *Santolina chamaecyparissus*, followed with somewhat lower values soils under *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia* and *Ulex parviflorus*, showing lower values in soils under *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* and hallways.

From the mean values of fine fraction microaggregated, it appears that the ground under *Lavandula latifolia* is the one with the highest percentage, down to the soil under *Brachypodium retusum*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris* and *Ulex parviflorus* with very similar values between them, *Juniperus oxycedrus* still low, *Rosmarinus officinalis* and hallways where they have obtained the lowest percentages. In soils group corridors highest percentages of microaggregated fine fraction obtained in the rocky corridor in the nude.

The relative aggregation rate established according to the particular texture of each horizon, indicates the proportions in which the primary mineral (texture) are arranged to form "clusters of particles" larger or microstructural units, yielding the highest average values soils under *Brachypodium retusum*, followed by soils under *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus* and *Santolina chamaecyparissus*, being under *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* and hallways where the lowest index values relative aggregation are observed.

The mean values of bulk density are low in general, and tend to increase with great variability in the cold months and lower in the warmer months (minimum in the months of June and July and peaks in September and January), more localized values high in the corridors and on the species *Juniperus oxycedrus*, *Thymus vulgaris* and *Cistus albidus*. Intermediate bulk density values correspond to soils under *Santolina chamaecyparissus* aromatic species and herbaceous species under *Brachypodium retusum* being soils under aromatic species *Rosmarinus officinalis* and *Lavandula latifolia* those with the lowest average values of bulk density. The greatest variability observed in the bare floor hallway and under the aromatic species *Thymus vulgaris*, while the lowest variability is obtained in the stony soil and under *Juniperus oxycedrus*.

The maximum values of apparent density occurring in the soils of the halls correspond to the most compacted soils, and coincide with minimum values of porosity, making patent the favorable effect of vegetation on soil compaction, to encourage the roots formation of pores and cracks in the ground which increase the porosity and the air passage and solutes.

Continuous coverage of vegetation cover as *Brachypodium retusum* favors decreased bulk density and moisture retention in the soil and the stability of the structure.

Aromatic plants also promote the reduction of bulk density, possibly by the plant contribution that performs a protective effect on soil structure, improving stability and the formation of larger aggregates.

The annual average porosity values have little variability, and generalized manner, the deviations are very similar throughout the year. Aromatic species (*Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* and *Santolina chamaecyparissus*) grasses (*Brachypodium retusum*) provide high values. While the lowest percentages are obtained in hallways and under the species *Juniperus oxycedrus* and *Thymus vulgaris*. Soil without vegetation corridors have low porosity, further decreasing with increasing pedregosidad. Inverse relationships have been obtained with bulk density values, given the decreased porosity due to compaction.

Temporarily lower average porosity values in the cold months and an increase from March to June, starting this month values down again, with the months of September and January is observed which have the lowest porosity values.

To summarize the chemical properties we can highlight the high proportion of the most advanced fractions of organic matter, fulvic acids and humin in soil under *Santolina chamaecyparissus* and *Brachypodium retusum* respectively. Similarly, the highest contents of humic acids are also obtained under *Brachypodium retusum*, which indicates that it is a genre of enriching the soil for plants, which provides a fairly constant and continuous vegetation cover in much of the year, high evolution of organic matter takes place under it.

The results obtained in the different rates of humic composition indicate that the rate of polymerization is considered normal under the most species, although the corridors, *Juniperus oxycedrus* and *Santolina chamaecyparissus* down slightly from this value, indicating that the humification could slow in the early stages of the transformation process.

The structural stability index reveals a predominance of humin, humic fraction better structuring activity. Although the values obtained in different microenvironments are not high, but they are accompanied by appropriate levels of humic and fulvic acids.

The ranges of the degree of humification are slightly below normal average values of agricultural soils, indicating a certain accumulation of fresh organic matter provided by the vegetation that could produce a weak organic evolution in these soils.

The total organic matter content is high for all sampling points, manifesting itself again the contrast between the species *Brachypodium retusum* and some aromatic versus lower values in the aisles, with significant differences between these soils in contrasting times of year (summer and winter).

The effect of vegetation is evident in the different microenvironments, as regards the relationship between the aggregate stability and different levels of annual and temporary organic matter. Seasonal changes in the transformation of organic matter mineralization due to its higher in summer, directly affect this parameter.

With respect to other chemical parameters, means total nitrogen content are low and elevated assimilable phosphorus. Despite the low productivity of these soils, consider the state of neglect in some cases is 50 years, which has allowed a recovery of their property, while taking into account the current livestock use in some of the paddocks.

CIC values are high, which corresponds to the high organic content and sometimes the fine fraction of the soils. In exchange complex calcium is always the dominant cation as befits calcareous soils, reaching normal values other exchange cations.

The values of pH and electrical conductivity as well as total carbonates show discussed basic soil salinity smoothly.

The recovery of the organic content of soils in the study area after the abandonment of farming practices in marginal areas of humid Mediterranean climate and calcareous lithology, depends on the type of plant cover recolonizes the ground. Compared to bare soil, herbaceous cover type *Brachypodium retusum* favors the accumulation of organic matter and humus of it than others hedges and aromatic woody type subarbustivas. However, great variability is detected in these two types of coverage suggesting a

different contribution of each type of plant, possibly because of the amount and composition of litter that is incorporated into the soil.

The assessment by the chemical oxidation method to analyze the differential behavior of the soil in a gradient from low to high content of organic matter in different seasons. This differential behavior has also been able to verify by studying microscopy/RX and IR. Quantification of C in each fraction is needed to understand the process of humus in the soil, and this depends on the type of plant residues but also the microclimate and soil biological activity in each edaphic microenvironment.

Within the arthropods that make up the diversity of soil fauna inhabiting the sampling points, the predominant and most representative individuals are springtails, followed by oribatid mites and mites gamásidos being captured in greater numbers in the topsoil than in the subsurface. Other arthropod found in lower amounts in both horizons are pselafognatas, craspedosomidos, grubs, acarididae mites, thrips and weavers, and other individuals caught in small quantities are arachnids, chilopodas and bugs (only in the most superficial horizon A<sub>1</sub>), and Diptera and aphids (only in the subsurface horizon A<sub>2</sub>).

Collembola are mainly more abundant in soils under *Lavandula latifolia* species, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*. As for oribatid mites predominate in soils under *Lavandula latifolia*, *Cistus albidus* and *Ulex parviflorus*, while mites abound gamásidos *Ulex parviflorus* mostly low, *Thymus vulgaris* and *Lavandula latifolia*.

In principle, any negative external influence on the ground such as removing vegetation or vegetation cover, reduced mesofauna by soil microorganisms produced by the influence of the type of coverage (improves plants physical soil properties), weather conditions, higher values of moisture content, differences in extreme temperatures, temperature range, influenced by topographic slope in the different points of study, or variation of certain chemical properties as the amount of calcium carbonate cementation favors aggregates, increased electrical conductivity by the presence of salts that produce dispersion aggregates or increase of divalent cations like calcium to increase the aggregation and flocculation occur structure, etc., may alter this parameter.

In the study of cluster two distinct groups, the first of which corresponds to the microenvironments more coverage included in the first soil under *Brachypodium retusum* and plants as *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* and *Cistus albidus*, with great hedge against the group of naked stones and covered by soil. The ground beneath *Juniperus oxycedrus* marks the link between both types of environments.

The principal component analysis shows two factors denominated factor 1 factor indicator of plant nutrition more weight on the variance (40,77%), which includes variables directly as the basis of change (Ca and Mg) CIC, the carbonate content and humidity, along with parameters such as clay, pH and aggregate size > 10 mm, and reverse with sand and silt content, electrical conductivity, aggregates of intermediate sizes (10-5 mm, 5-2 mm and 2-1 mm) and sodium exchange. Factor 2 called organic factor that explains 34,34% of the variance, groups directly and significantly the nutrients nitrogen and phosphorus, organic matter and humic fraction being inversely with fractions of humic and fulvic acids.

In the basin of study Cocoll saw the influence of the age of abandonment of agricultural practices lead to changes in the physical, chemical and biological soil properties, depending on the time of abandonment and recovery of the quality of agricultural land

compared to the levels of natural soil uncultivated. Under humid Mediterranean climate, the vegetation recovery and increased organic matter in the soil increases exponentially with age of abandonment of agricultural practices.

The dominant soils in the area correspond to Luvisols, Calcisols and Leptosols on the slopes, all with high content of organic matter. Most of the properties analyzed soil profiles follow a pattern of exponential variation with age of abandonment, increasing the quality during the first 15 years after abandonment, and increasing rapidly with levels above 25% vegetation cover. In these weather and experimental conditions, the recovery of the quality of agricultural soils to levels of natural soil occurs at 60-90 years of cessation of farming practices.

The results of the statistical analysis in soil profiles show many significant correlations between biological parameters, chemical and soil. The calcium carbonate content has relationship with the values of moisture (moisture directly at the point of permanent wilting and reverse with moisture at field capacity). The organic matter content is directly correlated with the available water, moisture at field capacity and aggregates 5-2 mm, and inversely with the contents of sand and silt. Also useful soil water has direct relationship with the values of pH in water and the magnesium content of change, while the inverse correlation with the contents of sand and silt. As for the contents of nitrogen and phosphorus, they are directly related to the values of electrical conductivity, as well as silt content (in the case of nitrogen) and aggregate 5-2 mm (in the match). pH values also correlate directly with smaller aggregates (<1 mm), and inversely with the silt content. In relation to exchange bases, magnesium is indirectly related to the moisture in the wilting point and the sand content, however sodium correlates directly with 5-2 mm aggregate and phosphorus contents.

The results of the application of EUROSEM 2010 pricing model erosion in the watershed study, combining data from infiltration and soil moisture for two different times of the year, show the highest values of surface runoff in the winter time when the soil moisture content is higher and the soil infiltration capacity is less.

Polygons have increased runoff in the lower hillside areas are characterized by high cohesion, lower percentage of rocks, texture rather fine, relatively high humidity despite having high levels of infiltration and topographical layout with very low slopes. Based on the results we can say that the hydrological response is regulated primarily by the values of infiltration and the initial moisture content, and with minor effect hydrophobia. That is, only in cases in which the three parameters follow a parallel trend, highlights the importance and differences involving significant changes in the coefficient of rabies in the first moments of simulation of rain.

The exposure of the slopes is manifested as an important factor in soil loss since modifies vegetation cover and interference and, therefore, the surface runoff.

The information derived from the application of the model manifests EUROSEM critical points where erosion, important to implement remedial measures, specific phenomena are presented according to the problems of each area, to prevent and mitigate soil erosion and its effects on the territory.

# **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Muchos de los factores responsables de la actividad física y química del suelo todavía no son conocidos en el suelo, lo cual supone una gran limitación en el empleo de técnicas correctas de vigilancia y manejo de los ecosistemas terrestres (Almendros, 2000).

La cuenca mediterránea muestra altos índices de degradación del suelo debido tanto a los numerosos incendios acaecidos en su territorio, como a la utilización intensiva agrícola y su abandono tras muchos siglos de utilización del suelo (López Bermudez, 1996). A pesar de ello, el alto grado de resistencia y elasticidad favorecido por las prácticas de conservación aplicadas y por mecanismos naturales de adaptación, hicieron perdurar suelos y especies vegetales.

La aridificación del clima afecta a las propiedades del suelo, produciendo su efecto sobre una menor disponibilidad de agua para las plantas que desencadena la disminución de la cubierta vegetal, el sellado y encostramiento de superficies y, en definitiva, la disminución de la materia orgánica.

Entre los parámetros indicadores de la degradación de suelos se encuentra el descenso de la estabilidad de la estructura del suelo que contribuye al sellado de las superficies, reduciendo la capacidad de infiltración. Decreciendo como consecuencia la actividad biológica, y produciéndose una serie de procesos de retroalimentación que conlleva a una degradación del mismo y de su cubierta vegetal (disminución de la cobertura, cambios a especies resistentes a la sequía, modificación de las especies autóctonas y su cambio por otras oportunistas, etc.) (Carrión et al., 2010).

Estudios sobre la degradación física de los suelos han sido realizados por numerosos autores bajo diferentes perspectivas (Mather et al., 2003; Calvo et al., 2003; Boix et al., 1999, 2001; Cerda et al., 1998, 2000, 2008, 2013; Rubio y Bochet, 1998; Symenakis et al., 2007; Imeson et al., 1999; Solé et al., 2011; Borselli et al., 2007, 2010; Torri et al., 1998, 2002; Salvador et al., 2008; Soriano et al., 1993), manifestando en todos los casos una elevada variabilidad de resultados en función de los parámetros analizados y los lugares estudiados.

También son numerosos aquellos estudios que analizan las propiedades químicas de los suelos desde el punto de vista de su deterioro por contaminación o salinización (Roca-Pérez et al., 2005; Mataix et al., 2009), coincidiendo en el efecto antrópico como el mayor causante de dicha degradación (García-Ruíz, 2010; Molina, 2004; Sánchez et al., 1998; Adriano, 1986; Soriano et al., 1995, 1996).

Y por último, los efectos sobre la degradación de la biota medida por la actividad enzimática (Almendros, 2000; Soriano et al., 2013; Quintero et al., 2003), y aunque en algunas ocasiones no ocurre así, en general muchas investigaciones han demostrado una correlación directa entre el número microbiano y la actividad enzimática, aunque algunas veces la actividad es independiente de la proliferación microbiana (Nannipieri et al., 1990; Schnürer et al., 1985; Burns et al., 2013; Burns, 1982).

Los resultados de Trasar-Cepeda et al., (2008) indican que el uso del suelo provoca una gran reducción en el contenido de materia orgánica, siendo en suelos modificados por el uso agrícola mayor la reducción que en los suelos de alta calidad (suelos con vegetación clímax).



Los mayores desafíos consisten en comprender cómo la degradación o recuperación de los suelos cultivados o abandonados afecta a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, facilitando la biorremediación, la captura de carbono y el desarrollo de la vegetación o el tipo de plantas (Burns, 1982; Shuping et al., 2010).

Como consecuencia de cambios de uso y de las condiciones climáticas, se originan descensos en la cobertura vegetal asociados a disminuciones en la materia orgánica y fauna del suelo, aumento de la evapotranspiración como consecuencia de la pérdida de cobertura, cambios en la fertilidad y la estructura del suelo inducidos por cambios en la disponibilidad de nutrientes y en la microagregación, en los procesos de sellado, encostramiento y disminución de la estabilidad de agregados, dispersión de las arcillas que elevarían la concentración de sedimentos y producirían cambios en la conductividad hidráulica del suelo y la capacidad de retención hídrica (Arnau-Rosalén et al., 2011; Armas et al., 2011).

Así, estudios efectuados en diferentes gradientes confirman resultados contradictorios en función del efecto considerado, por ejemplo, el efecto de la humedad y bajas temperaturas elevan los índices de escorrentía, mientras que valores elevados de temperatura y baja humedad eleva los valores de erosión (Boix et al., 2003; Cantón et al., 2011). Cuando el estudio se realiza en zonas degradadas por incendios o sobre pastoreo que originan fuerte compactación en el suelo, parece que privan estos efectos frente a aquellos condicionantes climáticos (Boix et al., 1998; Soriano et al., 1994, 2001), principalmente en lo que afecta al conjunto de efectos antrópicos y en todos los casos con una elevada variabilidad.

Para el desarrollo de estrategias de conservación de suelo y agua, es necesario conocer entre otros parámetros las tasas de estabilidad en la estructura del suelo y la materia orgánica, bajo diferentes sistemas de cultivo o coberturas vegetales.

La estabilidad de los agregados viene referida a la estructura del suelo en respuesta a fuerzas mecánicas externas. Muchos autores consideran que la agregación del suelo sea un parámetro que refleja la salud del suelo, ya que depende de gran número de factores tanto químicos, físicos como biológicos. Mataix et al., (2009) indican que los parámetros que se relacionan con la estabilidad de los agregados son: la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana, la repelencia al agua, la textura y la distribución de tamaño de agregados.

Las propiedades de los agregados vienen determinadas por la cantidad y tipo de compuestos húmicos, y por el grado de su interacción con las partículas del suelo (Chan et al., 2001). Su estabilidad varía con el material de origen del suelo, el clima, la vegetación y las prácticas de manejo del suelo, métodos de labranza, manejo de residuos, enmiendas y manejo de la fertilidad del suelo.

La dinámica de interacción entre los agregados y el carbono orgánico del suelo es compleja, y abarca una amplia gama de procesos espaciales y temporales dentro de macroagregados y microagregados. Las últimas investigaciones al respecto indican que el carbono de residuos de plantas jóvenes forman y estabilizan los macroagregados, mientras que el C orgánico más viejo se queda ocluido en los microagregados, lo cual justificaría la mayor estabilidad de los suelos bajo una cubierta vegetal densa y estable.

La utilización racional de un suelo implica la preservación de su materia orgánica y de su microflora asociada, con el objeto de no deteriorar su capacidad para regular la

disponibilidad de macro y micronutrientes (Peirano et al., 1992; Stevenson et al., 1999). El contenido de materia orgánica en el suelo se ha reconocido como un importante componente de su calidad (Elliot et al., 1994) que afecta a los procesos de erosión de las cuencas.

Estudios de la materia orgánica y su relación con el tipo de vegetación y las prácticas de manejo, han establecido su importancia para la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Campbell et al., 1991). Posteriormente, la materia orgánica fue asumiendo gran importancia como fuente potencial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, por lo cual, conservar o aumentar sus niveles en el suelo se justifican no tan sólo desde una perspectiva agronómica, sino también desde un punto de vista medioambiental (Elliot et al., 1994; García et al., 2003; Márquez, 2001, 2004; Balesdent et al., 2000).

El contenido de la materia orgánica en un suelo está altamente influenciado por la vegetación y las prácticas agronómicas, tales como tipo de cultivo, rotaciones y manejo de residuos (Janzen, 1987; Stevenson et al., 1999; Stevenson, 1982; Márquez, 2001), y aunque ésta evoluciona muy lentamente, algunas de sus fracciones constituyentes pueden ser mucho más sensibles a cambios inducidos por tales prácticas (Omay et al., 1997; García-Ruíz et al., 1991; Ronggui et al., 2008). En un modelo simple que describe la materia orgánica del suelo se consideran dos fracciones: una fracción lábil y una fracción estable (Tate, 1987). La primera es sensible a las modificaciones a corto plazo, influencia la actividad biológica y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo. La segunda, representada por sustancias húmicas, está involucrada en procesos fisicoquímicos que afectan la estructura e intercambio de iones en el suelo (Bragato y Primavera, 1998).

La fracción lábil representa sólo una pequeña proporción del total de la materia orgánica, y es la más dinámica y sensible a través del tiempo. Además, está fuertemente vinculada a la productividad y fertilidad del suelo debido a su capacidad para suministrar nutrientes tales como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y micronutrientes (Biederbeck et al., 1994; Stevenson et al., 1999), siendo un parámetro de fertilidad, productividad potencial y sirve como un índice temprano de cambio en la materia orgánica total (Dalal y Mayer, 1986).

Los métodos de fraccionamiento físico y químico, así como biológicos, identifican y cuantifican los componentes lábiles de la materia orgánica. Los últimos se basan en el análisis de la población microbiana, el componente más activo y sensible al impacto externo dentro del suelo y que define sus características, especialmente en lo referente a su fertilidad, interviniendo en los procesos de descomposición de residuos, ciclado de nutrientes y transformaciones de la materia orgánica del suelo (Zunino et al., 1982; Schnürer et al., 1985; Collins et al., 1992; Lobkov, 1999).

La actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica puesto que, por una parte, representa el nivel de la actividad biológica que afecta a la materia orgánica y, por otra, integra los factores del medio. Dicha actividad microbiana está influenciada por el clima, propiedades físicas y químicas, tipo de vegetación o prácticas de manejo agrícola, tales como labranza y rotaciones de cultivos (Campbell et al., 1991).

Los objetivos de este estudio son: comparar el efecto de distintos tipos de vegetación sobre la estabilidad de agregados en parcelas de suelo en una zona de clima subhúmedo, y evaluar la influencia de algunas características edáficas de suelos de cultivo abandonados.

En base a lo expuesto anteriormente, el trabajo realizado se ha basado en el estudio de dos pilares sobre los que afecta la degradación de los suelos. Por un lado, el estudio de la materia orgánica y su fraccionamiento, con medición de las distintas fracciones, las cuales han permitido conocer la mineralización y estabilidad del carbono en relación a la cantidad y calidad de la materia orgánica presente, y el efecto del tipo de vegetación y su influencia.

Analizando la influencia de la vegetación sobre la materia orgánica del suelo, sería posible el uso de índices que permitan estimar el efecto de las distintas especies vegetales sobre la fertilidad de los suelos. De este modo, será posible mejorar la utilización del recurso suelo.

Por medio del análisis de la materia orgánica del suelo, se persigue establecer parámetros y caracterizar mecanismos que permitan, respectivamente, el reconocimiento y el control de problemas específicos de áreas mediterráneas: la mineralización progresiva y la pérdida de la funcionalidad del humus, su papel en la repelencia al agua del suelo como desencadenante del proceso de erosión y degradación.

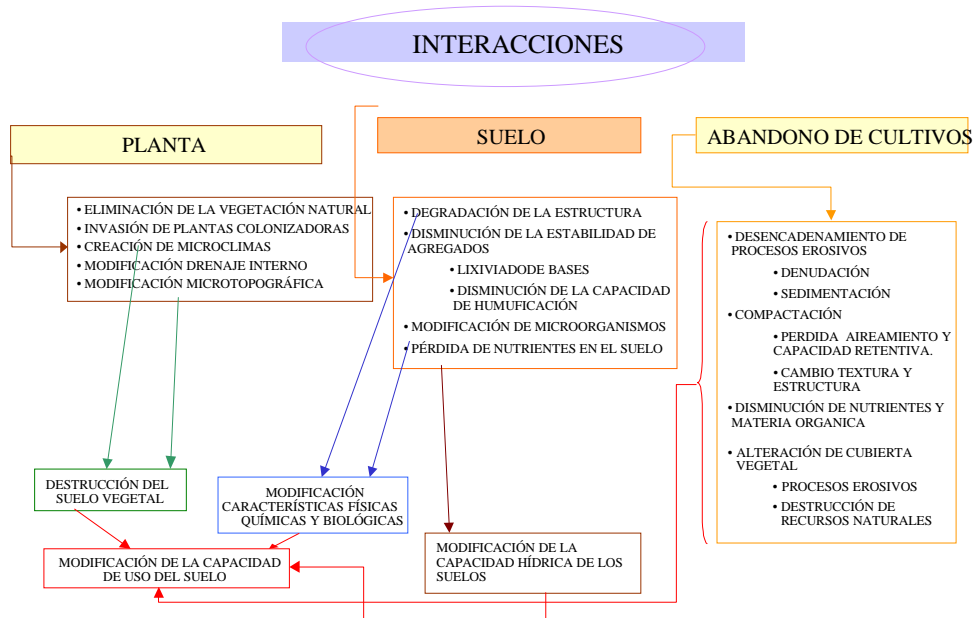


Figura 1.1. Esquema de las interacciones planta-suelo-abandono de cultivos.

Por otro lado, el estudio del resto de propiedades químicas que influyen en el proceso, como el estudio de la variación de las bases de cambio y de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos de las parcelas, llevado a cabo a nivel espacial y temporal, analizando las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en los puntos de influencia de la vegetación seleccionados.

La determinación de las propiedades físicas que más directamente influyen en la degradación, como las tasas medias de variación de estas propiedades con la edad de abandono, los mecanismos de formación y estabilización de la estructura, su influencia en las uniones entre partículas finas de limo y arcilla para formar microagregados, su

influencia en la capacidad de retención de agua y la porosidad total, y sus efectos sobre un aumento de la actividad biológica que se traduce en un mayor nº de artrópodos y en una mayor diversidad de éstos.

La influencia directa e indirecta de la estabilidad de la estructura sobre otras propiedades físicas y químicas del suelo es también un indicador de la degradación de los suelos, la cuantificación de los cambios en la estructura del suelo son el punto de partida en el estudio de los procesos de degradación física de los suelos y su control, siendo estos estudios de estabilidad la base para la estimación de la pérdida de suelo.

Todo ello, afectado por la interacción clima-cambios de uso del suelo bajo condiciones de clima mediterráneo subhúmedo, en los procesos de degradación o recuperación de los agroecosistemas tras el abandono de la agricultura.

Los cambios inadecuados en el uso del suelo (Haghighi et al., 2010) debido a las actividades humanas, son un problema generalizado que lleva a la degradación de la tierra (Li et al., 2007). La estructura del suelo y otras propiedades físicas pueden ser influenciados por diferentes manejos de la tierra (Schaefer et al., 1990).

Li et al., (2007) mostraron que la estabilidad de los agregados del suelo disminuye al convertir suelos naturales en tierras de cultivo, produciendo una disminución de la materia orgánica (Calvo et al., 2010). La conversión de la tierra natural en tierras de cultivo disminuye la tasa de infiltración del suelo, y afecta a las características físicas del suelo aumentando la erosión (Li et al., 2007; Calvo et al., 2010), y disminuyendo significativamente la estabilidad de los agregados del suelo (Van Oost et al., 2006). El contenido de humedad del suelo es también un factor importante en el mantenimiento de la estabilidad de los agregados del suelo y mejora de la retención de agua, y conduce a un aumento de la densidad aparente y la disminución total de porosidad, disminuyendo así la infiltración en el suelo (Li et al., 2007; Roose, 2002).

**Objetivos concretos de este estudio fueron:**

**a)** Determinar la evolución del contenido de materia orgánica en suelos bajo distintas especies vegetales en un experimento de un año de duración (12 meses). Evaluar el contenido en carbono de las diferentes fracciones en comparación al carbono orgánico total oxidable, y establecer su utilidad como indicador en la fertilidad y calidad del suelo para la relación suelo-planta, así como su relación con la microfauna del suelo, utilizando técnicas quimiométricas para evaluar el contenido en carbono y compararlo con técnicas convencionales.

**b)** Estudiar el contenido de humedad del suelo, su evolución a lo largo del período de estudio y su relación con el resto de parámetros físicos, químicos y actividad biológica, analizados en el suelo.

**c)** Estudiar la agregación del suelo bajo diferentes aspectos micro, macro estabilidad junto a la influencia vegetal y del uso del suelo, estableciendo sus relaciones con parámetros orgánicos, físicos y químicos del suelo.

Para ello, se caracterizan los suelos de la cuenca experimental desarrollados bajo diferentes especies vegetales espontáneas típicas mediterráneas. Se estudian las características de la fracción orgánica de estos suelos, realizando su fraccionamiento en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Se cuantifican las fracciones orgánicas en los distintos puntos de muestreo, y se utiliza la espectroscopía infrarroja y la microscopía

electrónica para detectar diferencias y similitudes en diferentes muestras de suelo por efecto de la influencia de la vegetación.

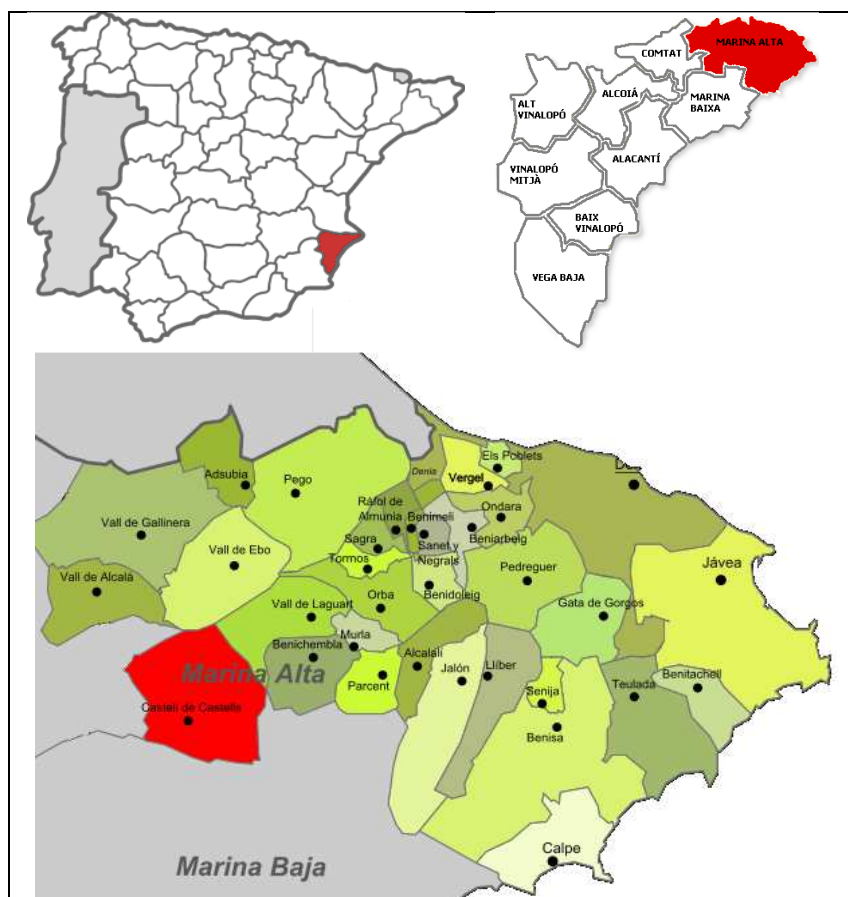
**d)** Por último, la aplicación de un programa de evaluación de la pérdida de suelo por erosión en la cuenca de estudio, permite obtener un conocimiento amplio de la pérdida que se produce en estos suelos. Aplicando el modelo EuroSEM 2010 de predicción de pérdida del suelo, y considerando los parámetros relacionados con las propiedades físicas, químicas e hidrológicas de los suelos, presencia y arquitectura de la vegetación y geomorfología, se evalúa la respuesta hidrológica e identifica la dirección de los flujos preferenciales de la cuenca hidrográfica, estimando las zonas sujetas a erosión por pérdida de suelo y a deposición por acúmulo de sedimentos en diferentes hipótesis de escenarios a partir del modelo digital del terreno, generando los mapas de pendientes, suelo, litología y vegetación, y la esquematización de la cuenca hidrográfica y polígonos con los requisitos de EuroSEM 2010, como resultado de la intersección de la información de los distintos mapas.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1. LOCALIZACIÓN

La zona objeto de estudio denominada Cocoll está situada al sureste de la Península Ibérica, concretamente en la provincia de Alicante, al sur de la Comunidad Valenciana. Se localiza al norte de la provincia de Alicante, en una zona del interior perteneciente a la comarca de la Marina Alta, próxima al pico de Cocoll. Dicha zona de estudio se encuentra ubicada en el término municipal de Castell de Castells y en una pequeña parte de Tárben, dentro de la hoja topográfica de Benisa (escala 1: 50.000) y entre las coordenadas 0°11' de longitud oeste y 38°43' de latitud norte.



**Figura 2.1.** Situación del municipio de Castell de Castells en el sureste de la Península Ibérica, en la comarca de la Marina Alta (Alicante).

Desde el punto de vista geográfico, la comarca de la Marina Alta está formada por una secuencia de alineaciones montañosas que coinciden con anticlinales y conforman una sucesión de sierras casi paralelas y con orientación SW-NE, entre las cuales aparecen valles más o menos compartimentados. Las cimas más representativas se encuentran en la Serra de Bèrnia (1.129 m) y en la Serra del Ferrer (859 m) al SE; en el Coll de Rates (783 m) y en el Carrascar de Parcent (973 m) hacia el norte; y por último hacia el oeste en la Serra d'Alfaro (1.166 m), en la Serrella (1.361 m) y en la Serra Xortà (1.218 m).

Para el presente trabajo se ha elegido una pequeña cuenca de drenaje de aproximadamente 1,133 Km<sup>2</sup>. La cuenca presenta una forma alargada con laderas de orientación NE y SW, cuyos límites son al:

- Este, el punto más alto de un collado (868 m de altitud),
- Norte y Sur, está flanqueada por dos crestas montañosas, Alts de Cocoll (1.054 m) y Tossalet del Vaquer (979 m), respectivamente,
- Oeste, la cuenca vierte sus aguas sobre una zona semiendorreica (Plà de Dalt) que, a través del Barranc de Dalt, se comunica con el río Xaló.

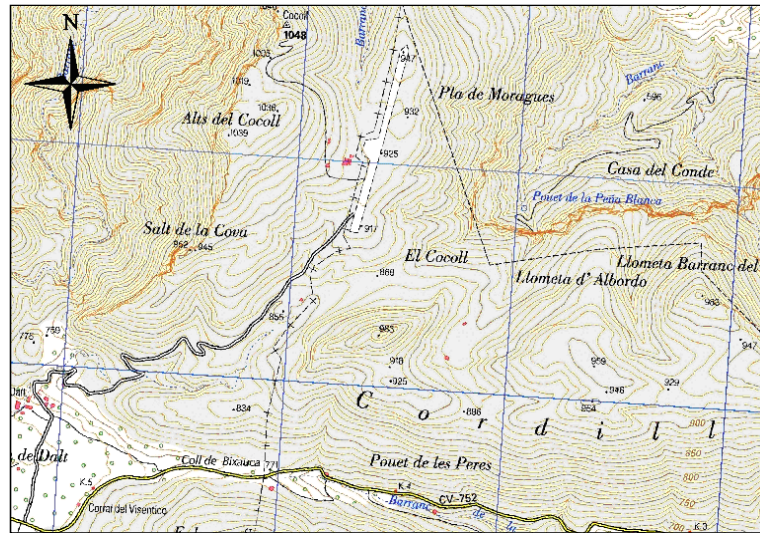


Figura 2.2. Detalle del mapa topográfico nacional de España, escala 1:25.000.



Figura 2.3. Situación de la cuenca de estudio.





Figura 2.4. Panorámica de la zona de estudio.

## 2.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

### 2.2.1. RASGOS GEOLÓGICOS Y ESTRUCTURALES

El territorio de la zona de estudio forma parte del extremo oriental de los contrafuertes del Prebético externo peninsular dentro de las Sierras Béticas, las cuales constituyen uno de los segmentos del conjunto de sierras alpinas que conforman la cuenca mediterránea. La formación de este relieve es debido a los esfuerzos compresivos de dirección N-S o NNW-SSE, y a la colisión de la placa africana contra el macizo central ibérico, ligados a su vez a la progresiva apertura del océano Atlántico (IGME, 1983).

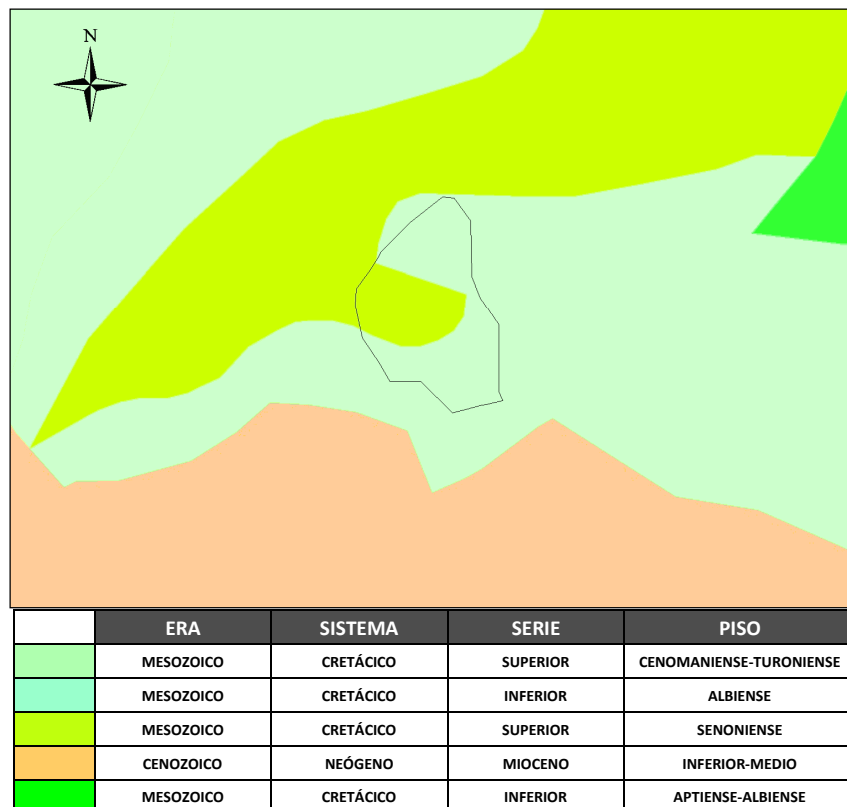


Figura 2.5. Mapa geológico de la zona de estudio.

Los materiales que predominan son los correspondientes al Cretácico (figura 2.5), cuya serie está ampliamente representada ya que domina de modo casi exclusivo las grandes estructuras.

Según IGME (1983) en este período se encuentra una sedimentación completa e ininterrumpida desde el Neocomiense al Senoniense.

- *Neocomiense-Barremiense*: Constituido por margas finamente tableadas y arcillas bastante puras de color gris-blanquecinas.
- *Aptiense-Albiense*: A partir del Barremiense medio, las intercalaciones de sedimentación arenosa y caliza alternan con lechos arcillosos, para adquirir así la caliza un carácter predominante en los niveles más modernos. Durante el Aptiense inferior destacan dos zonas, una con predominio de caliza arrecifal y otra formada por calizas con intercalaciones margosas. Hacia el final del período las dos series se uniformizan y se mantienen hasta el Aptiense superior, con una ligera tendencia hacia una mayor profundidad e intercalaciones margosas en aumento. Al final del Albiense la sedimentación pasa a ser predominantemente margosa.
- *Cenomaniense*: El Cretácico superior comienza con el Cenomaniense, el cual presenta vaivenes entre margas y calizas más o menos margosas, dando como resultado la alternancia de gruesos paquetes de estos materiales. Al final del Cenomaniense la sedimentación se hace totalmente calcárea, a partir de calizas terrosas-grisáceas de grado medio, cristalinas y brillantes.
- *Turonense*: La serie margo-caliza del Cenomaniense se hace más calcárea en este período, hasta transformarse en un tramo calizo-dolomítico. Se presenta bien estratificado en bancos potentes y, cuando constituye la superficie del terreno, la dolomía toma un aspecto lóbrego con tonos oscuros, pardos y rojizos. Cuando las calizas turonienses emergen sobre la superficie del terreno originan fuertes escarpes de erosión muy característicos.
- *Senoniense*: Ocupa gran extensión en la zona y constituye un piso muy potente, sobre todo en la parte NW de la Marina Alta, donde alcanza entre 400 y 600 m. Respecto a la serie calcárea anterior se produce una alternancia de paquetes margosos y margo-calcáreos, con una intercalación caliza. La serie comienza con un tramo blando formado por margas amarillentas, variando su potencia entre los 50 y 100 m; a medida que van subiendo las margas se van oscureciendo, convirtiéndose en margo-calizas tableadas y algún banco delgado intercalado de calizas arenosas. En esta zona se alternan los tramos calizos con otros más blandos margo-calizos. La serie cretácica tiene al final un paquete de margas grises-azuladas de aspecto análogo a las miocenas y además una potencia entre 0 y 75 m.

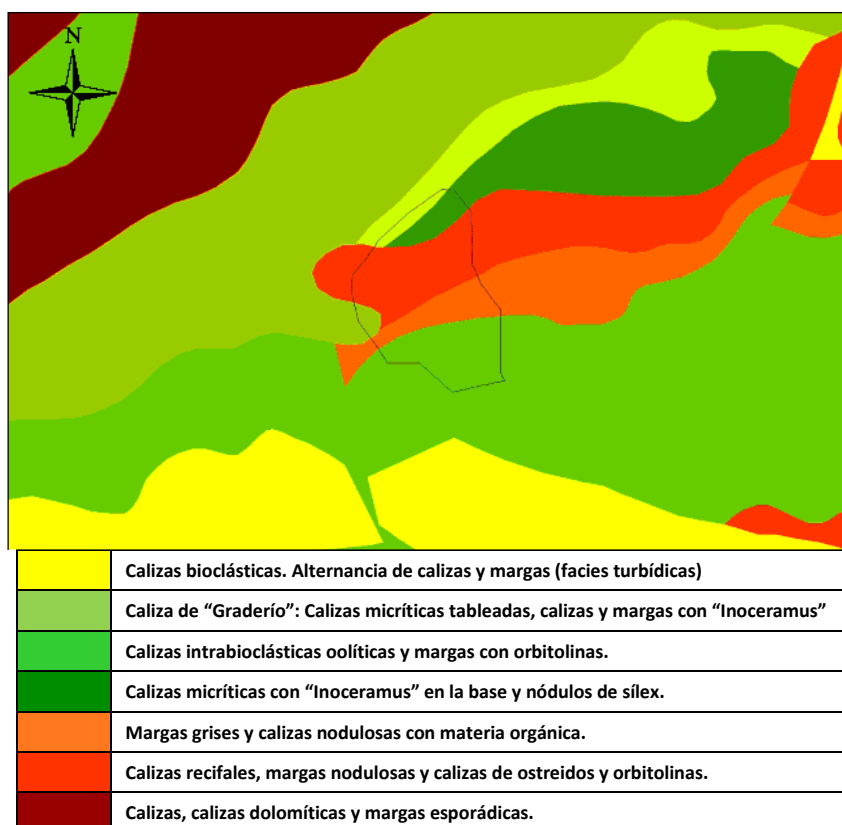


Figura 2.6. Mapa litológico de la zona de estudio.

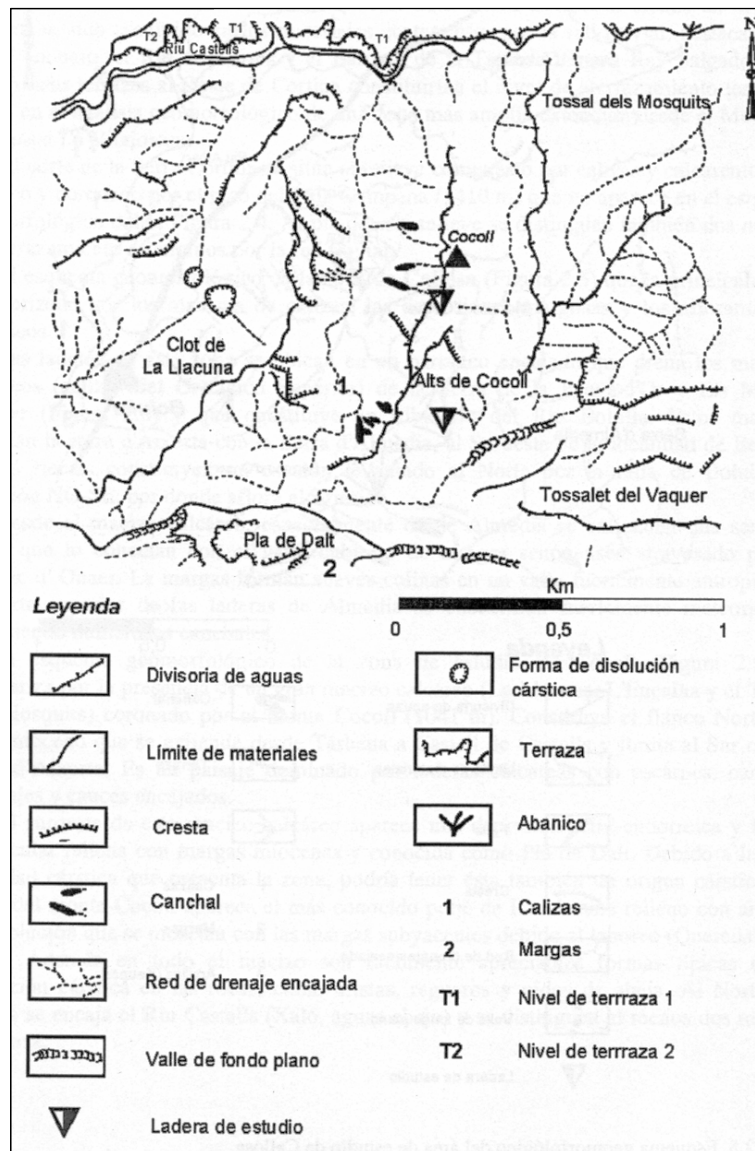
### 2.2.2. GEOMORFOLOGÍA DE LAS ZONAS ADYACENTES

La compleja estructura de este sector del Prebético se basa en la confluencia de tres procesos tectónicos diferentes pero no independientes: la compresión bética general, el desarrollo de fallas transcurrentes y la actividad diapírica (Rey et al., 1993).

Esta complejidad estructural va unida a un complejo relieve erosivo en el que aparecen laderas escarpadas, cantiles y formas cársticas relacionadas con la meteorización química de calizas en el macizo de Cocoll.

Quereda Sala (1978) en su estudio regional sobre la antigua comarca de La Marina, señalaba una organización del relieve de la comarca en cuatro unidades estructurales: (a) el sinclinal de Benisa-Calpe, (b) la estructura diapírica, (c) el valle del Sella-Amadorio y (d) el dominio litoral. La zona de estudio está situada dentro de la unidad estructural que él denomina la estructura diapírica. Esta unidad diapírica consta de dos subunidades: (a) los bordes del diapiro y (b) el sinclinal de La Marina. Dentro de la primera subunidad es concretamente donde está enmarcada la cuenca de estudio.

El borde norte del diapiro lo constituyen una serie de macizos calcáreos de dirección NW-SE: las sierras d'Aixortà, Almedia y Bèrnia. El conjunto de las sierras d'Aixortà-Almedia forma un escalón levantado sobre las fallas de Guadalest y Bolulla. En el flanco norte de este escalón, limitando al sur con la Serra d'Aixortà, aparece un valle mioceno con pequeñas fracturas secundarias que se extiende desde Castell de Castells hasta Tárben. Se trata de una cubeta sinclinal flanqueada por materiales oligoceno-aquitanienses. Este valle mioceno limita al norte con una serie de relieves cretácicos entre los que destaca el Pico Cocoll de 1.048 m de altitud.



**Figura 2.7.** Esquema geomorfológico del área de estudio de Cocoll (Boix, 1999).

El esquema geomorfológico de la zona de estudio de Cocoll (Boix, 1999) (figura 2.7), se caracteriza por la presencia de un gran macizo calcáreo (La Llacuna, L'Encaina y el Tossal dels Mosquits) coronado por el Pico Cocoll. El macizo de Cocoll constituye un relieve intermedio que enlaza perpendicularmente la Serra del Penyó al norte del mismo, y la Serra del Carrascal de Parcent al sur. Es un paisaje dominado por laderas calcáreas con escarpes, cantiles, canchales y cauces encajados. Al suroeste de este macizo calcáreo aparece una depresión semi-endorreica y forma subcircular rellena con margas miocenas, conocida como Plà de Dalt. Debido a la gran actividad cárstica que presenta la zona, podría tener ésta también un origen cárstico. Al oeste del monte Cocoll aparece el más conocido Clot de La Llacuna, relleno con arcillas de la disolución que se mezclan con las margas subyacentes debido al laboreo (Querreda Sala, 1978). Además en todo el macizo son fácilmente apreciables formas típicas de la disolución cárstica en las rocas, como aristas, regueros y nidos de abeja. Al norte del macizo se encaja el Riu Castells (Xaló, aguas abajo), y se distinguen al menos dos niveles de terraza.

### 2.2.3. MORFOLOGÍA DE LAS LADERAS DE LA CUENCA

El análisis de la morfología de las laderas de la cuenca está basado en un estudio realizado por Boix (1996).

La **ladera norte** presenta cambios de pendiente que oscilan entre los 6° y los 35° aproximadamente, con pendientes bajas en la base de la ladera, se modifica a moderada en la zona intermedia y una pendiente abrupta en la zona media alta, coronada la ladera por un cantil en la zona superior. La ladera norte es una ladera rectilínea con un salto de pendiente que se inicia en su parte media, con un afloramiento rocoso tipo cantil en la zona superior, y con un tramo ligeramente cóncavo en su base. Esta concavidad basal es larga y de amplio radio, característica de las laderas de zonas calcáreas y de partes altas de los macizos que estuvieron arrasadas en tiempos pasados por procesos de disolución.

La **ladera sur** es en su parte alta mayoritariamente divergente con una pendiente media entorno a 10°, con morfología como la descrita para la ladera anterior. La disposición en esta parte alta obedece a una clara influencia de la estructura, consecuencia de la alternancia en sentido oblicuo a la máxima pendiente de paquetes de roca con diferencias mecánicas. En la parte media de la ladera la pendiente aumenta hasta 26°, y se corresponde con afloramientos de roca madre a modo de pequeño cantil. Ya en la parte baja la pendiente va disminuyendo desde 24° a 10° aproximadamente, con alternancia de zonas convergentes y divergentes que se corresponde con un ligero aconcavamiento en el perfil y a la modificación antrópica aterrazada.

El **centro** de la cuenca de estudio se compone de un relleno endorreico en el que se realizó la construcción de bancales, actualmente gran parte de ellos se encuentra en estado de abandono o semiabandono, colonizados por plantas espontáneas o dedicados a la ganadería. La parte alta presenta mayor amplitud y se va cerrando hacia la zona de vaguada coronada por un peñón calizo. A partir de este punto vuelve a abrirse el valle que desagua en un pequeño barranco en dirección hacia el Plà de Dalt. La pendiente media oscila entre los 2° y los 15° aproximadamente, con pendientes moderadas y con longitudes de pendientes rotas por la construcción de bancales.



Figura 2.8. Vista general de la cuenca de estudio.

### 2.3. EDAFOLOGÍA

En la mayor parte de la comarca de la Marina Alta debido principalmente a las condiciones climáticas y al abrupto relieve existente, predominan los suelos con un perfil de escasa profundidad y que estructuralmente se diferencia poco de la litología subyacente.

La roca madre predominante son las calizas, margas, dolomías calcáreas y areniscas calcáreas, por lo que los suelos tienden a enriquecerse de carbonato cálcico, de ahí su alcalinidad. La edafización de estos materiales genera, en ocasiones, horizontes argílicos muy potentes.

Una buena parte de esta zona de Alicante presenta un predominio de los suelos con caracteres xéricos, en correspondencia con las condiciones climáticas de semiaridez, alta evapotranspiración potencial y largo período con déficit hídrico.

En las laderas de topografía abrupta donde afloran las calizas se forman suelos de poca profundidad clasificados como **Leptosoles**, que con frecuencia aparecen ligados a **Luvisoles**.

Los Leptosoles más comunes son los **Leptosoles eútricos**, suelos limitados en profundidad por una roca dura continua o material altamente calcáreo dentro de los primeros 30 cm, y que presentan un horizonte A óchrico y un grado de saturación en bases mayor del 50%.

En situaciones semejantes pero en zonas orientadas hacia la umbría con mayor cobertura vegetal que favorece una incorporación continua de materia orgánica, se encuentran puntualmente **Leptosoles rendzínicos** localizados en la ladera norte de la cuenca estudiada. Estos suelos a pesar de tener poco espesor, presentan características favorables por su elevado contenido en materia orgánica y elevada estabilidad estructural. La incorporación continua de materia orgánica permite la formación de un horizonte móllico, que en este caso está situado inmediatamente encima del material calcáreo, con un equivalente en carbonato cálcico mayor del 40% dentro de una profundidad de 30 cm.

Cuando la roca dura continua está a menos de 10 cm de la superficie, como pasa con frecuencia en las cimas y zonas con afloramientos rocosos calcáreos o dolomíticos, y sin apenas cubierta vegetal, los suelos se clasifican como **Leptosoles líticos**.

Asociados a los Leptosoles, en la parte más elevada de la ladera sur y al borde del camino, aparecen los **Luvisoles crómicos**, como pasa en general en todas aquellas áreas donde predominan materiales calcáreos con una marcada morfología cárstica. Los Luvisoles crómicos son suelos que presentan un horizonte subsuperficial argílico con un contenido en arcilla mayor que en el horizonte situado encima, y un porcentaje de saturación de bases de mediano a alto. El principal proceso evolutivo de estos suelos se produce por descarbonatación de la caliza, y posteriormente acumulación de arcilla iluvial en el horizonte B mediante el proceso de argiluviación. Para que el proceso de la iluviación tenga lugar se requiere una previa eliminación de la caliza por lavado y una ligera acidificación, que necesita una alternancia de períodos húmedos en los cuales se producen la dispersión y movilización de la fracción fina, y períodos secos en los cuales tiene lugar su precipitación. Por todo esto, los Luvisoles son considerados como uno de los tipos de suelos más evolucionados y antiguos del territorio. En este horizonte argílico es típica una estructura prismática o poliédrica dura y fuerte de un color rojo intenso, debido a los procesos de liberación y deshidratación de compuestos de hierro, que son también residuo de la disolución de la caliza y que tiñen al resto de las partículas minerales de los suelos. La permeabilidad y aireación de estos suelos tan sólo puede producirse a través de

las fisuras o planos de contacto entre los agregados estructurales arcillosos. Con frecuencia el desarrollo de este tipo de suelo está limitado en profundidad por roca coherente y dura a menos de 50 cm, generalmente con un límite brusco e ininterrumpido. A veces también se observa que ha desaparecido por erosión y decapitación el horizonte superficial, quedando el horizonte argílico directamente expuesto al exterior.

En la zona de estudio en la parte más baja de la cuenca y en la ladera sur, lugar donde se sitúan los bancales abandonados, se pueden encontrar **Cambisoles y Calcisoles**.

Los Cambisoles presentan un menor grado de dureza (alternancia de calizas y margas), y poseen como característica un horizonte B cámbico con una estructura edáfica desarrollada, que se diferencia de la estructura de la roca madre por su mayor grado de alteración. Los **Cambisoles calcáreos** se caracterizan por presentar el horizonte cámbico debajo de un A óchrico, y ser calcáreos al menos en la profundidad comprendida entre 20 y 50 cm.

Los **Calcisoles háplicos** se caracterizan por presentar el horizonte cálcico debajo de un A óchrico, y un horizonte cálcico o concreciones calizas en la profundidad comprendida entre 20 y 50 cm.

Cuando el material que predomina está poco evolucionado, con propiedades muy similares a las de su material de origen, se clasifican como **Regosoles calcáreos**. La escasa evolución que presentan estos suelos, se debe a que los procesos de erosión y aporte de nuevos materiales mantienen el perfil en un estado de continuo rejuvenecimiento, que impide el desarrollo de transformaciones edáficas.

En el presente trabajo se han analizado una serie de perfiles de suelo representativos de las diferentes zonas consideradas, para determinar los tipos de suelo existentes en el área de estudio. La descripción morfológica, así como los datos analíticos correspondientes de cada perfil de suelo, se contemplan dentro del capítulo de los resultados en los apartados 4.2.1. Caracterización de los perfiles de suelo y 4.2.2. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los perfiles de suelo en la cuenca de estudio.

## 2.4. CLIMATOLOGÍA

Dada la ausencia de estaciones termopluviométricas con series largas y cercanas a la zona de estudio, se ha creído interesante realizar un estudio climático general utilizando datos registrados en estaciones próximas a la misma, siendo estas estaciones las de Alcalalí, Cocentaina, Fontilles, Muro d'Alcoi, Ontinyent, Patró, Pedreguer, Pego y Tormos.

Se dispone de un período de 20 años aproximadamente de datos diarios de temperatura y precipitación, a partir de los cuales se han obtenido valores máximos, mínimos, medios, máximas y mínimas absolutas de temperatura, así como valores de precipitación totales anuales y se ha calculado además el valor de la torrencialidad.

Así mismo se han analizado los datos de temperatura y precipitación registrados durante el año objeto de estudio, en la estación experimental instalada en la misma ladera sur de la cuenca.

En cuanto al estudio de EuroSEM, en el apartado 3.4.1.2 dentro del capítulo de materiales y métodos, se especifica la elección tanto de las estaciones climáticas como de los eventos de lluvia empleados en las diferentes simulaciones.

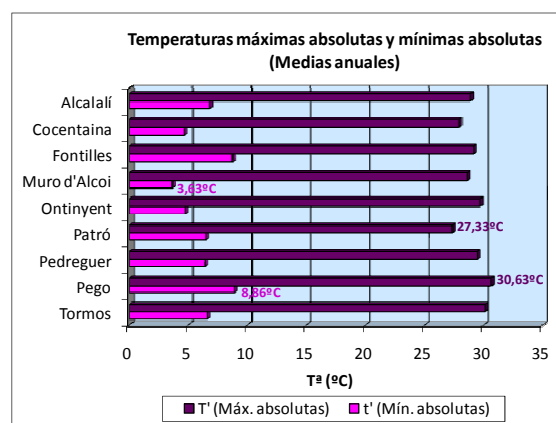
## 2.4.1. DATOS CLIMÁTICOS DE ESTACIONES PRÓXIMAS A LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.4.1.1. TEMPERATURAS

Con respecto a los valores de temperaturas la zona de estudio participa de la dinámica atmosférica propia del clima mediterráneo.

Se observa que el mes más cálido es julio, correspondiendo los mayores valores de temperaturas **máximas absolutas** a estaciones como Ontinyent (39,81°C) y Muro d'Alcoi (39,62°C), con valores próximos a los 40°C. En cuanto a los valores *medios anuales* de las temperaturas máximas absolutas (figura 2.9), oscilan entre 27,33°C (Patró) y 30,63°C (Pego).

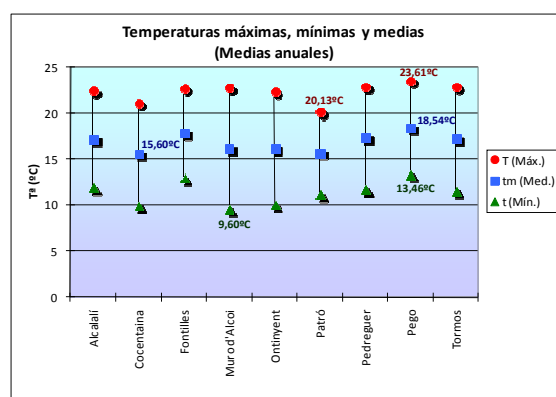
Por contra, los valores **mínimos absolutos** más bajos se registraron en el mes de diciembre en Muro d'Alcoi (-3,29°C). En el caso de los valores *medios anuales* de las temperaturas mínimas absolutas (figura 2.9), están comprendidos entre 3,63°C (Muro d'Alcoi) y 8,86°C (Pego).



**Figura 2.9.** Temperaturas máximas absolutas y mínimas absolutas (medias anuales) en las estaciones de estudio. Período 1980-2010.

Respecto a las temperaturas **máximas**, **mínimas** y **medias** (figura 2.10), se han registrado temperaturas *medias anuales* que oscilan entre los siguientes valores:

- Tª Máximas: 20,13°C (Patró) - 23,61°C (Pego)
- Tª Mínimas: 9,60°C (Muro d'Alcoi) - 13,46°C (Pego)
- Tª Medias: 15,60°C (Cocentaina) - 18,54°C (Pego).



**Figura 2.10.** Temperaturas máximas, mínimas y medias (medias anuales) en las estaciones de estudio. Período 1980-2010.



Las temperaturas **máximas** más altas se dan en el mes de agosto, destacando los 33,14°C (Muro d'Alcoi) y 32,82°C (Fontilles), siendo en cambio en el mes de enero donde se registran las temperaturas **mínimas** con valores más bajos, sobretodo en Muro d'Alcoi (3,13°C) y Ontinyent (3,42°C).

En cuanto a las temperaturas **medias** (tabla 2.1), los valores *medios anuales* más elevados se observan en Pego (18,54°C) y Fontilles (17,91°C), siendo obtenidos los más bajos en Cocentaina (15,60°C). Las temperaturas medias más elevadas se registran en todas las estaciones durante el mes de agosto, destacando la estación de Pego con el valor más elevado (27,12°C). En el resto de las estaciones las temperaturas oscilan entre los 24,43°C (Patró) y 26,98°C (Fontilles) para el mes de agosto. Las temperaturas medias más bajas ocurren en el mes de enero, con registros entre 8,11°C (Cocentaina) y 11,70°C (Pego).

**Tabla 2.1.** Temperaturas medias (tm) en las estaciones de estudio.

Período 1980-2010	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Alcalalí	10,51	11,19	12,85	14,64	17,75	21,83	24,95	25,78	22,78	18,45	14,37	11,53	<b>17,22</b>
Cocentaina	8,11	9,67	11,63	13,34	16,68	20,45	24,27	25,19	20,92	15,97	11,80	9,11	<b>15,60</b>
Fontilles	10,44	11,46	13,81	15,56	18,76	23,22	26,43	26,98	23,44	18,94	14,40	11,46	<b>17,91</b>
Muro d'Alcoi	8,97	9,98	11,89	14,29	18,00	21,16	24,49	25,09	21,37	16,59	12,76	9,93	<b>16,21</b>
Ontinyent	8,59	9,85	12,08	13,78	17,16	21,60	25,04	25,43	22,09	17,01	12,49	9,63	<b>16,23</b>
Patró	8,61	9,72	11,77	13,74	16,39	20,43	23,65	24,43	21,18	16,55	12,69	9,59	<b>15,73</b>
Pedreguer	10,36	11,30	13,34	14,84	17,91	22,02	25,39	26,04	23,06	18,75	14,34	11,40	<b>17,40</b>
Pego	11,70	12,42	14,31	16,27	19,08	23,17	26,44	27,12	24,11	19,67	15,45	12,69	<b>18,54</b>
Tormos	10,14	11,04	12,96	14,78	17,81	22,20	25,50	25,99	22,78	18,55	14,26	11,24	<b>17,27</b>

Como resumen de las temperaturas cabe citar que la comarca goza de un régimen térmico suave, consecuencia del efecto moderador que ejerce la proximidad del mar Mediterráneo. Estas temperaturas disminuyen conforme nos adentramos hacia el interior y conforme aumenta la altitud. La latitud condiciona la distribución de las temperaturas aumentando en sentido N-S. La diferencia entre zonas altas y bajas es más acusada en invierno que en verano.

#### 2.4.1.2. PRECIPITACIONES

La Comarca de la Marina Alta representa una de las áreas más lluviosas de la Comunidad Valenciana. En el período de estudio 1980-2010, los valores de precipitación **total anual** (figura 2.11.a) oscilan entre 508,43 mm (Muro d'Alcoi) y 904,21 mm (Tormos), siendo noviembre el mes que registra mayor cantidad de precipitación media (129,87 mm en Tormos), mientras que los valores más bajos de precipitación media son obtenidos en el mes de julio (4,36 mm en Pedreguer).

Los valores más elevados de precipitación **máxima** (figura 2.11.b y tabla 2.2) se recogen en las estaciones de Fontilles (400 mm en diciembre) y Pedreguer (373 mm en noviembre), siendo en Muro d'Alcoi donde la precipitación máxima alcanza los valores más bajos (190,50 mm en febrero).

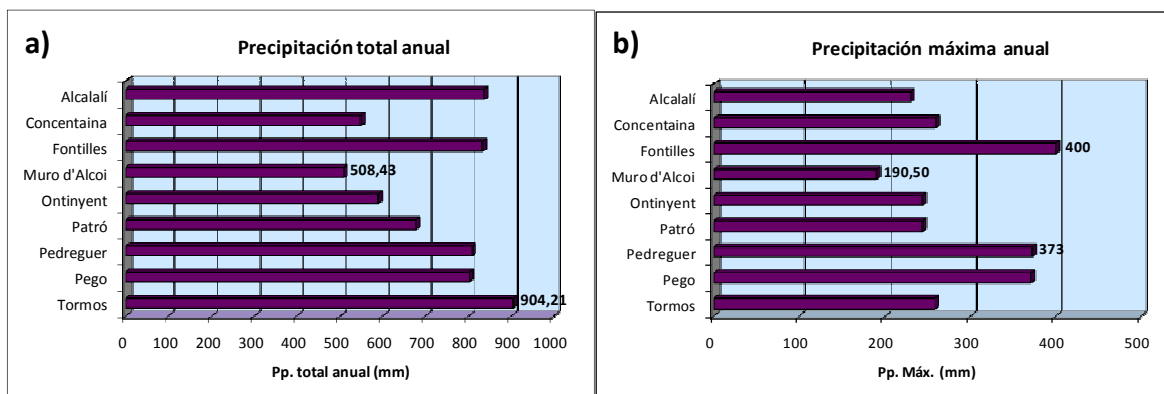


Figura 2.11. a) Precipitación total anual en las estaciones de estudio. b) Precipitación máxima anual en las estaciones de estudio. Período 1980-2010.

Tabla 2.2. Precipitación máxima en las estaciones de estudio.

Período 1980-2010	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx.
Alcalalí	126,00	166,00	120,00	149,00	159,00	58,00	26,50	217,00	220,00	160,00	160,00	230,00	230,00
Concentaina	65,00	82,00	65,00	43,50	95,00	48,50	62,00	31,70	119,00	37,20	260,00	73,00	260,00
Fontilles	133,0	117,00	105,00	130,00	120,00	60,00	29,00	65,00	175,00	158,00	143,00	400,00	400,00
Muro d'Alcoi	39,50	190,50	49,50	41,00	163,00	36,00	25,60	16,20	111,00	47,50	62,00	108,00	190,50
Ontinyent	96,00	176,00	61,70	55,50	84,00	54,50	42,60	49,20	162,00	157,50	244,00	84,00	244,00
Patró	66,30	154,00	70,00	116,00	244,00	40,00	28,60	67,60	133,40	129,00	172,00	143,00	244,00
Pedreguer	91,00	149,00	155,00	266,00	126,00	77,00	24,50	77,00	231,00	143,00	373,00	75,00	373,00
Pego	95,50	122,00	142,90	118,20	99,80	77,80	62,80	73,00	186,00	128,90	371,50	103,00	371,50
Tormos	134,00	182,00	223,00	162,00	206,00	91,00	57,00	76,00	259,00	218,00	259,00	154,00	259,00

Las elevaciones montañosas, la dirección de algunos valles fluviales y la dirección NW-SE de la costa, producen que la zona esté expuesta a los temporales de levante, lo que condiciona que se alcancen valores pluviométricos elevados debido al desarrollo de la inestabilidad vertical. Los relieves de las zonas más interiores afectan a las fuerzas convectivas, obligando a ascender hasta desarrollar la inestabilidad térmica. Estas células convectivas que actúan sobre el litoral mantienen la suficiente inestabilidad en su seno para precipitar sin necesidad de empuje mecánico, por lo que alcanzan las mayores intensidades. Las lluvias del litoral provocan mayor torrencialidad.

Por el contrario el verano es seco, representando un período de aridez que es máximo durante el mes de julio, en el que se registran precipitaciones medias que oscilan entre los 4,36 mm del observatorio de Pedreguer y los 15,04 mm del situado en Cocentina.

### 2.4.1.3. TORRENCIALIDAD

La torrencialidad produce un aumento de la erosionabilidad del suelo, debido a la agresividad de la lluvia provocada por el impacto de las gotas de agua en la superficie del suelo, produciendo así la rotura de los agregados.

La torrencialidad origina por un lado la pérdida del suelo y, por otro lado, la lixiviación de los nutrientes disponibles para las plantas que hay en el suelo.

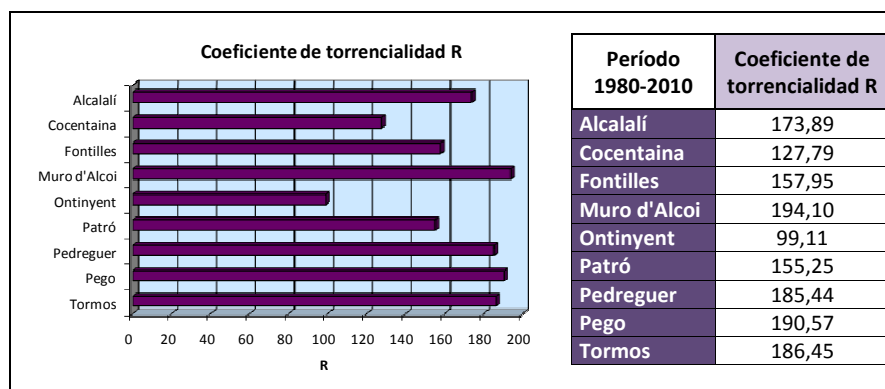


Figura 2.12. Coeficiente de torrencialidad R para las estaciones de estudio.

Se calculan los valores de torrencialidad R para el período 1980-2010 (figura 2.12), obteniéndose los valores más elevados en la estación de Muro d'Alcoi (194,10) y los más bajos en Ontinyent (99,11) (Ollero et al., 2001).

La torrencialidad va disminuyendo hacia el interior de la comarca de manera que, las precipitaciones que se producen en las zonas del interior están repartidas de una forma más homogénea durante todo el año.

#### 2.4.1.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

Para la descripción del clima según Thornthwaite se utilizan los términos de índice de humedad, la eficacia térmica de la zona, la variación estacional de la humedad y la concentración estival de la eficacia térmica.

Tabla 2.3. Déficit y exceso de agua en el suelo en las estaciones de estudio según Thornthwaite.

Período 1980-2010	Déficit (mm)	Exceso (mm)
Alcalalí	294	257
Cocentaina	356	94
Fontilles	351	259
Muro d'Alcoi	366	39
Ontinyent	334	83
Patró	271	138
Pedreguer	305	228
Pego	334	186
Tormos	290	312

En las zonas del interior de la comarca las lluvias más frecuentes y de menor intensidad producen un déficit de agua en el suelo, a diferencia de las zonas más próximas a la costa donde la frecuencia de las lluvias es menor, sin embargo se producen máximos de precipitación que producen un exceso de agua en el suelo.

Las estaciones con mayor déficit de agua en el suelo corresponden a Muro d'Alcoi (366 mm) y Cocentaina (356 mm), siendo consecuencia de ello la menor pluviometría registrada en dichas zonas. Mientras que las estaciones con mayor número de meses con la reserva llena corresponde a las poblaciones que se encuentran más próximas al litoral, como son Tormos (312 mm), Fontilles (259 mm), Alcalalí (257 mm) y Pedreguer (228 mm).

Los resultados obtenidos de la clasificación de Thornthwaite para las distintas estaciones (Ollero, 2001) son los siguientes:

**Tabla 2.4.** Clasificación climática de Thornthwaite.

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE THORNTWHAITE				
Período 1980-2010	Índice de humedad	Variación estacional de la humedad	Eficacia térmica	Concentración estival de la eficacia térmica
Alcalalí	C2 Subhúmedo	s2* Gran falta de agua en verano	B'3 Mesotérmico	b'4
Cocentaina	C1 Secosubhúmedo	s Moderado exceso de agua en invierno	B'2 Mesotérmico	b'4
Fontilles	C2 Subhúmedo	s2* Gran falta de agua en verano	B'3 Mesotérmico	b'4
Muro d'Alcoi	D Semiárido	d Poco o nulo exceso de agua en invierno	B'2 Mesotérmico	b'4
Ontinyent	C1 Secosubhúmedo	d Poco o nulo exceso de agua en invierno	B'2 Mesotérmico	b'4
Patró	C1 Secosubhúmedo	s Moderado exceso de agua en invierno	B'2 Mesotérmico	b'4
Pedreguer	C2 Subhúmedo	s2* Gran falta de agua en verano	B'3 Mesotérmico	b'4
Pego	C1 Secosubhúmedo	s Moderado exceso de agua en invierno	B'3 Mesotérmico	b'4
Tormos	C2 Subhúmedo	s* Falta moderada de agua en verano	B'3 Mesotérmico	b'4

**a) Según el ÍNDICE DE HUMEDAD:**

- Semiárido (D): únicamente Muro d'Alcoi.
- Seco subhúmedo (C1): en Cocentaina, Ontinyent, Patró y Pego.
- Subhúmedo (C2): en Alcalalí, Fontilles, Pedreguer y Tormos.

Como semiárido se encuentra Muro d'Alcoi debido a que las precipitaciones no son demasiado elevadas, y como zonas subhúmedas las que disponen de mayor cantidad de agua.

**b) Según la EFICACIA TÉRMICA:**

Todas las estaciones estudiadas presentan el tipo Mesotérmico (B'2 y B'3).

**c) Según la VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA HUMEDAD:**

- Gran falta de agua en verano (s2\*): en Alcalalí, Fontilles y Pedreguer.
- Falta moderada de agua en verano (s\*): Tormos.
- Moderado exceso de agua en invierno (s): Cocentaina, Patró y Pego.
- Poco o nulo exceso de agua en invierno (d): Muro d'Alcoi y Ontinyent.

**d) Según la CONCENTRACIÓN ESTIVAL DE LA EFICACIA TÉRMICA:**

En todas las estaciones existe en general una baja concentración, entre 48 y 51,9.

### 2.4.1.5. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA SOIL TAXONOMY

La clasificación climática Soil Taxonomy se realiza en función de cuatro parámetros: reserva llena, reserva húmeda, reserva vacía y reserva vacía estival.

**Tabla 2.5.** Clasificación climática Soil Taxonomy.

Período 1980-2010	Reserva llena (días)	Reserva húmeda (días)	Reserva vacía (días)	Reserva vacía estival (días)	Régimen de humedad del suelo
Alcalalí	101	158	101	90	Xéric
Cocentaina	49	175	136	90	Xéric
Fontilles	105	151	104	90	Xéric
Muro d'Alcoi	20	175	165	90	Xéric
Ontinyent	48	196	116	90	Xéric
Patró	43	212	105	90	Xéric
Pedreguer	97	161	102	90	Xéric
Pego	95	160	105	90	Xéric
Tormos	102	154	104	90	Xéric

Todas las estaciones de estudio se clasifican dentro del régimen de humedad del suelo Xéric, pero entre ellas existen diferencias debido a la permanencia del agua en el suelo.

Cuando la reserva está llena significa que el suelo está saturado de agua, por lo que se pueden producir pérdidas por lixiviación/escorrentía. Las estaciones que presentan la reserva llena durante más días son Fontilles (105 días), Tormos (102 días) y Alcalalí (101 días), lo que se corresponde con las estaciones que presentan un exceso de agua según Thornthwaite. La estación que presenta la reserva vacía durante más tiempo es Muro d'Alcoi con un total de 165 días, de los cuales 90 corresponden a la época estival. Como se observa en todas las estaciones estudiadas, la reserva está vacía prácticamente durante el período estival.

### 2.4.2. DATOS CLIMÁTICOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL EN CASTELL DE CASTELLS

Dada la disponibilidad de una estación experimental en la zona de estudio, se han utilizado los registros de las variables climáticas existentes durante el período de estudio en la mencionada estación, para estudiar la climatología de la cuenca y relacionarla posteriormente con los datos experimentales de que se dispone.

#### 2.4.2.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

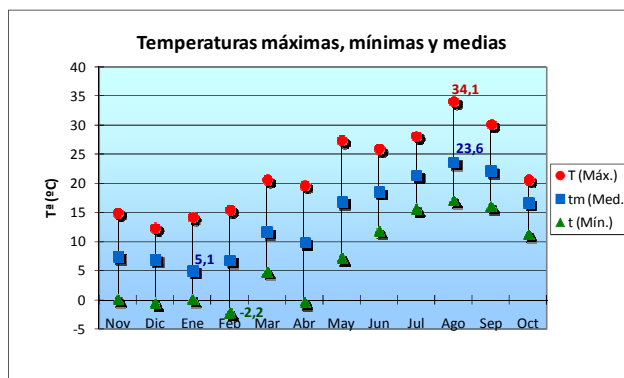
La clasificación de Thornthwaite determina para dicha estación en el período de estudio que corresponde a un clima mesotérmico subhúmedo, con gran falta de agua en verano (tipo C2s2\*B'2a') (tabla 2.6).

**Tabla 2.6.** Ficha climática de Thornthwaite de la estación experimental de Castell de Castells situada en la zona de estudio.

FICHA CLIMÁTICA DE THORNTHWAITTE												
Estación:	Castell de Castells						Clasificación:	C2	s2*	B'2	a'	
Long:	0	11	W			Altura:	800 m					
Lat:	38	43	N									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
tm	5,10	6,80	11,70	9,90	16,90	18,60	21,40	23,60	22,20	16,70	7,50	7,00
i	1,03	1,59	3,62	2,81	6,32	7,31	9,04	10,48	9,55	6,21	1,85	1,66
evt	12,18	18,54	40,93	32,07	70,00	80,51	98,79	113,96	104,23	68,79	21,39	19,34
ajuste	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
evtp	10,35	15,57	42,16	35,60	86,10	99,83	124,48	134,47	108,40	66,04	17,97	15,86
Pp	121,40	0,40	139,60	14,40	17,00	7,00	0,40	7,80	14,40	153,60	120,00	33,60
Humedad	111,05	-15,17	97,44	-21,20	-69,10	-92,83	-124,08	-126,67	-94,00	87,56	102,03	17,74
Reserva	100,00	84,83	100,00	78,80	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	87,56	100,00	100,00
Evtr	10,35	15,57	42,16	35,60	86,10	16,70	0,40	7,80	14,40	66,04	17,97	15,86
Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,13	124,08	126,67	94,00	0,00	0,00	0,00
Exceso	111,05	0,00	82,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,59	17,74
<b>TOTALES</b>			<b>ÍNDICES</b>									
tm	13,95	°C		lh = 39,73								
I	61,48			la = 56,54								
a	1,46			lm = 5,80								
evtp	756,83	mm.										
evtpe	358,79	mm.										
evtpe	47,41	%										
Pp	629,60	mm.										
Reserva ideal	100,00	mm.										
Déficit	427,89	mm.										
Exceso	300,66	mm.										
Torrencialidad R	284,74											
<b>CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITTE</b>												
C2 SUBHÚMEDO												
s2* GRAN FALTA DE AGUA EN VERANO												
B'2 MESOTÉRMICO												
a'												

### 2.4.2.2. TEMPERATURAS

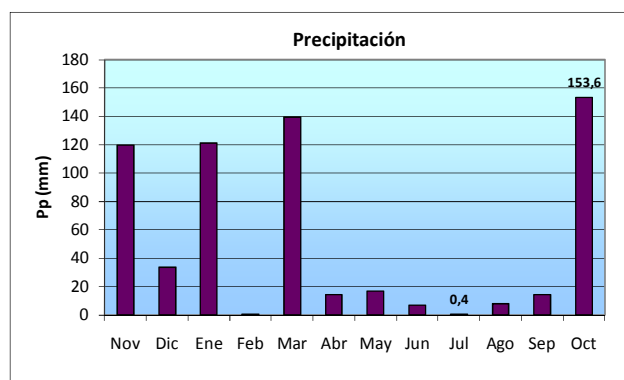
En cuanto a la temperatura media, el valor medio anual es de 13,95°C. Los inviernos son frescos situándose el termómetro a 5,1°C en el mes de enero, siendo éste el menor valor de temperatura media observado. La temperatura mínima más baja es registrada durante el mes de febrero con un valor de -2,2°C. Por el contrario el verano es caluroso, destacando el mes de agosto con 23,6°C de media y 34,1°C de máxima (figura 2.13).



**Figura 2.13.** Temperaturas máximas, mínimas y medias registradas en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio.

### 2.4.2.3. PRECIPITACIONES

Es un clima típicamente mediterráneo con una sequía que se prolonga a lo largo de los tres meses estivales, siendo en el mes de julio donde se registra el valor mínimo de precipitación (0,4 mm). Las mayores precipitaciones se recogen durante el trimestre otoñal, destacando los 153,6 mm del mes de octubre (figura 2.14). Los 629,6 mm de precipitación total anual hacen de la zona de estudio una de las regiones húmedas de la Comunidad Valenciana con más de 50 días de lluvia por año.



**Figura 2.14.** Precipitaciones registradas en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio.

### 2.4.2.4. RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO

Según los datos obtenidos en el período estudiado (tabla 2.7), la reserva está llena durante 97 días al año, aunque las plantas disponen de agua durante 126 días que es cuando la reserva está húmeda. La reserva está vacía durante 137 días de los cuales 90 son en verano, debido a la excesiva evapotranspiración estival existente en la zona.

**Tabla 2.7.** Régimen de humedad del suelo obtenido en la estación experimental de Castell de Castell durante el período de estudio.

TOTALES			RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO	
Reserva ideal	100.00	mm.	UDIC	
Reserva llena	97	días		
Reserva húmeda	126	días		
Reserva vacía	137	días		
Reserva vacía estival	90	días		

## 2.5. VEGETACIÓN

### 2.5.1. BIOGEOGRAFÍA Y SERIES DE VEGETACIÓN

Siguiendo los criterios de la tipología biogeográfica o corológica elaborada para la Península Ibérica por Rivas Martínez (1987), el territorio presenta el siguiente encuadre biogeográfico:

1. **Reino:** Holártico
2. **Región:** Mediterránea
3. **Subregión:** Mediterránea occidental
4. **Superprovincia:** Mediterránea-Iberolevantina
5. **Provincia:** Valenciano-Catalano-Provenzal
6. **Sector:** Setabense
7. **Subsector:** Alcoyano-Diánico
8. **Distrito:** Diánico

Dentro de la **región** *Mediterránea*, la provincia corológica Valenciano-Catalano-Provenzal constituye, junto con las provincias Aragonesa, Castellano-Maestrat-Manchega, Balear y Murciano-Almeriense, la **superprovincia** *Mediterránea-Iberolevantina*.

La **provincia** *Valenciano-Catalano-Provenzal* corresponde a una amplia franja litoral que se extiende desde la Provenzal hasta las montañas alicantinas septentrionales, siendo la que ocupa una mayor extensión en el territorio administrativo de la Comunidad Valenciana. Esta provincia se caracteriza porque las temperaturas presentan unos contrastes moderados, y por tener como ombroclimas dominantes el seco y el subhúmedo (Pérez Badia, 1997).

El **sector** *Setabense* ocupa el sur de esta provincia, extendiéndose desde el sur del río Túrria hasta el límite de la zona semiárida alicantina. Limita por el norte con el sector Valenciano-Tarraconense, hacia el interior con el sector Manchego de la provincia Castellano-Maestrat-Manchega, y hacia el sur con el sector Alicantino-Murciano de la provincia Murciano-Almeriense. En este sector se encuentran representados los termotipos termomediterráneo y mesomediterráneo, quedando el piso supramediterráneo restringido a las cumbres de las montañas más elevadas.

El **subsector** *Alcoyano-Diánico* abarca los territorios montañosos que representan el confín nororiental de las Sierras Béticas, y está formado por una sucesión de macizos calcáreos rodeados de valles y llanuras, en los cuales son frecuentes los procesos de decarbonatación. Comprende las comarcas de la Marina Alta, Marina Baixa, El Comtat, L'Alcoià, La Safor, La Costera y La Vall d'Albaida. Desde el punto de vista bioclimático están representados en este subsector los pisos termomediterráneo, mesomediterráneo y supramediterráneo (sólo en lugares concretos como por ejemplo Sierra Mariola y Sierra de Aitana). El ombroclima dominante es el subhúmedo, aunque también están representados el seco y, en menor medida, el húmedo.

La Marina Alta conforma el núcleo principal del **distrito** *diánico*, el cual se prolonga hacia el sur en la comarca vecina de la Marina Baixa y hacia el norte en la de la Safor. Este distrito se caracteriza por poseer un elevado número de táxones y sintáxones propios.

Las series climatófilas presentes en este subsector corresponden a las siguientes series de vegetación: *Rubio longifoliae-Quercetum rotundifoliae* (piso termomediterráneo), *Quercetum rotundifoliae* (principalmente la subass. *ulicetosum parviflori*) (piso



mesomediterráneo) y *Fraxino orni-Quercetum fagineae* (pisos mesomediterráneo y supramediterráneo).

La **serie de vegetación** característica del territorio objeto de este estudio según Rivas Martínez (1987) es:

*Serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de la carrasca (Quercus rotundifolia): Querceto rotundifoliae, sigmetum.*

Esta serie de la carrasca (*Quercus rotundifolia*) en su etapa madura o clímax es un bosque denso de encinas que, en ocasiones, puede tener otros árboles (enebros, acebuches, etc.), y que posee un sotobosque arbustivo en general no muy denso. A este bosque le sustituye un grupo de arbustos formados por nanofanerófitos perennifolios como *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*, etc.

Una degradación profunda del suelo, con la desaparición de los horizontes orgánicos y aparición generalizada de piedras en la superficie, conlleva a la existencia de las etapas subseriales más degradadas de estas series que corresponden, sobre suelos calcáreos ricos en bases, a tomillares, romerales o aliagares (*Rosmarineta*).

**Tabla 2.8.** Etapas de regresión y especies bioindicadoras de la serie de vegetación del territorio.

ETAPA	ESPECIES BIOINDICADORAS
<b>I. Bosque</b>	<i>Quercus rotundifolia</i> , <i>Teucrium pinnatifidum</i> .
<b>II. Matorral denso</b>	<i>Quercus coccifera</i> , <i>Rhamnus lycioides</i> .
<b>III. Matorral degradado</b>	<i>Genista scorpius</i> , <i>Teucrium capitatum</i> , <i>Lavandula latifolia</i> , <i>Centaurea rouyi</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Ulex parviflorus</i> , <i>Cistus albidus</i> .
<b>IV. Pastizales</b>	<i>Brachypodium retusum</i> , <i>Koeleria vallesiana</i> , <i>Dactylis glomerata</i> subsp. <i>hispanica</i> .

Desde el punto de vista fitosociológico (Pérez Badía, 1997), las **clases de vegetación** dominantes son: *Rosmarinetea officinalis* y *Helianthemetea guttati*.

Respecto a la clase ***Rosmarinetea officinalis***, la asociación presente es *Centaureo rouyi-Cistetum albidi* que se corresponde con romerales y aliagares ricos en jaras, y se encuentra tanto en pisos termomediterráneos como mesomediterráneos. Florísticamente se caracteriza por la presencia de *Centaurea rouyi* y *Helianthemum apenninum*. El estrato formado por las especies herbáceas hemicriptófitas y terofíticas es el que más predomina, seguido por el estrato nanofanerófito compuesto por la aliaga (*Ulex parviflorus*), el romero (*Rosmarinus officinalis*) y la jara (*Cistus albidus*). La asociación se desarrolla sobre substratos calcáreos y margosos del Cretácico, que originan Leptosoles y Luvisoles crómicos. Forma parte de las series de los carrascales *Quercetum rotundifoliae* y contacta con pastizales de *Teucro-Brachypodietum retusi*.

Dentro de la clase ***Helianthemetea guttati*** se encuentra la asociación *Saxifrago tridactylitae-Hornungietum petraeae*. Es una asociación de terófitos efímeros de fenología primaveral, que colonizan claros de matorrales y rellanos terrosos sobre substratos calcáreos. La asociación tiene una amplia distribución ibérica, extendiéndose desde el centro hacia el norte, este y sureste peninsular. Ésta es una de las comunidades más representadas en todo el territorio, y constituye una de las etapas más degradadas de la vegetación potencial climatófila de la clase *Quercetea ilicis*.

## 2.5.2. DIVERSIDAD FLORÍSTICA DE LOS MATORRALES EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

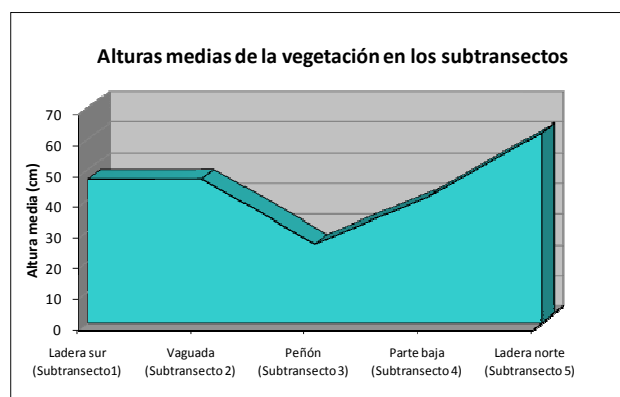
La diversidad florística de los matorrales existentes en la zona de estudio (Pérez Badia et al., 2004; Stubing y Peris, 1998), se estudia considerando un transecto que atraviesa la cuenca hidrográfica de 1,133 Km<sup>2</sup>, desde la ladera sur hasta la ladera norte. Este transecto se divide en 5 subtransectos o tramos, de tal forma que las parcelas englobadas dentro de cada subtransecto tengan más o menos características similares, respecto a la exposición y topografía (Rivas Martínez, 1987).

Las características de cada uno de los 5 subtransectos son:

- **Subtransecto 1: Ladera sur**, la fisonomía de la vegetación es un romeral.
- **Subtransecto 2: Vaguada**, la fisonomía de la vegetación es una comunidad mixta formada por romeral y aliagar.
- **Subtransecto 3: Peñón en el centro del transecto**, es uno de los subtransectos con mayor cobertura de piedra, donde la fisonomía es un tomillar.
- **Subtransecto 4: Parte baja del transecto**, se caracteriza porque se encuentra en la parte más baja de la cuenca y la fisonomía de la vegetación es una mezcla de coscojar y aliagar.
- **Subtransecto 5: Ladera norte**, corresponden a antiguos cultivos, los cuales se encuentran colonizados por un aliagar.

La distribución de las alturas medias que presenta la vegetación en los subtransectos muestra valores bajos, y reflejan el estado en que se encuentra la vegetación. La recurrencia de los incendios forestales, el pastoreo y la falta de suelo, son los factores que impiden el desarrollo de las especies, a pesar de las óptimas condiciones climáticas de la zona.

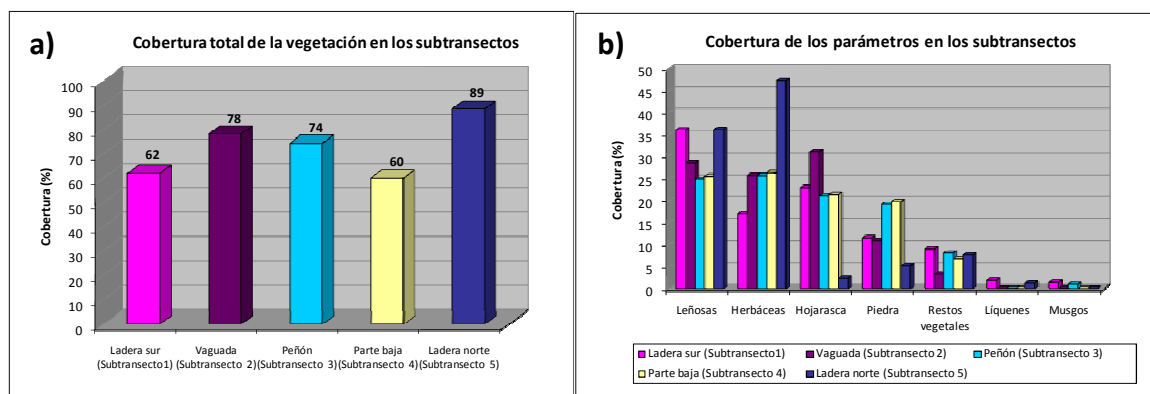
Las alturas más bajas se encuentran en el subtransecte 3 (peñón en el centro del transecto), por el contrario, es en la ladera norte (subtransecto 5) donde se presentan las mayores alturas, dadas las mejores condiciones de temperatura y humedad. Los subtransectos 1, 2 y 4 de la ladera sur, de la vaguada y de la parte baja de la cuenca, presentan alturas intermedias muy semejantes entre dichos subtransectos (figura 2.15).



**Figura 2.15.** Representación de las alturas medias (cm) de la vegetación en los subtransectos.

La cobertura total de la vegetación en los subtransectos se sitúa entre un 60 y un 89% (figura 2.16.a). Es en la parte más baja del transecto y en la ladera sur, donde hay una menor cobertura. Por el contrario, en la ladera norte, la vaguada y el peñón, donde se

presentan porcentajes de cobertura mayores. La menor cobertura en la ladera sur y mayor en la ladera norte, puede explicarse debido al efecto solana-umbría (existe más insolación, temperaturas más altas y menos humedad en la ladera sur que en la norte) (Pérez Badia et al., 2004).



**Figura 2.16. a)** Cobertura total de la vegetación en los subtransectos. **b)** Cobertura de los parámetros en los subtransectos: leñosas, herbáceas, hojarasca, piedra, restos vegetales, líquenes y musgos.

Los parámetros que presentan mayor cobertura en todos los subtransectos son las especies herbáceas y leñosas, y la hojarasca (exceptuando en la ladera norte), mientras que se observan bajos porcentajes de piedra, así como de restos vegetales, líquenes y musgos (figura 2.16.b).

En cuanto a las **especies herbáceas**, tres subtransectos (vaguada, peñón y parte baja) presentan una cobertura muy parecida, exceptuando las laderas sur y norte. La ladera sur, a pesar de tener mayor número de especies herbáceas que el resto de subtransectos, es la que menos cobertura presenta y, por el contrario, la ladera norte presenta el porcentaje de cobertura mayor debido a la cobertura de las especies *Brachypodium retusum* y *Brachypodium phoenicoides*.

Las **especies leñosas** presentan una cobertura mayor en las laderas sur y norte, observándose valores semejantes en ambas, mientras que los porcentajes más bajos se obtienen en el subtransecto 3 (peñón).

Respecto a la **hojarasca**, en estos tres subtransectos (ladera sur, peñón y parte baja) se ha observado una cobertura similar. Es en el subtransecto correspondiente a la vaguada donde se presenta la mayor cobertura de hojarasca, en cambio, en la ladera norte se alcanzan los porcentajes más bajos de hojarasca.

La cobertura que da la **pedregosidad** es mayor en el peñón y la parte baja del transecto, mientras que los menores valores de pedregosidad se observan en la ladera norte.

El recubrimiento que aportan los **restos vegetales**, así como la existencia de **líquenes** y **musgos** en todos los subtransectos, alcanzan valores muy bajos de cobertura.

La cobertura vegetal es una de las medidas más comunes en el estudio de la vegetación, siendo el porcentaje de superficie de suelo que está recubierto por la vegetación.

El estudio de la cobertura de las diferentes especies leñosas y herbáceas que se encuentran en los 5 subtransectos se analiza a continuación, para así determinar la vegetación característica de la zona de estudio.

### ▪ Subtransecto 1: Ladera sur

En este subtransecto la fisonomía de la vegetación corresponde a un romeral. Se han encontrado un 23% de especies leñosas y un 77% de herbáceas.

Entre las especies leñosas, la especie que aporta un porcentaje de cobertura mayor es el romero *Rosmarinus officinalis*. Entre otras especies leñosas abundan *Thymus vulgaris*, *Cistus albidus*, *Juniperus oxycedrus*, *Ulex parviflorus* y *Fumana laevipes*. Y en menor proporción *Sedum sediforme*, *Teucrium homotrichum*, *Sedum album*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ononis minutissima*, *Helianthemum apenninum*, *Argyrolobium zanonii*, *Bupleurum fruticoscens* y *Sedum acre*.

Las especies herbáceas son muy numerosas y, por la exposición en la que se encuentran y por los claros que dejan las especies leñosas, permiten de esta manera el desarrollo de las herbáceas. En mayor proporción destaca el *Brachypodium retusum*, encontrándose otras especies en mucha menor proporción (*Stipa offneri*, *Brachypodium distachyon*, *Eryngium campestre*, *Cuscuta epithymum*, *Plantago afra*, *Avenula bromoides*, *Asterolinon linumstellatum* y *Ononis reclinata*).

### ▪ Subtransecto 2: Vaguada

La fisonomía de la vegetación en este subtransecto corresponde a una comunidad mixta de romeral-aliagar. Se han encontrado un 47% de especies leñosas y un 53% de herbáceas.

La mayoría de la cobertura de este subtransecto la aportan el romero *Rosmarinus officinalis* y la aliaga *Ulex parviflorus* como especies leñosas, y la especie herbácea *Brachypodium retusum*.

Dentro de las especies leñosas se encuentran además otras especies con coberturas inferiores, éstas son *Santolina chamaecyparissus*, *Cistus albidus*, *Thymus vulgaris* y *Teucrium homotrichum*.

En cuanto a las especies herbáceas, además de la cobertura aportada por *Brachypodium retusum*, se encuentran otras especies pero con coberturas muy bajas.

### ▪ Subtransecto 3: Peñón del centro del transecto

En este subtransecto la fisonomía de la vegetación cambia respecto a los subtransectos anteriores, corresponde a un tomillar donde la manzanilla amarga *Santolina chamaecyparissus* es codominante. Se han encontrado un 35% de especies leñosas y un 65% de herbáceas.

De las especies leñosas, las que presentan mayor cobertura son el tomillo *Thymus vulgaris*, la manzanilla amarga *Santolina chamaecyparissus* y la jara *Cistus albidus*. Le siguen con porcentajes de cobertura intermedios, el palmito *Chamaerops humilis*, el romero *Rosmarinus officinalis*, *Teucrium homotrichum* y *Bupleurum fruticoscens*, mientras que la aliaga *Ulex parviflorus* se encuentra con coberturas muy bajas, especie que únicamente en este subtransecto no cobra importancia en términos de cobertura. La pedregosidad y la poca profundidad del suelo en este subtransecto, podrían estar entre las causas de la poca abundancia de las aliagas.

Entre las especies herbáceas encontradas en este subtransecto, la especie *Brachypodium retusum* es, al igual que en los subtransectos anteriores, la herbácea que tiene mayor cobertura. Además se encuentran otras especies herbáceas en mucha menor proporción

como son *Stipa offneri*, *Euphorbia isatidifolia*, *Allium sphaerocephalon*, *Bromus hordeaceus* y *Cetereach officinarum*.

#### ▪ Subtransecto 4: Parte baja del transecto

Únicamente en este subtransecto el porcentaje de especies leñosas (56%) es superior al de especies herbáceas (44%). Además, es el único subtransecto donde aparece la coscoja *Quercus coccifera* y la carrasca *Quercus rotundifolia*.

Respecto a la cobertura de las especies leñosas, las que presentan mayores porcentajes son la carrasca *Quercus rotundifolia*, la aliaga *Ulex parviflorus*, la manzanilla amarga *Santolina chamaecyparissus* y la coscoja *Quercus coccifera*. Con coberturas más bajas se encuentra *Osyris alba*, la jara *Cistus albidus*, *Teucrium homotrichum*, el romero *Rosmarinus officinalis* y el tomillo *Thymus vulgaris*.

De las especies herbáceas encontradas, la especie que presenta mayor cobertura es *Brachypodium retusum*, seguidamente, con mucha diferencia de cobertura, aparecen *Brachypodium phoenicoides*, *Eryngium campestre* y *Bupleurum baldense*.

#### ▪ Subtransecto 5: Ladera norte

Este subtransecto se sitúa en la ladera norte de la cuenca y coincide con una zona de antiguos cultivos, abandonados desde hace unos cuantos años. La vegetación pertenece a un aliagar. En este subtransecto se han encontrado un 49% de especies leñosas y un 51% de herbáceas.

Entre las especies leñosas, la especie dominante es la aliaga *Ulex parviflorus*. Seguidamente las especies leñosas que más cobertura dan son *Arenaria valentina*, *Cistus albidus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Bupleurum frutescens*, *Rosmarinus officinalis* y *Genista hispanica*.

Respecto a las herbáceas, la especie *Brachypodium retusum* es la que da mayor cobertura. A continuación, le siguen en orden descendente de cobertura las especies *Brachypodium phoenicoides*, *Aphyllantes monspeliensis* y *Calicotome spinosa*.

En general, se puede indicar que las especies leñosas que aportan la mayor cobertura en estos subtransectos son 5: *Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Thymus vulgaris* y *Santolina chamaecyparissus* (figura 2.17.a). Respecto a las especies leñosas dominantes, éstas van cambiando a lo largo del transecto, en la ladera sur domina el romero *Rosmarinus officinalis*, y en la ladera norte, aprovechando la humedad y la profundidad del suelo, la aliaga *Ulex parviflorus*. Entre medio de estas laderas, se pasa por: el subtransecto de la vaguada donde son codominantes estas dos especies *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus* (al corresponder a una comunidad mixta de romeral-aliagar); el subtransecto del peñón donde la especie *Thymus vulgaris* es la que presenta mayor cobertura (al tener fisonomía de tomillar), siendo en este caso la manzanilla amarga *Santolina chamaecyparissus* codominante; y el subtransecto de la parte baja, dominado por la especie *Quercus rotundifolia* y *Ulex parviflorus* (por corresponder a un carrascal-aliagar).

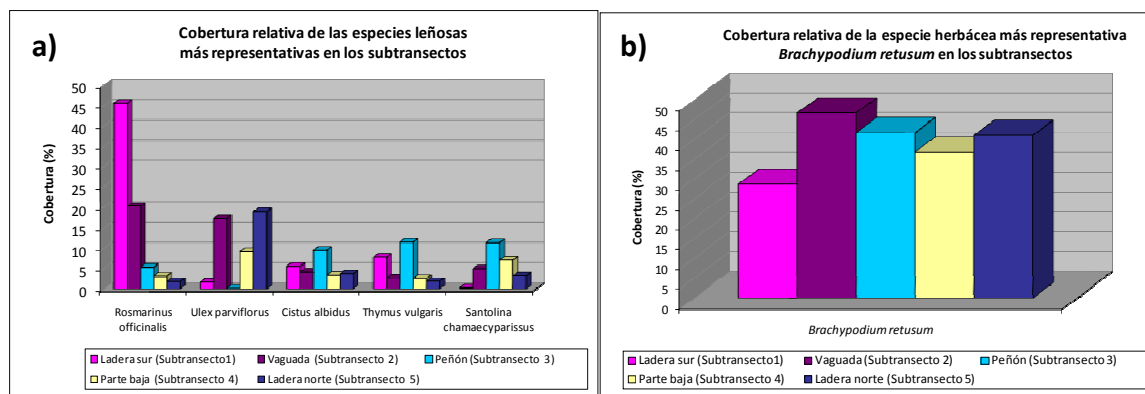


Figura 2.17. a) Cobertura relativa de las especies leñosas más representativas en los subtransectos. b) Cobertura relativa de la especie herbácea más representativa *Brachypodium retusum* en los subtransectos.

Las especies leñosas y herbáceas más frecuentes en los subtransectos (figura 2.18.a y 2.18.b) coinciden, en la mayoría de las veces, con las más abundantes. En todos los subtransectos, la especie herbácea que aparece con mayor frecuencia es *Brachypodium retusum*, llegando en algunos subtransectos a presentar un 100% de frecuencia de aparición.

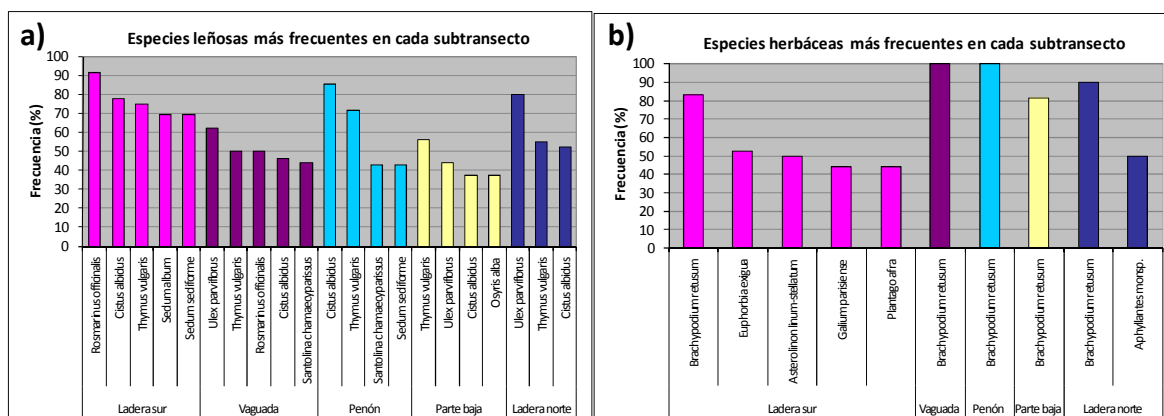




Figura 2.18. a) Especies leñosas más frecuentes en cada subtransecto. b) Especies herbáceas más frecuentes en cada subtransecto.



### 2.5.3. DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

Dentro de la vegetación autóctona de la zona de estudio se ha realizado una selección de plantas, bajo las cuales se ha estudiado con detalle las propiedades de los suelos.



Previamente, se han estudiado las propiedades de estas especies y se han analizado sus características, así como sus exigencias respecto a la climatología y desarrollo, cuya información se muestra a continuación en la tabla 2.8.



**Tabla 2.9.** Características de las especies vegetales seleccionadas en ambas parcelas, bajo las que se estudian las propiedades de los suelos.

Espece vegetal	Clasificación botánica		Descripción morfológica de la planta	Microhábitat	Distribución de la planta	Fotografía de la planta
<i>Thymus vulgaris</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Mata leñosa, aromática, muy ramificada, con tallos de color marrón o rojizos ascendentes o erectos, muchas veces algo arqueados. Hojas enteras, oblongo-lineares y con margen revoluto. Flores reunidas en glomérulos más o menos densos. Corola blanzuca o rosada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,1 - 0,4 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Caméfito (mata leñosa de talla &lt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Todo el año. Enero - Diciembre (I - XII).</li> </ul>	<p>En casi todo tipo de matorrales seriales heliófilos, tanto sobre suelos calizos como sobre suelos descarbonatados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo, silíceo y yesos.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Semiárido, seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclina:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea (comprende los territorios europeos y africanos bañados por el mediterráneo o por el atlántico, pero con clima mediterráneo).</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Lamiales</i>				
	Familia:	<i>Lamiaceae</i>				
	Género:	<i>Thymus</i>				
	Especie:	<i>Thymus vulgaris</i>				
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Arbusto perenne aromático, generalmente con ramas erectas y con hojas sésiles, coriáceas, enteras, opuestas, lineares y de margen revoluto, con su haz verde y su envés albo-tomentoso. Flores reunidas en verticilastros paucifloros axilares. Corola bilabiada de color azul-blanquecino con manchas violáceas en su interior y 2 estambres largos que sobresalen de la corola.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,3 - 1,5 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Fanerófito (arbusto leñoso de talla en general &gt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Octubre - Junio (X - VI), excepto los meses estivales (Julio, Agosto y Septiembre).</li> </ul>	<p>En matorrales seriales, donde muchas veces es dominante, desde prácticamente el nivel del mar hasta las zonas cumbreñas de las montañas interiores con excepción de las más elevadas. También vive en roquedos heliófilos ocupando fisuras, repisas y rellanos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo, silíceo y yesos.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclina:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Lamiales</i>				
	Familia:	<i>Lamiaceae</i>				
	Género:	<i>Rosmarinus</i>				
	Especie:	<i>Rosmarinus officinalis</i>				

Especie vegetal	Clasificación botánica		Descripción morfológica de la planta	Microhábitat	Distribución de la planta	Fotografía de la planta
<i>Cistus albidus</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Arbusto de aspecto tomentoso blancuzco, con ramas erectas o ascendentes y hojas enteras, oblongo-elípticas, planas y densamente gris tomentosas por ambas caras. Flores rojo-rosadas (a veces blancas), grandes y vistosas, reunidas en umbelas de hasta 4 flores situadas en el ápice de las ramas, ocasionalmente solitarias. Cáliz formado por 5 sépalos velludos y mucho más cortos que los pétalos. Fruto en cápsula ovoide pilosa con 5 lóculos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,3 - 1,2 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Fanerófito (arbusto leñoso de talla en general &gt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Marzo - Junio (III - VI).</li> </ul>	<p>Elemento mediterráneo occidental muy frecuente en la mayor parte de la Península Ibérica y ampliamente extendido por nuestro territorio. Indiferente edáfico, alcanza su óptimo sobre suelos descarboxatados en las formaciones arbustivas aclaradas, sobre todo romerales y jarales, destacando el espectacular desarrollo que presenta en zonas repetidamente incendiadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo y silíceo.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termodclima:</b> Zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Malvales</i>				
	Familia:	<i>Cistaceae</i>				
	Género:	<i>Cistus</i>				
	Especie:	<i>Cistus albidus</i>				
<i>Brachypodium retusum</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Herbácea, cespitosa y rizomatosa. Tallos delgados, erectos, desnudos en su parte superior, foliosos, ramificados y con más de dos nudos. Hojas dísticas, cortas (de hasta 10 cm.), enteras, convolutas, casi punzantes y ásperas. Inflorescencia erecta y corta, con espículas rectas y glumas agudas mucronadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,1 - 0,5 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Geófito (planta herbácea con órganos perdurantes subterráneos).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Abril - Junio (IV - VI).</li> </ul>	<p>Pastizales vivaces secos, denominados popularmente lastonares, que forman parte del estrato herbáceo de carrascales, alcornocales, coscojares, de sus orlas y etapas degradativas. A veces se presentan en los claros de estas formaciones y en zonas degradadas (por ejemplo tras incendios forestales), siempre que los suelos, aunque tengan escasa potencia, estén bien estructurados, debido a que el reciclaje e incorporación de materia orgánica es rápido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo, silíceo y yesos.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Semiárido, seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termodclima:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Liliopsida</i>				
	Orden:	<i>Poales</i>				
	Familia:	<i>Poaceae</i>				
	Género:	<i>Brachypodium</i>				
	Especie:	<i>Brachypodium retusum</i>				



Especie vegetal	Clasificación botánica		Descripción morfológica de la planta	Microhábitat	Distribución de la planta	Fotografía de la planta
<i>Ulex parviflorus</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Arbusto glabrescente, subáfilo, espinoso, de ramas erguidas o ascendentes, cilíndricas, estriadas y con hojas subuladas. Flores papilionadas amarillas, solitarias o fasciculadas sobre las espinas. Fruto en legumbre.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,4 - 1,6 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Fanerófito (arbusto leñoso de talla en general &gt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Octubre - Mayo (X - V).</li> </ul>	<p>Arbusto muy frecuente y abundante en la Comunidad Valenciana, siempre que exista influencia marítima en el ambiente (maresía) ya que es muy sensible a la continentalidad. Forma parte de los romerales y tomillares litorales y sublitorales, resultando en muchos de ellos el elemento dominante.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclima:</b> Zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Fabales</i>				
	Familia:	<i>Fabaceae</i>				
	Género:	<i>Ulex</i>				
	Especie:	<i>Ulex parviflorus</i>				
<i>Lavandula latifolia</i>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Mata leñosa, aromática, finamente tomentosa con tallos cortos cubiertos de hojas aglomeradas, las inferiores oblongo-lanceoladas y atenuadas en la base. Flores con corola lila pálido, agrupadas en inflorescencias espiciformes, no rematadas en un penacho de brácteas estériles y por lo general laxamente ramificadas. La planta tiene un aroma canforáceo, algo menos fino y más intenso que el de la lavanda.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,3 - 0,8 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Caméfito (mata leñosa de talla &lt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Julio - Septiembre (VII - IX).</li> </ul>	<p>Frecuente sobre suelos calcáreos, donde forma parte de romerales secos y heliófilos. En la Comunidad Valenciana está ampliamente distribuida por todas nuestras serranías calcáreas, excepto en las comarcas semiáridas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (matojares y pastizales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclima:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Lamiales</i>				
	Familia:	<i>Lamiaceae</i>				
	Género:	<i>Lavandula</i>				
	Especie:	<i>Lavandula latifolia</i>				

Especie vegetal	Clasificación botánica		Descripción morfológica de la planta	Microhábitat	Distribución de la planta	Fotografía de la planta
<p><i>Santolina chamaecyparissus</i></p>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Mata aromática y multicaule de color verde a grisáceo. Hojas alternas, tomentosas, sésiles, lineares y pinnatisectas. Capítulos terminales pedunculados, globulosos con brácteas involucrales glabras y escariosas en el ápice. Flores tubulosas y amarillas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,2 - 0,6 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Caméfito (mata leñosa de talla &lt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Mayo - Julio (V - VII).</li> </ul>	<p>En matorrales alterados, bordes de caminos, campos de cultivo abandonados, lugares pastoreados y otros medios subnitrofilos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Ruderal-arvense (caminos y carreteras, y secanos).</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclima:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Magnoliophyta</i>				
	Clase:	<i>Magnoliopsida</i>				
	Orden:	<i>Asterales</i>				
	Familia:	<i>Asteraceae</i>				
	Género:	<i>Santolina</i>				
	Especie:	<i>Santolina chamaecyparissus</i>				
<p><i>Juniperus oxycedrus</i></p>	Reino:	<i>Plantae</i>	<p>Arbusto dioico, a veces árbol de tamaño considerable y copa cónico-ovoide, con ramas de color gris claro y hojas rígidas estrechamente aciculares que presentan en su haz dos bandas longitudinales estomáticas blancas. Gálbulos de color marrón rojizo y no pruinosos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Porte y talla:</b> De 0,5 - 3 m.</li> <li>▪ <b>Biotipo:</b> Fanerófito (arbusto leñoso de talla en general &gt; 0,5 m).</li> <li>▪ <b>Período de floración:</b> Marzo - Mayo (III - V).</li> </ul>	<p>Frecuente en los matorrales heliófilos, coscojares, sabinares negrales y carrascales aclarados de las zonas inferior y media.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Ambiente:</b> Monte (bosques, orlas y matorrales).</li> <li>▪ <b>Tipo de suelo:</b> Calizo, silíceo y yesos.</li> <li>▪ <b>Ombroclima:</b> Semiárido, seco y subhúmedo-húmedo.</li> <li>▪ <b>Termoclima:</b> Zona superior (&gt;1200 m), zona media (500-1200 m) y zona inferior (0-500 m).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>En la Comunidad Valenciana a nivel provincial:</b> Alicante, Castellón y Valencia.</li> <li>▪ <b>A nivel mundial:</b> Mediterránea.</li> </ul>	
	División:	<i>Pinophyta</i>				
	Clase:	<i>Pinopsida</i>				
	Orden:	<i>Pinales</i>				
	Familia:	<i>Cupressaceae</i>				
	Género:	<i>Juniperus</i>				
	Especie:	<i>Juniperus oxycedrus</i>				

## 2.6. USOS DEL SUELO Y ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

El municipio de Castell de Castells, al igual que un gran número de municipios del interior de la provincia de Alicante, a pesar de encontrarse próximo a la costa (35 km), socioeconómicamente constituye, en la actualidad, un espacio marginal.

Dicho municipio soportó un intenso aprovechamiento de sus tierras durante todo el siglo XIX mediante la técnica del aterrazamiento, pero en la actualidad se encuentran abandonadas (Costa, 1977) debido a la compleja orografía de la zona que ofrece pocos espacios óptimos para el desarrollo de una agricultura.

**Tabla 2.10.** Principales usos del suelo en el pasado en el municipio de Castell de Castells.

1794 <sup>a</sup>	1908-1913 <sup>b</sup>	1970 <sup>c</sup>	1986 <sup>d</sup>	1995 <sup>e</sup>	2011 <sup>f</sup>
Trigo, vino, cebada, maíz, pasa, aceite, hortalizas, almendro, cáñamo y seda.	Cereales, viñedo, olivo, almendro, algarrobo y hortalizas.	Algarrobo, almendro, olivo, naranjos y limoneros.	Almendro, olivo y viñedo.	Almendro, olivo y viñedo.	Frutales en verano y olivos.
	Total = 625 ha. ▪ Secano = 615 ha. ▪ Regadío = 10 ha.	Total = 817 ha. ▪ Secano = 813 ha. ▪ Regadío = 4 ha	Total = 469 ha. ▪ Secano = 464 ha. ▪ Regadío = 5 ha.	Total = 465 ha. ▪ Secano = 461 ha. ▪ Regadío = 4 ha.	Total = 312 ha. ▪ Secano = 312 ha. ▪ Regadío = 0 ha.

<sup>a</sup>Fuente: Quereda Sala, 1978 (Estado de la agricultura en tiempos de Cavanilles).

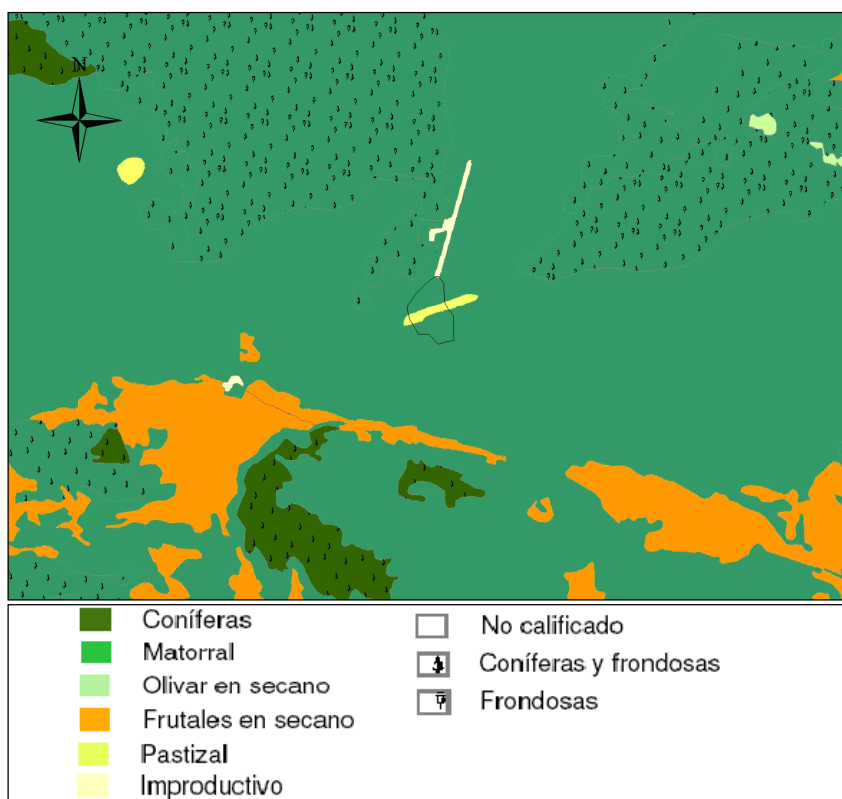
<sup>b</sup>Fuente: Quereda Sala, 1978 (Figueras Pacheco).

<sup>c</sup>Fuente: Quereda Sala, 1978 (Catastro de Rústica y Hermandades de Labradores).

<sup>d</sup>Fuente: Estadística Municipal, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Economía i Hisenda (1988).

<sup>e</sup>Fuente: Anuari Estadístic Municipal i Comarcal 1995, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Economía i Hisenda, Institut Valencià d'Estadística, Valencia, 1998.

<sup>f</sup>Fuente: Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge.



**Figura 2.19.** Mapa de usos y cultivos de la zona de estudio.

Actualmente, en todo el municipio de Castell de Castells han desaparecido los cultivos en regadío, quedando alrededor de 312 ha de frutales cultivados en secano, y pequeñas extensiones de olivar de secano. Como se puede comprobar en la figura 2.19, la mayor parte de la zona de estudio se encuentra ocupada por matorral.

### 2.6.1. BANCALES DE CULTIVO ABANDONADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la zona de estudio se observa la presencia de laderas abancaladas, las cuales inicialmente se dataron durante la cultura musulmana, aunque posteriores estudios datan, la mayoría de los bancales que se observan en la actualidad, de hace unos 110-150 años. Estos bancales han ido sufriendo un proceso evolutivo de abandono íntimamente relacionado con la demografía, economía y selección de las mejores tierras de cultivo. A continuación, se presenta como se ha subdividido la zona de estudio en las siguientes categorías (Corell, 1998):

**Tabla 2.11.** Edad de abandono de los bancales en la zona de estudio.

Bancales	Edad de abandono
Bancal en activo	0 años
Bancal semiabandonado	<15 años
Bancal abandonado	15-45 años
Bancal abandonado	>60 años

En la actualidad, tan sólo se encuentran en **activo** una zona de bancales situada en la parte inferior de la cuenca y otra muy pequeña en la parte media. Ambas se encuentran cercanas al camino, en zona de vaguada y cultivadas con almendros.

En situación de **semiabandono** encontramos dos zonas: en la parte baja, una zona de almendros y, en la parte alta de la cuenca, unos bancales en los que se ha abandonado los frutales pero donde se sigue sembrando de forma rotatoria cereal para caza.

Los bancales **abandonados** más antiguos (**> 60 años**) se localizan en las partes de la ladera media y media-baja, tanto de umbría como de solana. La explotación de estas zonas de ladera debió ser tardía, en relación a su escasa productividad y la elevada inversión de trabajo que requieren, por lo que podemos situar su puesta en cultivo en los momentos de mayor auge de la economía pasera (110 años). Hacia estas tierras se desplazarían los cultivos más marginales (cereal y frutales de secano) y, tan pronto como la economía de la pasa entró en crisis, fueron los primeros en abandonarse. Por tanto, la explotación agrícola de estas tierras tan sólo duró, a lo máximo, unos 50 años.

En el período entre **15-45 años**, se abandonan el resto de los bancales situados en las laderas (ladera baja) y parte de los bancales de fondo de valle. En este caso, el abandono está en relación a la elevada despoblación que sufre la montaña atraída por las mejores condiciones económicas del litoral y de las ciudades. Los motivos por los que fueron puestos en cultivo estos bancales y el tipo de cultivo que en ellos se practicó, son similares a lo comentado para los bancales abandonados en primer lugar. No obstante, sus mejores condiciones topográficas permiten suponer que su roturación fue anterior y que la rentabilidad-accesibilidad de las explotaciones permitió, así mismo, continuar la explotación hasta que descendió en un nivel más la presión demográfica.

En los **últimos 15 años**, se abandonan el resto de bancales situados en el fondo de valle de la zona de estudio. Además de la continua pérdida de efectivos durante la década de los ochenta, hay que destacar el progresivo envejecimiento de la población agudizando todavía más, si cabe, el proceso de abandono de bancales.

▪ **Tipología de los bancales:**

Atendiendo a las variables siguientes se han identificado trece tipos de bancales de cultivo abandonados:

1. Actividad agraria actual (AAA): activo; semiabandonado; abandonado.
2. Actividad ganadera actual (AGA): vacuno; ovino; caprino.
3. Estado de la vegetación (EV): % herbáceas; % arbustivas; % arbóreas.
4. Situación (ST): ladera umbría; ladera solana; fondo de valle.
5. Edad de abandono (EA): <15 años; 15-45 años; >60 años.

En la tabla 2.12 se describen las características de cada tipología de bancal, siendo nombrados de igual forma que los perfiles de suelo analizados. Se puede apreciar como en la mayoría de los bancales estudiados ha cesado por completo su actividad agrícola. Esto supone, a su vez, el abandono de todas aquellas prácticas encaminadas al mantenimiento y regulación de los suelos y agua. Así, el desmoronamiento de los bancales es prácticamente generalizado, estando la intensidad de este proceso en relación con la edad de abandono, y las acequias situadas en el fondo de valle, encargadas de evacuar las aguas sobrantes, se encuentran obturadas por la falta de limpieza de sus lechos y con numerosas roturas.

**Tabla 2.12.** Características de las tipologías de los bancales en los perfiles de estudio.

		AAA	AGA	EV			ST	EA
				%Herbáceas	%Arbustivas	%Arbóreas		
SUR	Entrada	Abandonado	Ovina	15	40	2	Solana	15-45
	Campo Arriba	Abandonado	Ovina	15	30	1	Solana	15-45
	Aliagas	Abandonado	Ovina	10	60	1	Solana/valle	15-45
	Carrasca Sur	Abandonado	Ovina	10	60	1	Solana/valle	>60
CENTRO	Final	Abandonado	Ovina	70	10	1	Valle/bajo	15-45
	Almendros	Semiabandonado	Ovina	30	30	8	Valle	<15
	Tarde	Abandonado	Ovina	10	60	1	Valle	15-45
	Campo Abajo	Semiabandonado	Ovina	60	5	1	Valle	<15
	Bañeras	Semiabandonado	Ovina/vacuna	10	2	-	Valle/alto	<15
NORTE	Grietas	Abandonado	Ovina	20	20	-	Umbría/valle	>60
	Carrasca Alta	Abandonado	Ovina	15	45	6	Umbría	>60
	Carrasca Baja	Abandonado	Ovina	20	50	3	Umbría	>60
	Pinos	Abandonado	Ovina	5	5	50	Umbría	>60

Los primeros espacios en abandonarse fueron las laderas (Carrasca Sur, Carrasca Alta, Carrasca Baja y Pinos), por ser las menos productivas y requerir mayor esfuerzo de conservación, iniciándose el proceso antes de la década de los sesenta. Y

aproximadamente al mismo tiempo, se abandonó la parte baja de la ladera norte (perfil Grietas). Posteriormente, en el período que va desde los años sesenta a principios de los ochenta, coincidiendo con la entrada de la montaña alicantina dentro de la economía de mercado, se abandonaron la práctica totalidad de los bancales (Campo Arriba, Entrada, Tarde, Aliagas y Final). Sólo escaparon a esta tendencia generalizada los bancales que presentaban unas condiciones más óptimas en términos de productividad, mecanización y accesibilidad: los fondos de valle medio-altos (Bañeras, Campo Abajo y Almendros).

El estado actual de la vegetación en los bancales abandonados se encuentra principalmente relacionado con la edad de abandono, situación y el uso al que ha estado sometido tras el abandono agrícola. En relación a esta última variable, hay que destacar la presencia de ganado ovino en la totalidad de los bancales por lo que, a pesar de su importancia, no constituye en sí misma una variable diferenciadora. Sin embargo, el bancal Bañeras muestra la particularidad de estar sometido, además, a la presión estival de ganado vacuno, lo que confiere a este espacio unas particularidades muy especiales: mayor deterioro de los muros del bancal por las pisadas del ganado, una mayor compactación del terreno por efecto de las mismas y el desbroce de la vegetación arbustiva realizado para el mantenimiento de unos pastos aptos para este tipo de ganado.

El mayor porcentaje de vegetación arbórea se encuentra en el perfil Pinos (50%), situado en bancales abandonados hace más de sesenta años. El elevado porcentaje de árboles de pinos está relacionado con la litología margosa de sus suelos, poco apta para la explotación agrícola, lo que hace suponer que su abandono fue muy antiguo y ha sufrido pocas transformaciones posteriores. Las diferencias entre los perfiles Carrasca Alta y Carrasca Baja, ambos de la zona norte, frente al perfil Carrasca de la zona sur, están en relación con su situación respecto al sol, umbría y solana, respectivamente.

Los bancales abandonados más recientemente o semiabandonados presentan un elevado porcentaje de vegetación herbácea (Campo Abajo y Almendros). Sin embargo, el bancal Bañeras es el que presenta una vegetación más degradada dentro del conjunto de bancales (bajo % de vegetación herbácea y casi nulo de arbustiva), debido a la presencia de ganado vacuno.

Por último, dentro de los bancales abandonados entre los años sesenta y principios de los ochenta podemos diferenciar tres grupos. El primero estaría formado por los bancales Campo Arriba y Entrada, con unos porcentajes similares y no muy elevados de vegetación herbácea y arbustiva. El segundo grupo lo forman los bancales Aliagas y Tarde, en donde existe un elevado porcentaje de vegetación arbustiva (60%). Y el tercero corresponde al bancal Final, con un predominio muy importante de la vegetación herbácea (70%).

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

La 1ª fase de esta investigación consiste en la organización de las distintas tareas requeridas, tanto de campo como de laboratorio, para obtener los resultados de las variables o parámetros que se pretenden estudiar y analizar.

Dicha planificación del trabajo queda reflejada:

- En la tabla 3.1 desde una perspectiva **temporal**, indicándose:
  - a) En cuanto a los trabajos de *campo*, la frecuencia mensual a lo largo del año de estudio en que se ha llevado a cabo la obtención de datos climáticos, así como el muestreo y descripción morfológica, tanto de los perfiles de suelo como de los puntos de muestreo.
  - b) Respecto a los trabajos de *laboratorio*, las repeticiones llevadas a cabo en las distintas determinaciones analíticas, correspondientes a las muestras de suelo tomadas a lo largo del año en los perfiles de suelo y en los puntos de muestreo.
  - c) En relación al *estudio de gabinete*, se realiza el tratamiento de los datos climáticos, geológicos, topográficos, así como SIG y EuroSEM-2010.
- En la figura 3.1 desde una perspectiva general y **espacial**, a modo de organigrama:
  - a) Se realiza una recopilación del material de trabajo de la zona de estudio como fotografías aéreas, mapas topográficos, cartografía geológica y edafológica existente, mapas de cultivo y de vegetación, etc. Posteriormente sobre las fotografías aéreas, se establecen las unidades fisiográficas y delimitan las unidades de suelo.
  - b) En relación a los trabajos de *campo*, se han clasificado dos grupos: 1. Datos climáticos y 2. Suelos; con el fin de especificar las tareas llevadas a cabo tanto en la recogida de datos climatológicos como en los distintos muestreos de perfiles de suelo y puntos de muestreo.
  - c) En cuanto a los trabajos de *laboratorio*, se detalla la relación de determinaciones analíticas realizadas para cada muestreo.
  - d) Respecto al *estudio de gabinete*, se indican tareas consideradas para llevar a cabo la aplicación del modelo EuroSEM-2010 en la cuenca de estudio.
  - e) En cuanto al *tratamiento de datos*, dada la gran colección de datos finalmente conseguida, se realizan dos etapas de análisis: 1. La primera etapa consiste en un análisis de los datos brutos, de las medias aritméticas y desviación de grupos de datos, así como el desarrollo de algunos índices. 2. En la segunda etapa se emplea el análisis estadístico para realizar la selección de datos y establecer relaciones entre parámetros.



Tabla 3.1. Organización del trabajo de campo y de laboratorio.

		Horizonte	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Nº réplicas
<b>CAMPO</b>															
<b>DATOS CLIMÁTICOS</b>															
Medición de precipitación y Tª del aire (estación experimental de la cuenca)															
Datos climáticos generales (9 estaciones termopluviométricas próximas a la zona de estudio)															
Datos históricos de eventos de lluvia (2 estaciones pluviométricas próximas a la zona de estudio) para la aplicación del modelo EuroSEM															
<b>MUESTREO Y DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PERFILES DE SUELO</b>															
Muestreo y descripción morfológica de los horizontes de los perfiles		Todos horizontes													34
Muestreo superficial inalterado en perfiles (fauna edáfica)		A <sub>1</sub>													13
<b>MUESTREO Y DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO SUPERFICIALES/SUBSUPERFICIALES DEL SUELO</b>															
Muestreo superficial alterado del suelo y su descripción morfológica		A <sub>1</sub>													216
Muestreo subsuperficial alterado del suelo y su descripción morfológica		A <sub>2</sub>													216
Muestreo superficial inalterado del suelo (humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad)		A <sub>1</sub>													216
Muestreo superficial y subsuperficial inalterado del suelo (fauna edáfica)		A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>													36
<b>LABORATORIO</b>															
<b>PERFILES DE SUELO</b>															
Propiedades FÍSICAS	Curvas de retención hídrica	Todos horizontes													34
	Textura	Todos horizontes													34
	Distribución de agregados por tamaños	Todos horizontes													34
	Estabilidad macroagregados (Test de la gota)	Todos horizontes													34
	Microagregación	Todos horizontes													34
Propiedades QUÍMICAS	pH	Todos horizontes													34
	C.E.	Todos horizontes													34
	CaCO <sub>3</sub>	Todos horizontes													34
	Nitrógeno	Todos horizontes													34
	Fósforo	Todos horizontes													34
	Bases de cambio (K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> )	Todos horizontes													34
	C.I.C.	Todos horizontes													34
	Materia orgánica total	Todos horizontes													34
	Relación C/N	Todos horizontes													34
	Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas	Todos horizontes													34
Propiedades BIOLÓGICAS	Extracción de artrópodos	A <sub>1</sub>													13
<b>PUNTOS DE MUESTREO SUPERFICIALES/SUBSUPERFICIALES DEL SUELO</b>															
Propiedades FÍSICAS	Humedad gravimétrica	A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>													432
	Curvas de retención hídrica	A <sub>1</sub>													18
	Humedad volumétrica inalterada	A <sub>1</sub>													216
	Densidad aparente	A <sub>1</sub>													216
	Porosidad	A <sub>1</sub>													216
	Textura	A <sub>1</sub>													18
	Distribución de agregados por tamaños	A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>													432
	Estabilidad macroagregados (Test de la gota)	A <sub>1</sub>													72
	Microagregación	A <sub>1</sub>													18
	Propiedades QUÍMICAS	pH	A <sub>1</sub>												
C.E.		A <sub>1</sub>													18
CaCO <sub>3</sub>		A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>													36
Nitrógeno		A <sub>1</sub>													108
Fósforo		A <sub>1</sub>													108
Bases de cambio (K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> )		A <sub>1</sub>													108
C.I.C.		A <sub>1</sub>													108
Materia orgánica total		A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>													432
Relación C/N		A <sub>1</sub>													108
Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas: por oxidación		A <sub>1</sub>													108
Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas: por espectroscopía de infrarrojos		A <sub>1</sub>													36
Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas: por microscopía electrónica/RX		A <sub>1</sub>													36
Propiedades BIOLÓGICAS		Extracción de artrópodos	A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>												
<b>ESTUDIO DE GABINETE</b>															
Tratamiento de datos climáticos, geológicos, topográficos, SIG, EuroSEM-2010.															

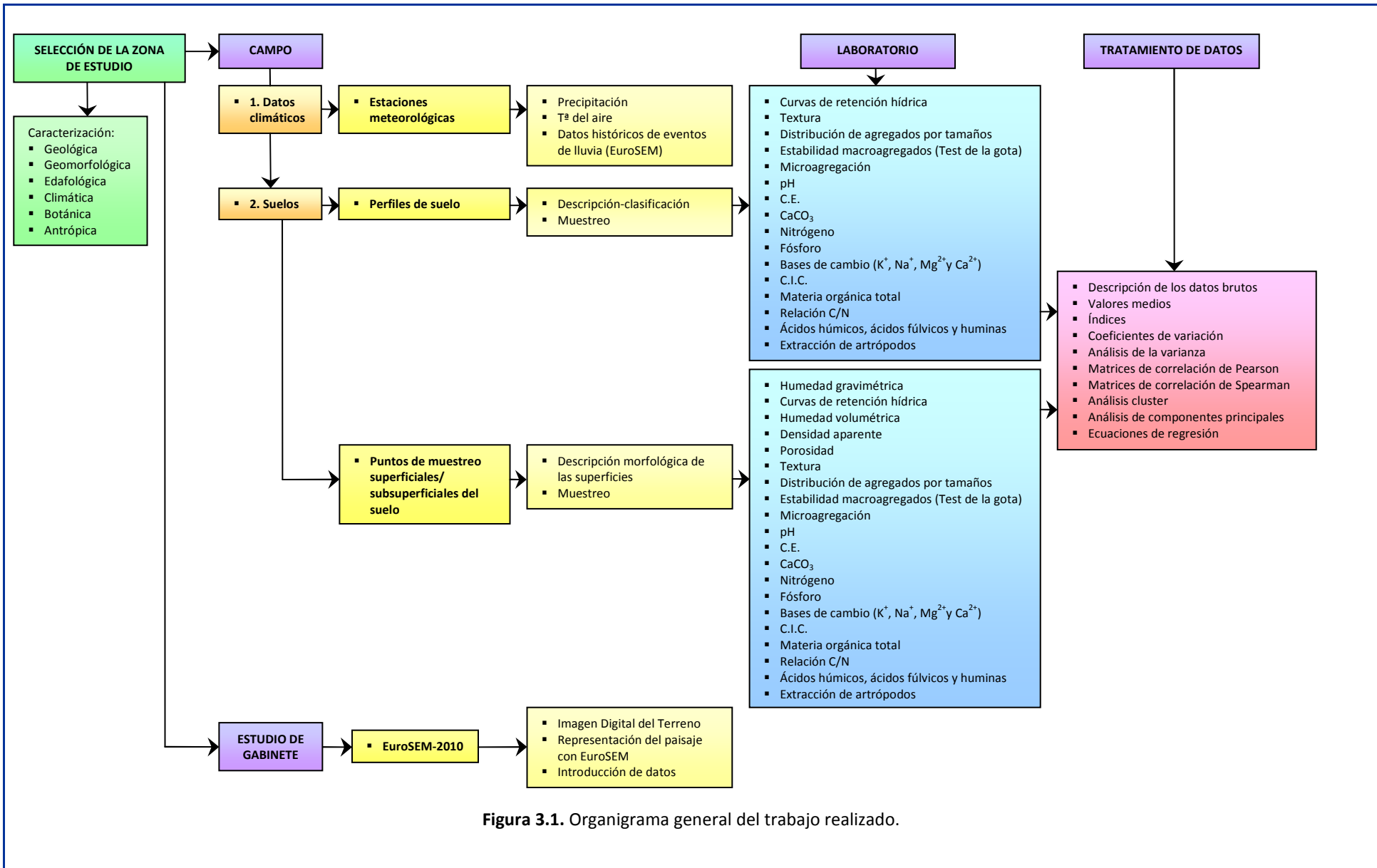


Figura 3.1. Organigrama general del trabajo realizado.

## 3.2. FASE DE CAMPO

### 3.2.1. OBTENCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

a) Los datos climáticos generales de partida se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología y de Pérez Cueva (1995). A partir de los datos diarios de temperatura y precipitación de 9 estaciones climáticas termopluviométricas (Alcalalí, Cocentaina, Fontilles, Muro d'Alcoi, Ontinyent, Patró, Pedreguer, Pego y Tormos), próximas a la zona objeto de estudio, se determinaron valores medios, máximos, mínimos, máximas y mínimas absolutas de temperatura, así como valores de precipitación totales anuales, para un período de 30 años comprendido entre 1980 y 2010 aproximadamente.

Para el estudio de EuroSEM, se seleccionaron las estaciones pluviométricas de la Marina Baixa y la de Guadalest, y se buscaron en los datos históricos eventos de lluvia que fueran interesantes para poder utilizarlos en las simulaciones. Los eventos de lluvia utilizados en las simulaciones se obtuvieron a través de la página web del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino ([www.marm.es](http://www.marm.es)), mediante un servicio llamado Sistema Automático de Información Hidrológica (dentro del apartado Agua).

b) Además se ha realizado un estudio a partir de los datos registrados en una estación experimental instalada en la zona de estudio. Dicha estación se localiza en la ladera sur y aporta información microclimática de la zona experimental.

La estación registró datos de precipitación y de temperatura del aire, siendo el período almacenado utilizado en este estudio de un año completo. Los datos se recogieron en un data logger del modelo Starlog 6002 de Unidata Ltd.:

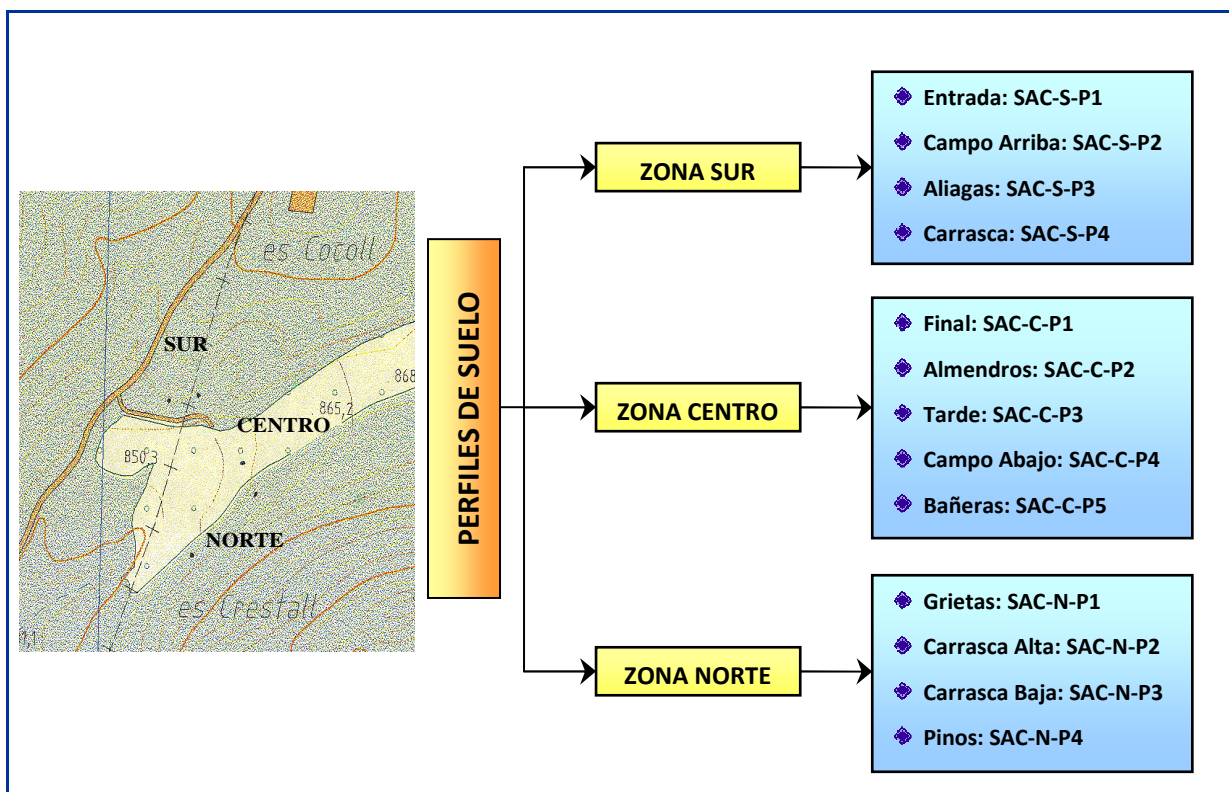
- **Precipitación:** Para la medida de la precipitación se dispuso de pluviógrafos de resolución 0,2 mm de Casella Ltd. en la estación meteorológica. La precipitación (cantidad e intensidad) quedaba registrada a intervalos de 10 minutos.
- **Temperatura del aire:** La temperatura del aire se registró con un termómetro electrónico de Unidata cada 10 minutos.

### 3.2.2. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

#### 3.2.2.1. MUESTREO DEL SUELO EN LOS PERFILES DE SUELO

##### 3.2.2.1.1. Muestreo de los horizontes de los perfiles de suelo

Una parte del trabajo se fundamenta en el estudio de perfiles representativos, para determinar los diferentes tipos de suelo de la cuenca y la influencia del uso en sus características. En total se han analizado muestras de suelo correspondientes a 13 perfiles, siendo distribuidos en las 3 zonas consideradas (sur, centro y norte), y nombrados cada uno de ellos tal y como se refleja en la figura 3.2.



**Figura 3.2.** Distribución de los 13 perfiles de suelo estudiados en las tres zonas de la cuenca.

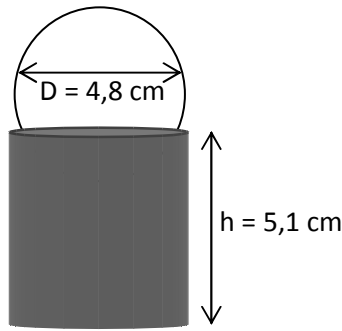
En el muestreo de perfiles de suelo se deben de tener en cuenta una serie de consideraciones:

- **Apertura de perfiles:** El lugar de selección de la muestra del perfil se escoge en base al tipo de terrazas y su edad de abandono, marcado por la vegetación, materiales geológicos, uso, drenaje de la superficie, etc. La localización del lugar escogido se anota utilizando un GPS, localizando de esta forma las coordenadas en cada perfil de suelo.
- **Estudio morfológico de los perfiles:** Se describirán cuidadosamente los horizontes del perfil en cuanto a profundidad, color, morfología, textura, consistencia, drenaje, etc., siguiendo las “Guías para la descripción de perfiles de suelos”, editadas por la F.A.O.
- **Toma de muestras:** Se toman las muestras de los distintos horizontes, con una paleta de mano y bandeja de plástico, recogándose usualmente 1 kg de cada uno de ellos.

### 3.2.2.1.2. Muestreo superficial de suelo inalterado en los perfiles de suelo: Determinación de la fauna edáfica

Para el estudio de la fauna edáfica existente en los perfiles de la cuenca, se toman muestras superficiales en cada uno de ellos.

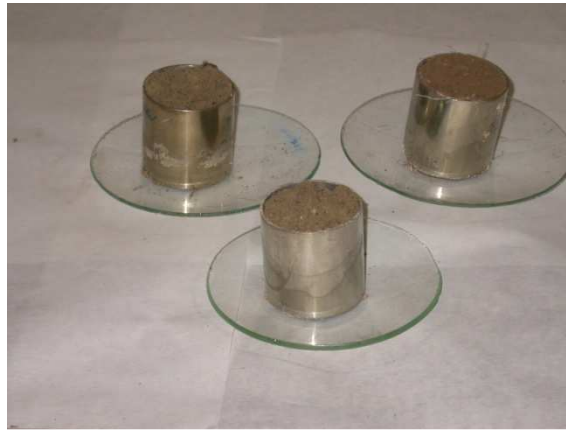
El muestreo se ha realizado sin alterar la estructura del suelo, utilizando un cilindro extractor metálico de 4,8 cm de diámetro y 5,1 cm de altura, siendo su volumen de 92,29 cm<sup>3</sup> (figuras 3.3 y 3.4).



#### Medidas del cilindro extractor:

- Radio interior = 2,4 cm.
- Altura = 5,1 cm.
- Área =  $\pi \times r^2 = \pi \times (2,4)^2 = 18,09 \text{ cm}^2$
- Volumen = Área x h =  $\pi \times r^2 \times h = \pi \times (2,4)^2 \times 5,1 = 92,29 \text{ cm}^3$

**Figura 3.3.** Medidas del cilindro extractor metálico utilizado en la toma de muestra de suelo inalterado para la determinación de la fauna edáfica.



**Figura 3.4.** Cilindro extractor metálico empleado en la toma de muestra de suelo inalterado para la determinación de la fauna edáfica.

### 3.2.2.2. MUESTREO DEL SUELO EN LOS DIFERENTES MICROAMBIENTES

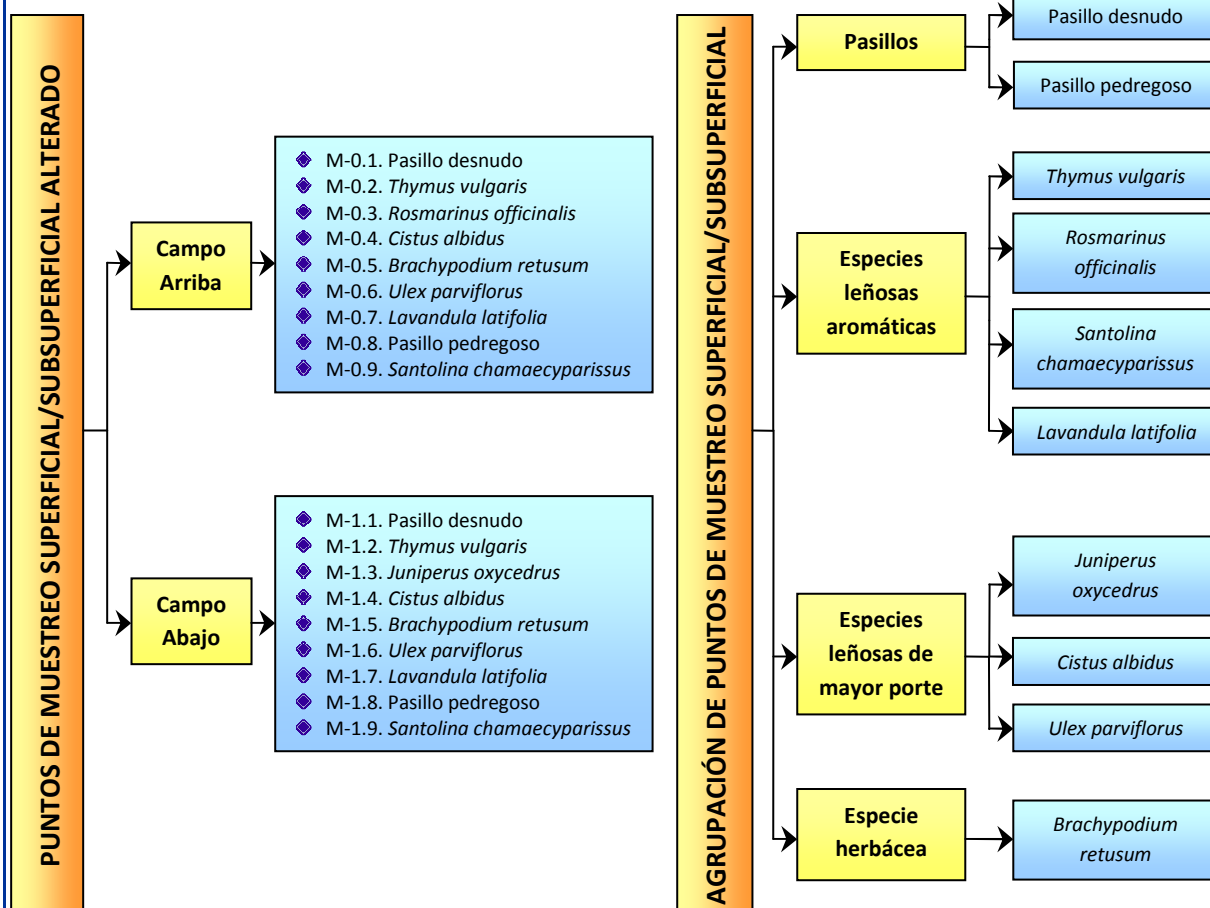
#### 3.2.2.2.1. Muestreo superficial y subsuperficial de suelo alterado en los diferentes microambientes

Se han tomado muestras superficiales y subsuperficiales de suelos en 2 parcelas seleccionadas de bancales abandonados, en los que se ha instalado la vegetación espontánea de la zona. La parcela denominada Campo Arriba se localiza en la zona sur, y la segunda parcela situada en la zona centro es denominada Campo Abajo (figura 3.5).



**Figura 3.5.** Parcelas seleccionadas Campo Arriba y Campo Abajo, situadas en las zonas sur y centro, respectivamente.

Se han seleccionado 18 puntos de muestreo, 9 en la parcela Campo Arriba y otros 9 en la parcela Campo Abajo (figura 3.6), que corresponden a diferentes microambientes afectados por la vegetación, intentando una escala de degradación de la vegetación: desde suelos degradados desprovistos de vegetación (pasillos) sin sombras, hasta suelos sombreados bajo las especies vegetales más representativas de la zona de estudio. Un esquema de la distribución de los 9 puntos de muestreo tomados en cada parcela, se muestra en las figuras 3.7 y 3.8.



**Figura 3.6.** Puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo alterado seleccionados en cada parcela. Agrupación de los puntos de muestreo según microambientes.

El muestreo se realiza en la capa superficial del suelo (horizonte A), a dos profundidades para el caso de algunas determinaciones analíticas, la más superficial ( $A_1$ ) tomada a 0-3 cm, y la subyacente ( $A_2$ ) a una profundidad de 3-7 cm, indicando estos sufijos una subdivisión vertical del horizonte.

En función de cada determinación analítica, se realiza un muestreo mensual (todos los meses), bimensual (cada 2 meses), 4 meses al año, 2 meses al año o un sólo mes al año. Así mismo, el muestreo puede llevarse a cabo sólo en el horizonte más superficial ( $A_1$ ) o en ambas profundidades  $A_1$  y  $A_2$ , según el parámetro estudiado.

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes determinaciones analíticas, se calculan los valores medios entre puntos de muestreo que corresponden a similares microambientes de ambas parcelas, agrupándose estos puntos de muestreo de la forma que se refleja en la figura 3.6. De esta forma, se consigue la comparación y el análisis de los datos en conjunto, para la búsqueda de relaciones entre distintos parámetros.

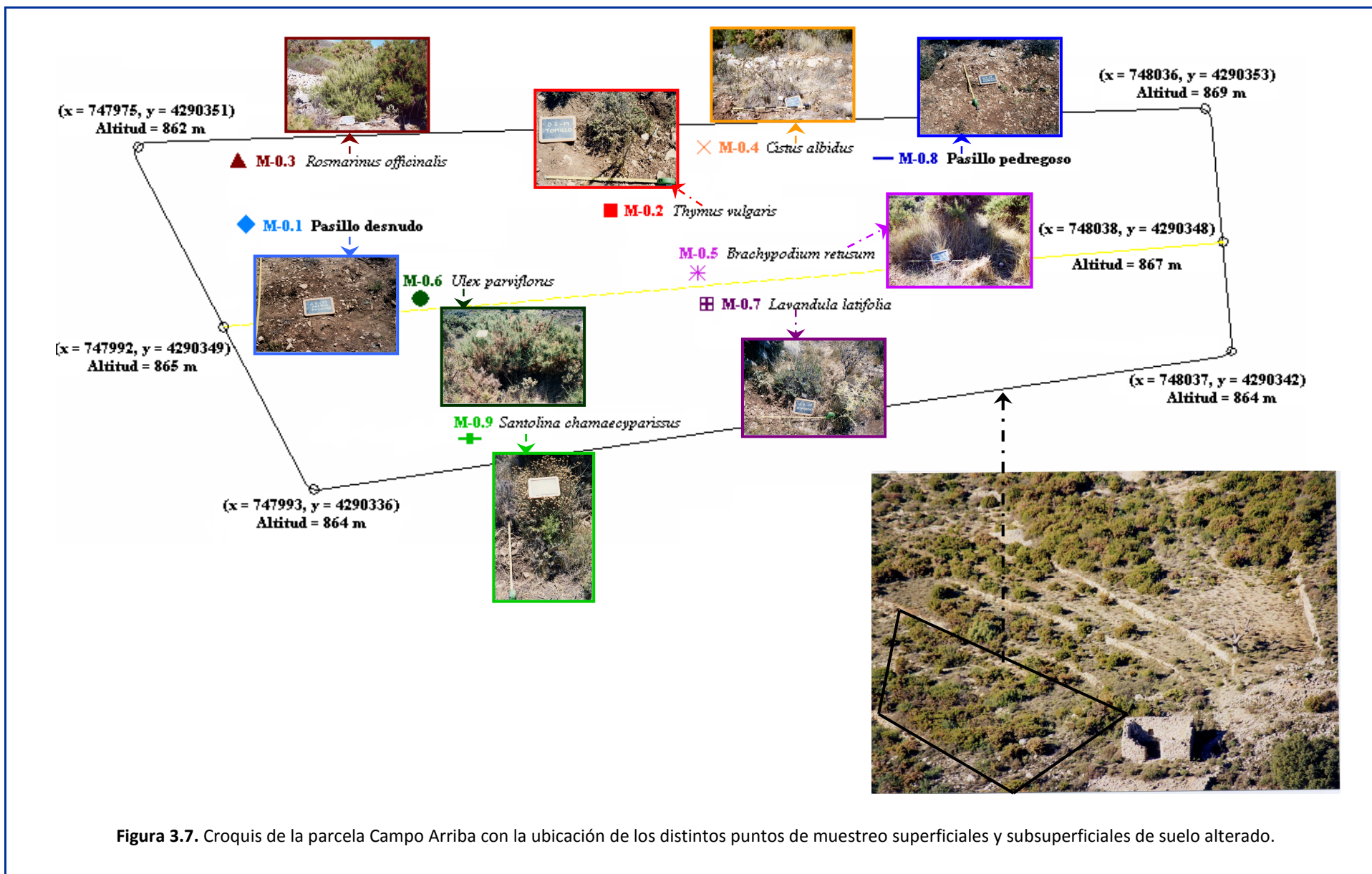
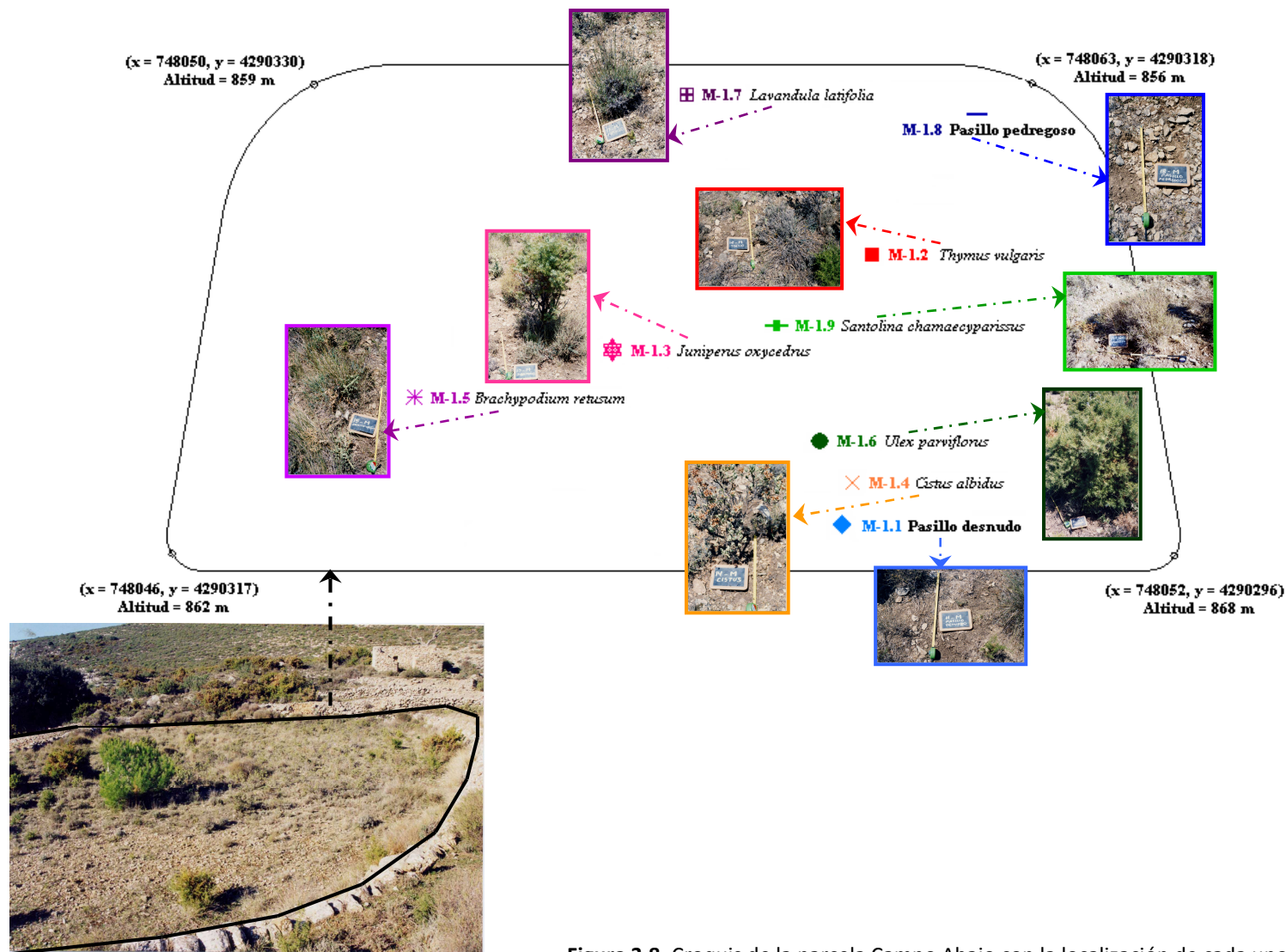


Figura 3.7. Croquis de la parcela Campo Arriba con la ubicación de los distintos puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo alterado.

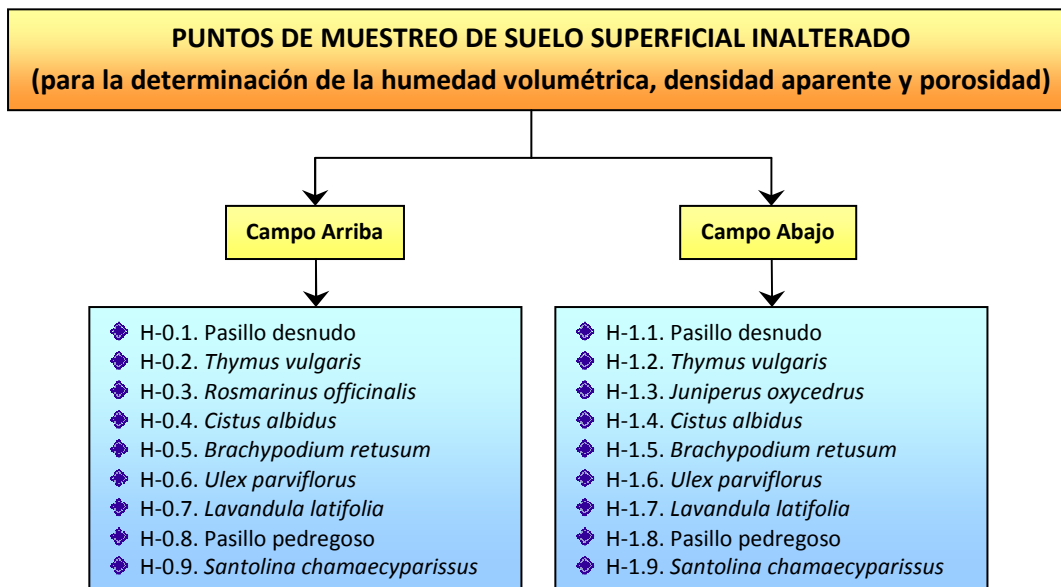


**Figura 3.8.** Croquis de la parcela Campo Abajo con la localización de cada uno de los puntos de muestreo superficial y subsuperficial de suelo alterado.



### 3.2.2.2. Muestreo superficial de suelo inalterado en los diferentes microambientes: Determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo

Para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo, se han seleccionado también 18 puntos de muestreo, 9 en la parcela Campo Arriba y otros 9 en la parcela Campo Abajo (figura 3.9), siendo los mismos microambientes elegidos que para los muestreos de suelo alterados, pero con distinta ubicación.



**Figura 3.9.** Puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado seleccionados en cada parcela, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo.

La distribución de dichos puntos de muestreo en cada parcela se encuentran representados en las figuras 3.10 y 3.11.

El muestreo del suelo se realiza con un cilindro de acero inoxidable de 92,29 cm<sup>3</sup> de volumen para evitar su alteración, guardando las muestras en recipientes de aluminio bien cerrados y recubiertos de plástico para evitar la evaporación, y son trasladadas en el mismo día al laboratorio para ser pesadas antes de proceder a su secado.

A partir de los resultados obtenidos en dichas determinaciones analíticas, se han calculado también los valores medios entre puntos de muestreo que corresponden a similares microambientes de ambas parcelas, siendo agrupados estos puntos de muestreo de la misma forma que se ha indicado anteriormente en la figura 3.6.

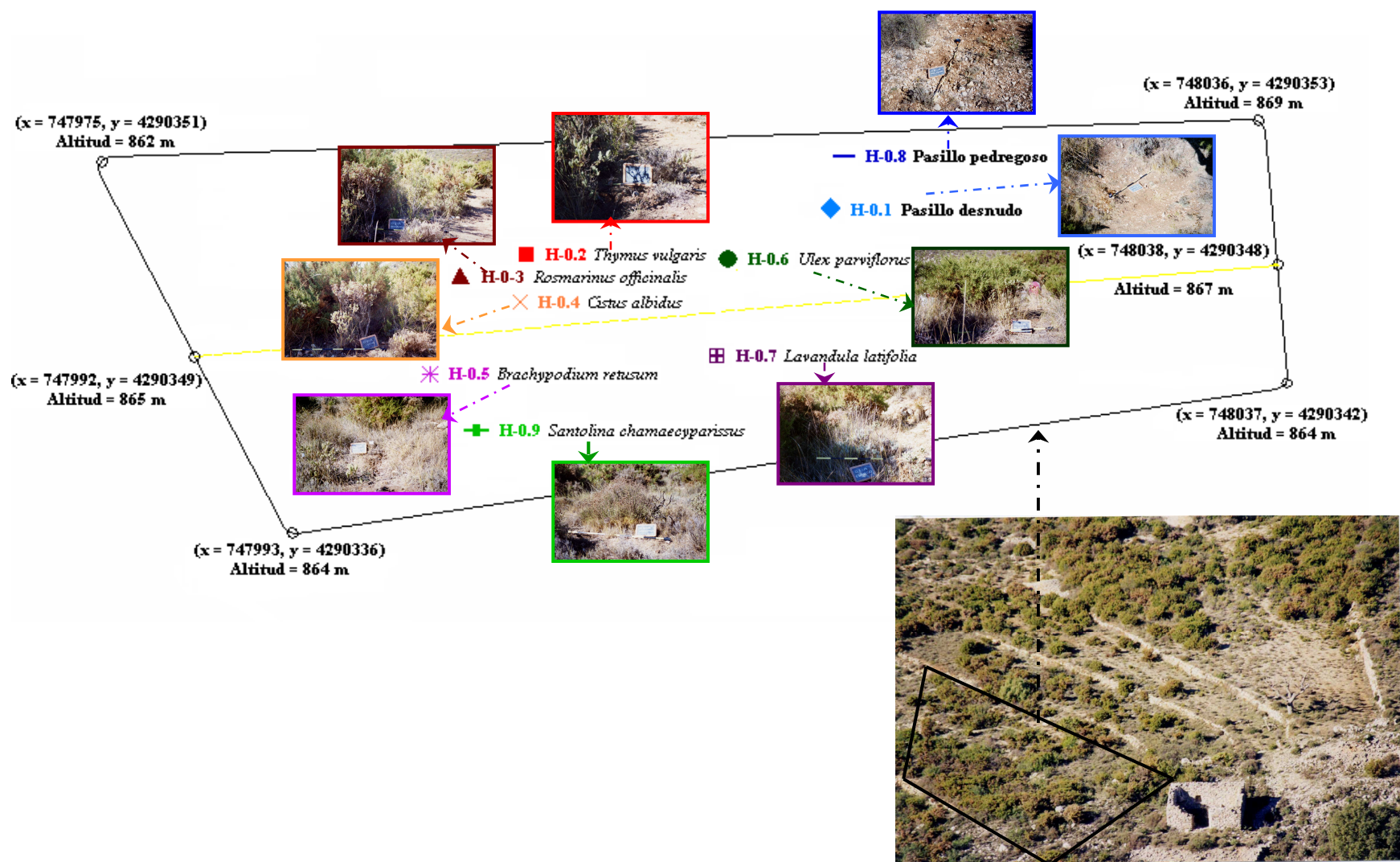


Figura 3.10. Croquis de la parcela Campo Arriba con la ubicación de los distintos puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo.

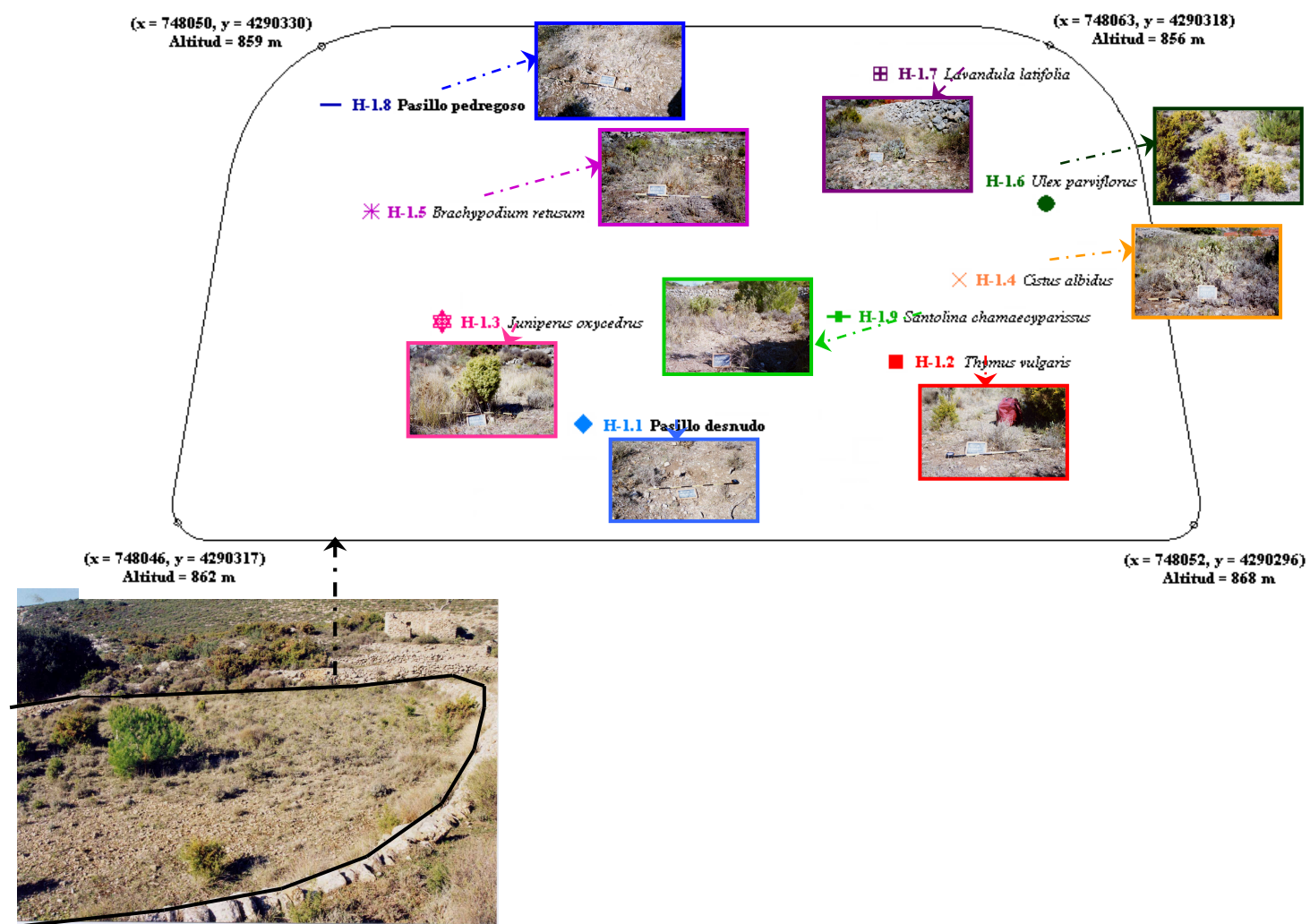
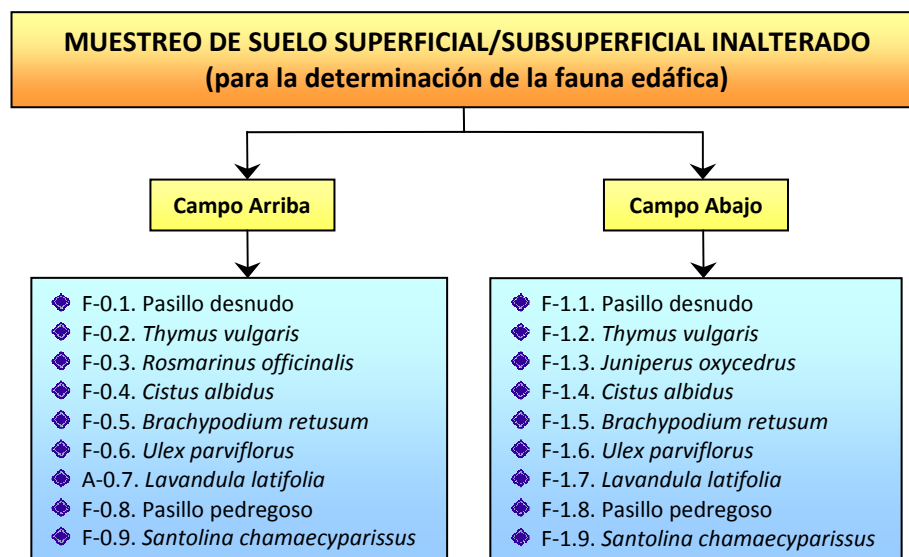


Figura 3.11. Croquis de la parcela Campo Abajo con la localización de cada uno de los puntos de muestreo superficiales de suelo inalterado, para la determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo.

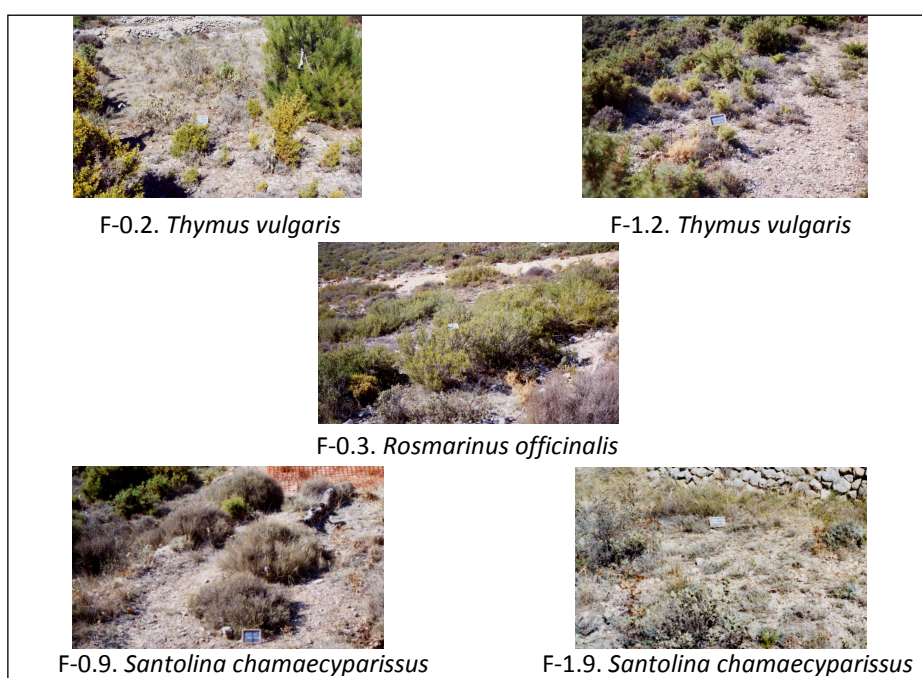
### 3.2.2.2.3. Muestreo superficial y subsuperficial de suelo inalterado en los diferentes microambientes: Determinación de la fauna edáfica

Para el estudio de la fauna edáfica existente en las 2 parcelas estudiadas, se tomaron muestras de suelo inalteradas, tanto superficiales como subsuperficiales, en los mismos microambientes donde se realizaron el resto de determinaciones, aunque con distinta ubicación (figura 3.12).

El muestreo se ha realizado empleando un cilindro extractor metálico, tal y como se ha especificado anteriormente en el apartado 3.2.2.1.2. en el muestreo de suelo inalterado llevado a cabo en los perfiles de suelo, también para la determinación de la fauna edáfica (figuras 3.3 y 3.4).



**Figura 3.12.** Puntos de muestreo superficiales y subsuperficiales de suelo inalterado seleccionados en cada parcela, para la determinación de la fauna edáfica.



**Figura 3.13.** Algunos puntos de muestreo seleccionados en ambas parcelas, donde se han tomado muestras de suelo inalteradas superficiales y subsuperficiales para determinar la fauna edáfica existente.

### 3.3. METODOLOGÍA DE LABORATORIO

#### 3.3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO ALTERADAS EN EL LABORATORIO

Las muestras de suelo se preparan en el laboratorio teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Una cantidad representativa de muestra ( $\approx 25$  g) se emplea para medir la humedad gravimétrica del suelo (ver apartado 3.3.2.1.2).
- El resto de la muestra de suelo debe ser acondicionada, como fase previa para la realización de los distintos análisis:
  - Las muestras se secan al aire separando una parte en el tamiz de 2 mm, fracción que se denomina tierra fina seca al aire (TFSA). El resto se tamiza por una batería de 5 tamices de tamaños de 10 mm, 5 mm, 2 mm, 1 mm y 0,105 mm, obteniendo las fracciones >10 mm, 10-5 mm, 5-2 mm, 2-1 mm, <1 mm y <0,105 mm. Para el análisis de la textura y microagregación, las muestras han sido tamizadas por el tamiz de luz de 0,01 mm con ayuda de un pincel.



Figura 3.14. Batería de tamices utilizada en el tamizado en seco.

- Las distintas fracciones se pesan, contabilizando las piedras y las raíces o restos vegetales presentes en cada muestra. Los porcentajes de cada una de las fracciones se obtienen a partir de la siguiente fórmula.

#### Cálculos:

$$\text{Fracciones (\%)} = \frac{p'}{P} \times 100$$

donde:

- $P'$  = Peso de la fracción (g).
- $P$  = Peso de la muestra total (g).

- Para el análisis de la textura de los suelos se realiza además un lavado de muestras con agua oxigenada ( $H_2O_2$ ), con el fin de proceder a la eliminación de la materia orgánica (ver apartado 3.3.2.1.5. Determinación de la textura).

#### 3.3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS REALIZADAS EN LAS MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO

Una vez preparadas las muestras en el laboratorio, se procede a llevar a cabo cada una de las determinaciones analíticas indicadas en la tabla 3.2, para posteriormente realizar el estudio de la variación espacial y temporal de los distintos parámetros considerados.

Tabla 3.2. Determinaciones analíticas realizadas en las diferentes muestras de suelo en el laboratorio.

	Determinación analítica	Método empleado	Muestras de suelo		
			Perfiles de suelo	Puntos de muestreo. Muestra superficial (A <sub>1</sub> )	Puntos de muestreo. Muestra subsuperficial (A <sub>2</sub> )
<b>MÉTODOS FÍSICOS</b>	▪ Color del suelo	Tabla de Munsell universal			
	▪ Humedad gravimétrica	Reynolds (1970)			
	▪ Curvas de retención hídrica	Richards (1947)			
	▪ Humedad volumétrica	Richards (1947)			
	▪ Densidad aparente	M.A.P.A. (1974)			
	▪ Porosidad	M.A.P.A. (1944)			
	▪ Textura	Equipo Coulter. La clase textural se determina según el triángulo textural de USDA (1951)			
	▪ Estabilidad macroagregados (Test de la gota)	Imeson y Vis (1984)			
	▪ Microagregación	Edwards y Bremner (1967)			
<b>MÉTODOS QUÍMICOS</b>	▪ pH	Richards (1954)			
	▪ C.E.	Richards (1954)			
	▪ CaCO <sub>3</sub>	Método del calcímetro de Bernard, tomado de Duchaufour (1965)			
	▪ Nitrógeno	Métodos descritos por Bremner, en Black (1965)			
	▪ Fósforo	Método de Olsen y Dean, según se describe en Black (1965)			
	▪ Bases de cambio (K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> ) y C.I.C.	Método de Peech (1945)			
	▪ Materia orgánica total	Método de Walkey y Black (1934)			
	▪ Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina: Determinación por oxidación	Lotti y Galoppini (1986)			
<b>MÉTODOS QUIMIOMÉTRICOS</b>	▪ Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina: Determinación por espectroscopía de infrarrojos	Stevenson (1994); Agnelli et al., (2002)			
	▪ Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina: Determinación por microscopía electrónica/RX	Gimeno (1990); Abble et al., (1996)			
<b>MÉTODOS BIOLÓGICOS</b>	▪ Extracción de artrópodos	De Liñán (1998); Lynch et al., (1985)			

En la tabla anterior se agrupan las diferentes determinaciones analíticas llevadas a cabo en función de que se trate de un método físico, químico, quimiométrico o biológico, especificando además el método empleado, y señalando mediante celdas de color azul cuales son las determinaciones analíticas que se han realizado en las distintas muestras tomadas, tanto para las muestras de suelo de los perfiles como para las muestras superficiales y subsuperficiales de los puntos de muestreo correspondientes los diferentes microambientes.

### 3.3.2.1. MÉTODOS FÍSICOS

#### 3.3.2.1.1. Determinación del color de un suelo (Tabla de Munsell)

El color del suelo se determina por las tablas Munsell (figura 3.15).

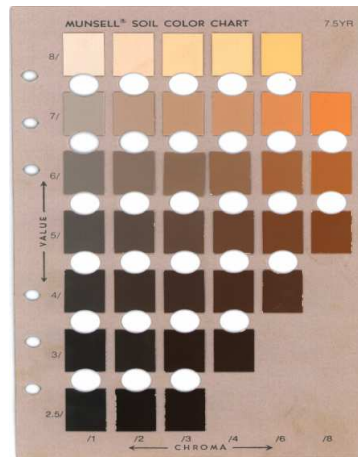


Figura 3.15. Tablas Munsell para la determinación del color de un suelo.

El color del suelo definido por 3 variables *matiz*, *brillo* y *saturación*, se representa según se indica en la siguiente figura 3.16, de acuerdo con las notaciones designadas para cada una de estas 3 variables:

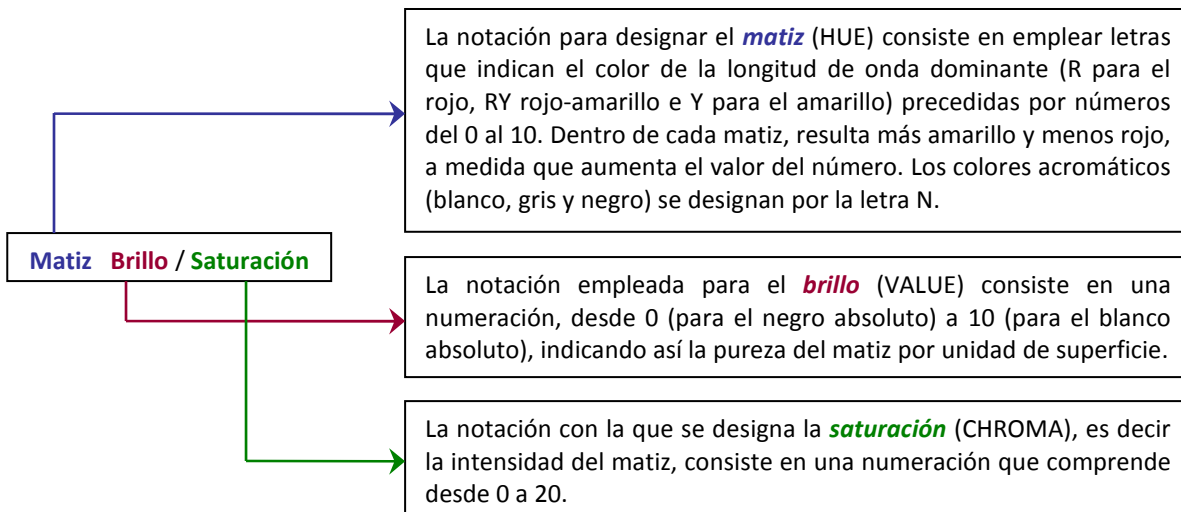


Figura 3.16. Representación del color de un suelo.

El color del suelo cambia con el contenido de humedad afectando al brillo en  $+ \frac{1}{2}$  a  $+ 3$  unidades, y a saturación en  $- \frac{1}{2}$  a  $-3$  unidades. Ocasionalmente, el cambio de humedad afecta al matiz.

### 3.3.2.1.2. Determinación de la humedad gravimétrica (Reynolds, 1970)

La determinación de la humedad gravimétrica se realiza pesando y llevando una muestra representativa de suelo hasta peso constante en una estufa a 105° C. Tras enfriar el recipiente tapado en un desecador (figura 3.17), se pesa de nuevo.



Figura 3.17. Desecador.

#### ▪ Cálculos:

$$H_G (\%) = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

donde:

- $H_G$  = Humedad gravimétrica (%).
- PH = Peso húmedo de la muestra de suelo (g).
- PS = Peso seco de la muestra de suelo (g).

### 3.3.2.1.3. Determinación de las curvas de retención hídrica (Richards, 1947)

A partir de la tierra fina seca al aire (TFSA) se preparan los cilindros en cada una de las placas porosas, llenándolos con las muestras. Seguidamente, se colocan las placas en las bandejas y se procede a la inundación de las mismas con agua desionizada (figura 3.18), y a las 24 horas se drena el agua de las bandejas.



Figura 3.18. Anillos sobre placas porosas en las bandejas de humectación.



1) Determinación de la humedad de las muestras en **estado de saturación** a la **presión de 0 kPa**:

Se saturan las muestras por imbibición durante 24 horas y se introducen en los portasustancias, observando cambios de volumen de la muestra en el anillo y anotando las variaciones de altura y de diámetro. Se pesan obteniendo el  $PH_0$  (Peso Húmedo a presión 0 kPa) y se secan en la estufa (figura 3.19.a) a  $105^\circ\text{C}$  hasta peso constante (tiempo mínimo de 24 horas). Se enfrían en el desecador (figura 3.19.b) durante un tiempo mínimo de 1 hora y se pesan de nuevo, obteniendo el  $PS_0$  (Peso Seco a presión 0 kPa).

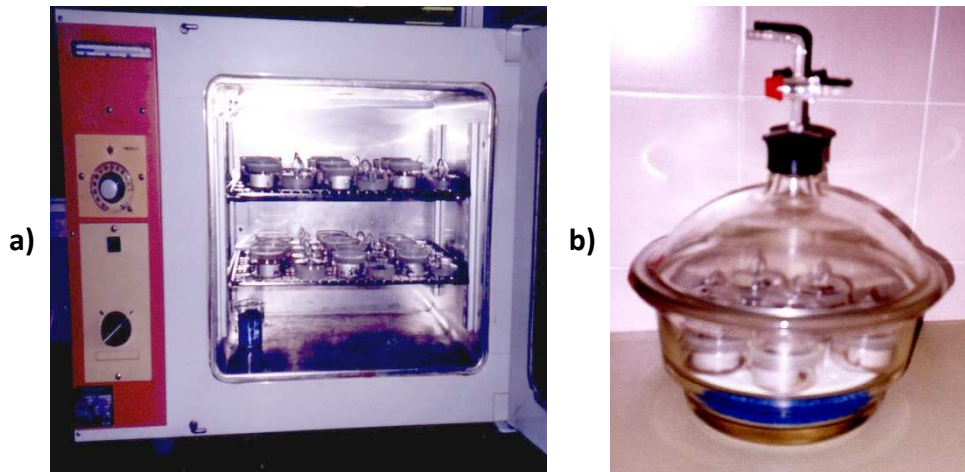


Figura 3.19. a) Estufa de aire. b) Desecador.

2) Determinación de la humedad retenida por la muestra a la **presión de 20 kPa** (2 atm), utilizando la cámara de Richards de baja presión:

Se drena el agua de las bandejas de humectación, se colocan las placas drenadas en la cámara de Richards, y se procede al presurizado de la misma con una presión de 20 kPa, durante 24 horas. Se determina la humedad en estado de saturación, observando cambios de volumen de la muestra en el anillo, y anotando variaciones de altura y de diámetro. Seguidamente se pesan obteniendo  $PH_{20}$  (Peso Húmedo a presión de 20 kPa) y se secan en la estufa a  $105^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Posteriormente se dejan enfriar en el desecador y se pesan de nuevo, obteniendo el  $PS_{20}$  (Peso Seco a presión de 20 kPa).



Figura 3.20. Detalle de colocación de las muestras en la cámara de Richards.

3) Determinación de la humedad retenida por la muestra a la **presión de 1500 kPa** (15 atm), utilizando la cámara de Richards de alta presión:

La dinámica de trabajo es similar a la descrita anteriormente para la presión de 20 kPa, pero las muestras se mantienen en la cámara durante 3 días a presiones crecientes (1<sup>er</sup> día a 5 atm, 2<sup>o</sup> día a 10 atm, y 3<sup>er</sup> día a 15 atm), evitando cambios bruscos de presión.

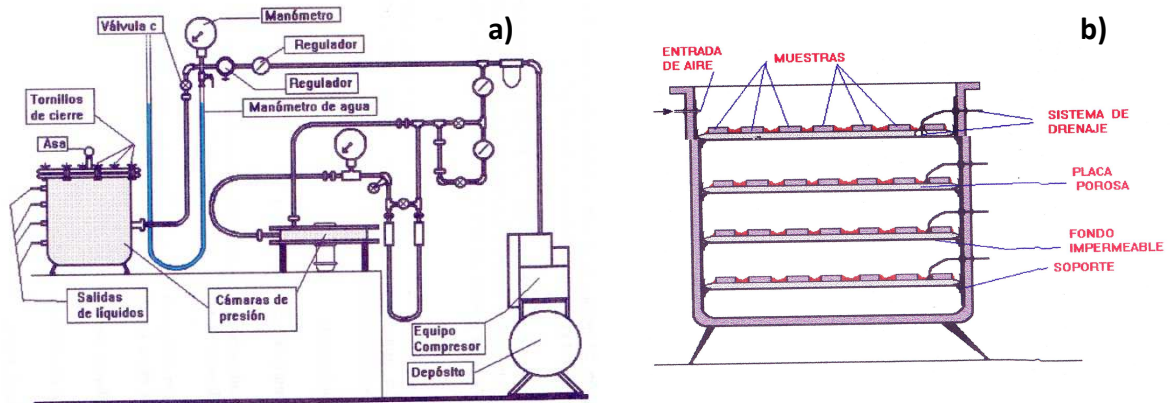


Figura 3.21. a) Esquema general de la cámara de presión de Richards. b) Sección de la cámara de Richards.

#### ▪ Cálculos:

$$H_G (\%) = \frac{PH - PS}{PS - T} \times 100$$

$$H_V (\%) = H_G \times D_{ap}$$

$$D_{ap} (g/cm^3) = \frac{PS - T}{V'}$$

$$V' = \frac{\pi \times D^2}{4} \times h_f$$

donde:

- $H_G$  = Humedad gravimétrica (%).
- PH = Peso húmedo de la muestra (g).
- PS = Peso seco de la muestra (g).
- T = Tara del anillo (g).
- $H_V$  = Humedad volumétrica (%).
- $D_{ap}$  = Densidad aparente ( $g/cm^3$ ).
- $V'$  = Nuevo volumen de la muestra ( $cm^3$ ).
- D = Diámetro del anillo (cm).
- $h_f$  = Altura final del anillo (cm).

#### 3.3.2.1.4. Determinación de la humedad volumétrica, densidad aparente y porosidad del suelo (Richards, 1947)

Las muestras tomadas mediante un cilindro de acero inoxidable de volumen  $92,29 \text{ cm}^3$  para no sufrir alteración, y que han sido guardadas en recipientes de aluminio correctamente cerrados y recubiertos de plástico con el fin de evitar la evaporación, son trasladadas al laboratorio el mismo día que se realiza el muestreo para ser pesadas antes de proceder a su secado.

Una vez allí, se coloca cada muestra inalterada de suelo (junto con su correspondiente cilindro de acero) en un recipiente adecuado previamente tarado, siendo inmediatamente pesadas para obtener así el PH (Peso Húmedo) de cada muestra.

A continuación, se introducen en una estufa a  $105^\circ \text{ C}$  hasta peso constante. Una vez se sacan de la estufa, se introducen en un desecador para dejarlas enfriar. Seguidamente son pesadas de nuevo, obteniendo de esta forma el PS (Peso Seco).

Finalmente, son separados y pesados los fragmentos rocosos >2 mm encontrados en cada muestra de humedad tomada, dado que un elevado contenido en piedras en el suelo puede enmascarar el contenido real de agua en la matriz de suelo. De esta manera, se calcula el volumen que ocupan los fragmentos rocosos en cada muestra, conocida la densidad media de las piedras de las 2 parcelas estudiadas. Para determinar la densidad media de las piedras que se encuentran en ambas parcelas, se eligió una muestra representativa de fragmentos rocosos, y se calculó su volumen introduciéndolos en agua y midiendo el volumen de agua desplazada. Conocido el volumen de cada fragmento y su peso, se calculó la densidad media de los fragmentos rocosos existentes en las parcelas estudiadas.

#### ▪ Cálculos:

$$H_G (\%) = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

$$H_{G.M.} (\%) = \frac{PH - PS}{PS - PP} \times 100$$

$$H_V (\%) = H_G \times D_{ap}$$

$$D_{ap} (g/cm^3) = \frac{PS}{V_{cilindro}}$$

$$V_{cilindro} (cm^3) = \frac{\pi \times D_{interno}^2}{4} \times h_{cilindro}$$

$$H_{V.M.} (\%) = H_{G.M.} \times D_{ap.M.}$$

$$D_{ap.M.} (g/cm^3) = \frac{PS - PP}{V_{cilindro} - V_{piedras}}$$

$$V_{piedras} (cm^3) = 0,3369 \times PP$$

$$P (\%) = [1 - (D_{ap.M.} / Dr)] \times 100 = [1 - (D_{ap.M.} / 2,65)] \times 100$$

donde:

- $H_G$  = Humedad gravimétrica (%).
- PH = Peso húmedo de la muestra (g).
- PS = Peso seco de la muestra (g).
- $H_{G.M.}$  = Humedad gravimétrica de la matriz de suelo (%).
- PP = Peso de las piedras (g).
- $H_V$  = Humedad volumétrica (%).
- $D_{ap}$  = Densidad aparente ( $g/cm^3$ ).
- $V_{cilindro}$  = Volumen de la muestra tomada con el cilindro de acero ( $cm^3$ ) =  $92,29 \text{ cm}^3$ .
- $D_{interno}$  = Diámetro interno del cilindro (cm) = 4,8 cm.
- $h_{cilindro}$  = Altura del cilindro (cm) = 5,1 cm.
- $V_{piedras}$  = Volumen de las piedras ( $cm^3$ ), se halla la ecuación lineal que relaciona el volumen de las piedras con el peso de las piedras, obteniéndose esta ecuación:  $y = 0,3369x$  siendo  $y = V_{piedras}$ ;  $x = PP$ .
- $H_{V.M.}$  = Humedad volumétrica de la matriz de suelo (%).
- $D_{ap.M.}$  = Densidad aparente de la matriz de suelo ( $g/cm^3$ ).
- P = Porosidad (%).
- Dr = Densidad real ( $g/cm^3$ ) =  $2,65 \text{ g/cm}^3$

#### 3.3.2.1.5. Determinación de la textura (Equipo Coulter)

En las muestras tamizadas a 0,01 mm se procede a la eliminación de la materia orgánica con agua oxigenada diluida. Tras la eliminación de la materia orgánica, se toma 5 g de muestra y se trasvasan a un vaso de precipitados donde se le añaden 10 ml de hexametáfosfato sódico, dejándolos reposar durante una hora.

Posteriormente se trasvasa la muestra al vaso de la batidora, recogiendo los restos de muestra que queden en el vaso de precipitados lavándolo con agua destilada, y se mezcla la muestra en la batidora durante 5 minutos (figura 3.22).

Seguidamente se trasvasa la muestra a un vaso de precipitados, recogiendo los restos que quedan en el vaso de la batidora lavándolo con agua destilada, quedando pues la muestra ya preparada para análisis.



Figura 3.22. Batidoras.

Finalmente, con la pipeta se toman unos 50 ml de muestra (estando ésta bien homogeneizada para que sea lo más representativa posible) y se trasvasa al receptor de muestras del equipo Coulter, el cual debe de estar completamente limpio hasta un 45% de PIDS aproximadamente, ya que es el propio aparato el que determina la cantidad de muestra que necesita para comenzar el análisis poniendo al lado del porcentaje: OK.

El equipo Coulter LS 130 (figura 3.23) mide modelos de difracción (cantidad de luz dispersada en diferentes direcciones al ser irradiada por un rayo láser) característicos del tamaño de las partículas, utilizando una lente Fournier y fotodetectores.



Figura 3.23. Equipo Coulter LS 130 (CIDE).

#### ▪ Cálculos:

$$\% \text{ V. D. } (< 2) = 100 - (\% \text{ V. A. } > 5)$$

$$\% \text{ V. D. } (2 - 5) = (\% \text{ V. A. } > 2) - (\% \text{ V. A. } > 5)$$

$$\% \text{ V. D. } (5 - 20) = (\% \text{ V. A. } > 5) - (\% \text{ V. A. } > 20)$$

$$\% \text{ V. D. } (20 - 50) = (\% \text{ V. A. } > 20) - (\% \text{ V. A. } > 50)$$

$$\% \text{ V. D. } (50 - 100) = (\% \text{ V. A. } > 50) - (\% \text{ V. A. } > 100)$$

$$\% \text{ Arcilla} = (\% \text{ V. D. } < 2) + (\% \text{ V. D. } < 2 - 5)$$

$$\% \text{ Limo} = (\% \text{ V. D. } < 5 - 20) - (\% \text{ V. D. } < 20 - 50)$$

$$\% \text{ Arena} = \% \text{ V. D. } < 50 - 100$$

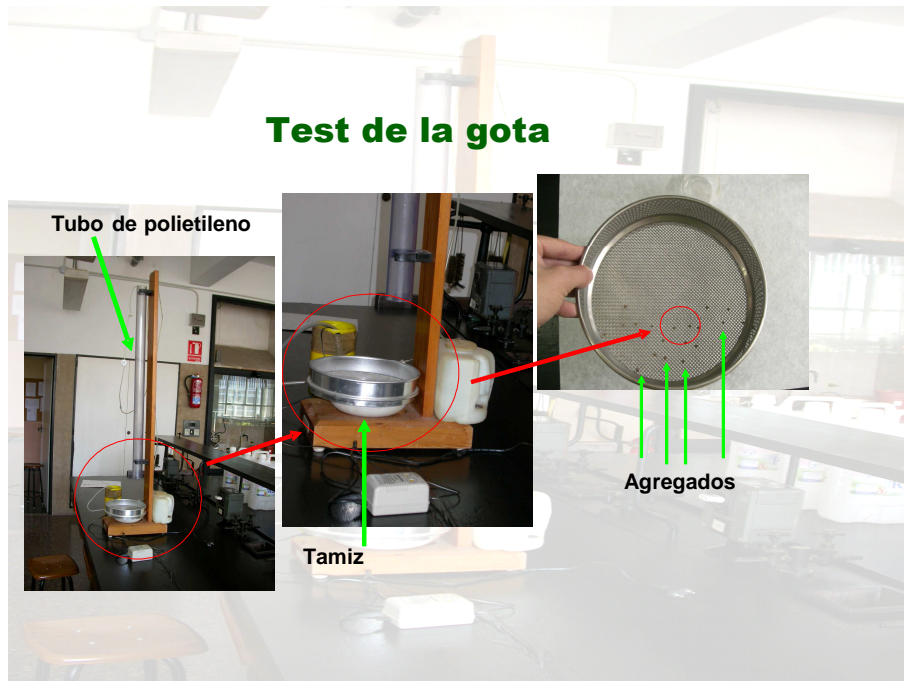
donde:

- V. D. = Volumen Diferencial.
- V. A. = Volumen Acumulativo.

El tamaño de las fracciones de arena, limo y arcilla se mide en micras ( $\mu$ ).

### 3.3.2.1.6. Estabilidad estructural de macroagregados. Test de la gota (Imeson y Vis, 1984)

Se utiliza la técnica CND (“Counting the Number of Drops”). Sobre agregados de tamaño comprendido entre 4 - 4,8 mm situados sobre un tamiz metálico de 2 mm de luz de malla, se lanzan gotas de agua de peso 0,1 g a través de un tubo de polietileno de 1 m de longitud y 15 cm de diámetro, hasta su disgregación. Se contabilizan hasta un máximo de 200 gotas y se repite la operación con 20 agregados.



**Figura 3.24.** Gotero utilizado en el test de la gota. Detalle del tubo de polietileno, del tamiz y de los agregados.

- 1) Estabilidad estructural en **seco (pF 6,1)**: Se utilizan agregados secos al aire, siguiendo el proceso anteriormente descrito.
- 2) Estabilidad estructural en **húmedo (pF 1)**: Los agregados se humedecen por capilaridad durante 24 horas, y posteriormente se opera igual que en agregados secos.

#### ▪ Cálculos:

$$\text{A.G. Rotos Acumulativos} = \sum \text{A.G. Rotos}$$

$$\% \text{ A.G. Supervivientes} = \frac{20 - \text{A.G. Rotos Acumulativos}}{20} \times 100$$

donde:

- A.G. Rotos Acumulativos = Son los agregados rotos que se van acumulando.
- A.G. Rotos = Son los agregados rotos, según el número de gotas impactadas.
- % A.G. Supervivientes = Es el porcentaje de agregados que quedan presentes sin romper.

### 3.3.2.1.7. Determinación de la microagregación (Edwards y Bremner, 1967)

Las muestras que se utilizan en este caso son las que han sido tamizadas anteriormente a 0,01 mm. Se toman 5 g, se trasvasan a un vaso de precipitados de 250 ml, enrasándose con agua destilada. El conjunto se irá agitando, de forma intermitente, con la varilla de vidrio para homogeneizar la muestra, este proceso puede tener una duración de 30 minutos a una hora aproximadamente. A continuación, se toman 50 ml de muestra y se trasvasa al receptor de muestras del equipo Coulter LS 130, procedimiento similar al realizado en la determinación de la textura (ver apartado 3.3.2.1.5).

#### ▪ Cálculos:

$$\% \text{ V. D. } (< 2) = 100 - (\% \text{ V. A. } > 5)$$

$$\% \text{ V. D. } (2 - 5) = (\% \text{ V. A. } > 2) - (\% \text{ V. A. } > 5)$$

$$\% \text{ V. D. } (5 - 20) = (\% \text{ V. A. } > 5) - (\% \text{ V. A. } > 20)$$

$$\% \text{ V. D. } (20 - 50) = (\% \text{ V. A. } > 20) - (\% \text{ V. A. } > 50)$$

$$\% \text{ V. D. } (50 - 100) = (\% \text{ V. A. } > 50) - (\% \text{ V. A. } > 100)$$

$$\% \text{ Arcilla} = (\% \text{ V. D. } < 2) + (\% \text{ V. D. } < 2 - 5)$$

$$\% \text{ Limo} = (\% \text{ V. D. } < 5 - 20) - (\% \text{ V. D. } < 20 - 50)$$

$$\% \text{ Arena} = \% \text{ V. D. } < 50 - 100$$

$$\% \text{ Microagregados estables al agua} = [\% \text{ Arena Microagregación } (> 50 \mu)] - [\% \text{ Arena no agregada}]$$

$$\% \text{ Arena no agregada} = [\% \text{ Arena Microagregación } (> 50 \mu)] [\% \text{ Arena Textural } (> 50 \mu)] / 100$$

$$\% \text{ Agregados no unidos} = 100 - [\% \text{ Microagregados estables al agua}]$$

$$\% \text{ Fracción Fina Microagregada} = [\% \text{ Arcilla Textural } (< 5 \mu)] - [\% \text{ Arcilla Microagregación } (< 5 \mu)]$$

$$\text{I. A. R.} = \frac{\emptyset \text{ Medio de la Microagregación}}{\emptyset \text{ Medio de la Textura}}$$

donde:

- V. D. = Volumen Diferencial.
- V. A. = Volumen Acumulativo.
- I.A.R. = Índice de Agregación Relativo.

El tamaño de las fracciones de arena, limo y arcilla se mide en micras ( $\mu$ ).

### 3.3.2.2. MÉTODOS QUÍMICOS

#### 3.3.2.2.1. Determinación del pH (Richards, 1954)

- 1) pH en **agua**: Pesar 10 g de suelo y añadir 25 ml de agua destilada (suspensión suelo-agua 1:2,5). Agitar vigorosamente con varilla o agitador mecánico, dejar reposar durante 30 minutos y finalmente medir la suspensión suelo-agua en un pHmetro (figura 3.25).
- 2) pH en **cloruro potásico**: Proceder de igual forma que en la determinación del pH en agua, pero utilizando como reactivo la disolución de KCl 0,1M (suspensión suelo-solución de KCl 1:2,5), en vez del agua destilada.



Figura 3.25. pHmetro.

#### ▪ Cálculos:

Los resultados obtenidos se expresan como:

- 1) pH medido en suspensión suelo-agua 1:2,5.
- 2) pH medido en suspensión suelo-solución de KCl 0,1M 1:2,5.

#### 3.3.2.2.2. Determinación de la conductividad eléctrica (Richards, 1954)

Se pesan 10 g de suelo seco al aire. Se añaden 50 ml de agua destilada y se agita durante media hora en agitador mecánico o, en su defecto, a intervalos regulares con una varilla de vidrio. Filtrar la suspensión a través de un papel de filtro. Añadir una gota de hexametáfosfato sódico al 0,1% por cada 25 ml de filtrado, para evitar la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . El extracto así preparado se denomina extracto suelo-agua 1:5 y se mide en un conductímetro (figura 3.26).

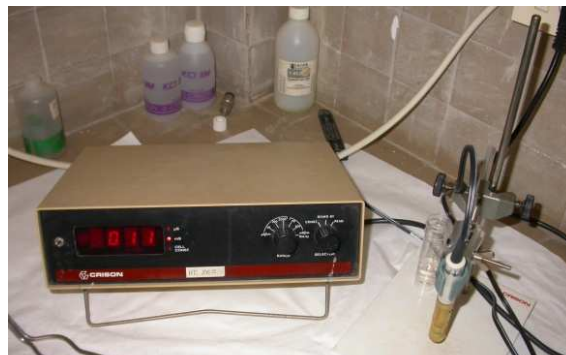


Figura 3.26. Conductímetro.

▪ **Cálculos:**

Una vez realizada la medición, se debe referir a 25°C, para ello se utilizan las tablas de corrección para presentar los valores a esta temperatura.

La conductividad eléctrica se expresa en dS/m.

**3.3.2.2.3. Determinación de los carbonatos totales (Método del calcímetro de Bernard, 1965)**

Se pesan de 0,5 a 1 gramo de tierra fina, seca al aire y tamizada por un tamiz de 2 mm de diámetro, y se pasa al matraz colector. Se ponen 5 ml de HCl 1:1 en el tubito de vidrio y se coloca éste en el matraz con el tapón, procurando hacerlo sin apretar mucho. Se sube o baja la ampolla de vidrio hasta conseguir igualar los niveles de líquido en la ampolla y en la columna manométrica (figura 3.27), y se anota la lectura inicial. Se inclina el matraz para que salga el HCl y reaccione con la tierra, observando como se desnivela la columna, lo que nos dará idea del CaCO<sub>3</sub> presente en el suelo. Terminado el ataque, se vuelven a nivelar la columna y la ampolla, y se anota el volumen final.

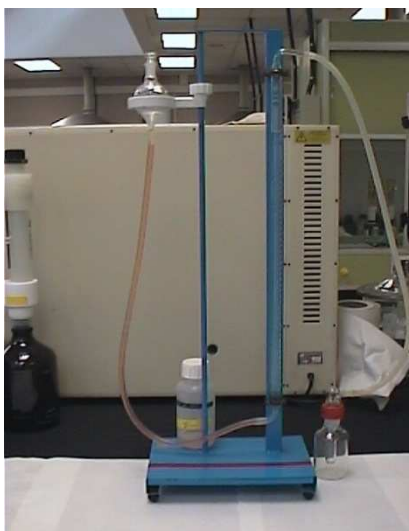


Figura 3.27. Calcímetro de Bernard.

▪ **Cálculos:**

Se repite la operación pero tomando ahora un peso conocido de CaCO<sub>3</sub> puro, y se calcula el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> a partir de la siguiente fórmula.

$$\text{CaCO}_3 (\%) = \frac{P' \times V}{V' \times P} \times 100$$

donde:

- P' = Peso de CaCO<sub>3</sub> puro (g).
- P = Peso de la muestra (g).
- V' = Volumen desplazado por el CaCO<sub>3</sub> puro (ml).
- V = Volumen desplazado por la muestra (ml).



### 3.3.2.2.4. Determinación del nitrógeno total (Black, 1965)

Se pesa 0,1 g de muestra de suelo (previamente triturada) sobre un papel muy fino y se introduce plegado en un tubo de digestión. Se añade una tableta de catalizador de Kjeldahl a cada tubo, y a continuación 5 ml de ácido sulfúrico. Se prepara de la misma forma un blanco con el papel y los reactivos. Se introducen dichos tubos en la rejilla del digestor Kjeldahl (figura 3.28.a) y se ponen durante 1 hora y 45 minutos a 420° C en el bloque digestor. Una vez acabada la digestión apagar el bloque y extraer los tubos con la rejilla, dejándolos enfriar a temperatura ambiente. Finalizado todo este proceso se procede a la adición de 20 ml de agua destilada a cada tubo, y a continuación ya se pueden pasar por el destilador Tekator (figura 3.28.b). Para recoger el destilado se ponen 25 ml de la solución receptora en un erlenmeyer. La destilación durará 3 minutos por muestra, donde el destilado vira de rojo a verde. Lo mismo se realizará con el blanco. Una vez obtenido el destilado de cada muestra se valora con HCl 0,005N, y se anota el volumen gastado para que el destilado vire de verde a rojo claro (figura 3.28.c). El mismo procedimiento se utiliza con el blanco.



Figura 3.28. a) Digestor Kjeldahl. b) Destilador Tekator. c) Valoración de nitrógeno.

#### ▪ Cálculos:

$$N (\%) = \frac{(V_{\text{HCl gastado}} - V_{\text{HCl blanco}}) \times N_{\text{HCl}} \times f \times 14}{\text{Peso muestra} \times 10}$$

donde:

- $V_{\text{HCl gastado}}$  = Volumen de HCl 0,005N gastado en cada muestra (ml).
- $V_{\text{HCl blanco}}$  = Volumen de HCl 0,005N gastado en el blanco (ml).
- $N_{\text{HCl}}$  = Normalidad del HCl = 0,005.
- $f$  = Pureza del HCl.

### 3.3.2.2.5. Determinación del fósforo asimilable (Olsen y Dean, 1965)

Se pesan 5 g de tierra y se colocan en un erlenmeyer de 250 ml, añadiendo a continuación una cucharilla de negro de carbón y 100 cm<sup>3</sup> de bicarbonato sódico 0,5M. Agitar la suspensión durante ½ hora, filtrando a continuación. Seguidamente se miden 5 cm<sup>3</sup> de extracto filtrado y se pasan a un aforado de 25 cm<sup>3</sup>, añadiendo a continuación, poco a poco, 5 cm<sup>3</sup> de solución de molibdato amónico. Una vez que el desprendimiento rápido de CO<sub>2</sub> haya terminado, se agita el matraz suavemente para homogeneizar el contenido. Lavar el cuello del matraz con agua destilada para evitar el contacto directo de la solución de Cl<sub>2</sub>Sn con la solución concentrada de molibdato amónico. Añadir 1 cm<sup>3</sup> de la solución diluida de Cl<sub>2</sub>Sn (recién preparada) y enrasar con agua. Además se prepara un blanco con los mismos volúmenes de cada reactivo, pero sin añadir los 5 cm<sup>3</sup> de extracto filtrado, siendo enrasado con agua en un aforado de 25 cm<sup>3</sup>. Mezclar bien para homogeneizar la solución obtenida de la muestra y la correspondiente al blanco preparado. Dejar reposar unos 10 minutos para que desarrolle el color y medir la absorbancia de esta solución con ayuda del espectrofotómetro (figura 3.29) a una  $\lambda = 660 \text{ nm}$ , tomando como absorbancia de referencia la medida en el blanco preparado.



Figura 3.29. Espectrofotómetro.

#### ▪ Cálculos:

Se prepara una curva de calibrado y seguidamente se leen las absorbancias correspondientes, representando gráficamente los mg en función de las absorbancias leídas.

$$\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g} = \frac{(\text{mg P en función absorbancia}) \times 100 \times 1000 \times 0,229}{1000 \times 5 \times 5} = \text{mg P en función absorbancia} \times 4 \times 0,229$$

### 3.3.2.2.6. Determinación de las bases de cambio y de la capacidad de intercambio catiónico (Peech, 1945)

- 1) Determinación de las **bases de cambio**: Pesar 4 g de suelo, colocar la muestra en un tubo de centrifuga, añadir 33 ml de **acetato amónico** 1N a pH 7 y agitar el tubo tapado durante 5 minutos en el agitador mecánico. Destapar y centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro (normalmente se consigue con 5 minutos). Recoger el líquido sobrenadante en un matraz aforado de 100 ml, y repetir la operación tres veces. Filtrar el contenido del matraz sobre un recipiente para la posterior determinación de cationes de cambio por absorción atómica. Determinar la concentración de las diferentes bases de cambio en los extractos obtenidos después de haber diluido y mezclado en 100 ml, de acuerdo con el método para dichas determinaciones por **absorción atómica** (figura 3.30). Puesto que normalmente la concentración de cationes en la solución es mayor que la existente en los patrones empleados, será necesario hacer las correspondientes diluciones. Se deben preparar las soluciones 1:10 y 1:100 a partir de la solución extraída.



Figura 3.30. Absorción atómica.

- 2) Determinación de la **capacidad de intercambio catiónico** (C.I.C.): Pesar 4 g de suelo, colocar la muestra en un tubo de centrifuga, añadir 33 ml de **acetato sódico** y agitar el tubo tapado durante 5 minutos en el agitador mecánico. Destapar y centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro (normalmente se consigue con 5 minutos). Decantar el líquido sobrenadante y repetir la operación tres veces. A continuación, se prepara una suspensión de 33 ml de **etanol al 95%** para lavar y repetir las mismas operaciones anteriores durante tres veces, midiendo la conductividad del líquido sobrenadante procedente del tercer lavado, la cual debe ser inferior a 40  $\mu\text{mhos/cm}$ . Realizar de la misma forma el desplazamiento del sodio absorbido en la muestra con tres porciones de **acetato amónico**. Determinar la concentración de sodio en los extractos obtenidos después de haber diluido y mezclado en 100 ml, de acuerdo con el método para determinar el sodio por el **fotómetro de llama** (figura 3.31).



Figura 3.31. Fotómetro de llama.

▪ **Cálculos:**

Construir la curva patrón de cada catión, que relaciona las absorbancias medidas con las concentraciones.

1) Determinación de las **bases de cambio** ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$ ):

$$\text{cmol(+) / Kg} = \frac{\text{p.p.m. dilución / 10}}{\text{Peq x gramos de suelo seco}} \times 100$$

2) Determinación de la **capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)**:

$$\text{cmol(+) / Kg} = \frac{\text{p.p.m.}}{\text{Peq. Na}^+ \text{ x gramos de suelo seco}} \times 100$$

### 3.3.2.2.7. Determinación de la materia orgánica total (Walkey y Black, 1934)

Se pesa 1 g de tierra fina, desecada al aire y tamizada por un tamiz de 2 mm de diámetro y pulverizada, y se pasa a un erlenmeyer de 250 ml, se añaden 10 ml de dicromato potásico 1N y se agita la mezcla unos minutos. A continuación se agregan 20 ml de ácido sulfúrico, mezclando el contenido girando el matraz, y se deja en reposo durante 30 minutos. Después se añaden 200 ml de agua destilada, se agita unos minutos para evitar el sobrecalentamiento local, y se deja enfriar. Añadir 10 ml de  $H_3PO_4$  y agitar. Se agregan después 4 o 5 gotas del indicador ortofenantrolina, y se valora con sulfato ferroso amónico seis hidrato 0,5N, hasta el viraje de verde a rojo vino. De igual forma se prepara un blanco, pero en este caso se realiza dicha valoración sin haber agregado ninguna muestra de tierra.

▪ **Cálculos:**

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \frac{[(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}}) \text{ FeSO}_4] \times N \times \text{meq} \times f \times 1,724}{\text{gramos de suelo seco}} \times 100$$

donde:

- $V_{\text{blanco}}$  = Volumen de  $\text{FeSO}_4$  0,5N gastado en el blanco.
- $V_{\text{muestra}}$  = Volumen de  $\text{FeSO}_4$  0,5N gastado en cada muestra.
- $N$  = Normalidad =  $10 / V_{\text{blanco}}$ ;  $[(V' \times N') \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7] = V_{\text{blanco}} \times N$   
 $V'$  = Volumen de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  empleado = 10 ml  
 $N'$  = Normalidad de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  empleado = 1N  
 $10 \times 1 = V_{\text{blanco}} \times N \Rightarrow N = 10 / V_{\text{blanco}}$
- meq = 0,003
- f = Factor de recuperación del carbono orgánico = 1,3
- 1,724 = Factor de conversión de carbono orgánico a materia orgánica.

### 3.3.2.2.8. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por oxidación (Lotti y Galoppini, 1986)

Se pesan 20 g de suelo tamizado y seco en un erlenmeyer, y seguidamente se le añade 500 ml de la disolución de pirofosfato sódico. Al conjunto se le añaden unos cristales de sulfato potásico, favoreciendo así la floculación de coloides inorgánicos, y se deja agitar durante 24 horas. Al día siguiente se filtra, obteniendo así un extracto en el cual se encuentran presentes tanto los ácidos húmicos como los ácidos fúlvicos (figura 3.32). En el papel de filtro queda un residuo seco que se empleará para determinar el contenido de huminas.

- 1) Determinación de los **ácidos fúlvicos**: Para separar los ácidos húmicos, se acidifican 100 ml del extracto con ácido sulfúrico diluido hasta pH igual a 2, agitando continuamente. Cuando los ácidos húmicos han precipitado, se filtran y se lavan. El filtrado se recoge en un erlenmeyer de 250 ml y se lleva a sequedad en la estufa a 105° C. Sobre el residuo seco se determina el carbono por el método de Walkey y Black empleado en la determinación de la materia orgánica.
- 2) Determinación de los **ácidos húmicos**: Para la determinación de los ácidos húmicos, se toman 100 ml del extracto inicial y se lleva a sequedad en la estufa a 105° C. El contenido de carbono total del residuo seco se determina por el mismo método que para los ácidos fúlvicos. Para obtener el contenido de ácidos húmicos, se resta el valor del carbono obtenido en esta valoración con el obtenido de ácidos fúlvicos.
- 3) Determinación de las **huminas**: Para la determinación de las huminas, se toma el residuo seco que queda en el papel de filtro después de filtrar la solución inicial, y se deja secar. Una vez seco se machaca con un mortero hasta que se convierta en un polvo muy fino, se pesa 1 g del polvo obtenido, y se determina el carbono por el mismo método empleado para la determinación de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (Walkey y Black).



Figura 3.32. Extractos húmicos.

#### ▪ Cálculos:

$$\text{Ácidos húmicos (\%)} = \frac{[(2V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}}) \text{FeSO}_4] \times N \times \text{meq} \times f \times 500 \times 1,724}{20 \times 100} \times 100$$

o Ácidos fúlvicos

$$\text{Huminas (\%)} = \frac{[(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}}) \text{FeSO}_4] \times N \times \text{meq} \times f \times 500 \times 1,724}{20 \times 100} \times 100$$

donde:

- $V_{\text{blanco}}$  = Volumen de  $\text{FeSO}_4$  0,5N gastado en el blanco.
- $V_{\text{muestra}}$  = Volumen de  $\text{FeSO}_4$  0,5N gastado en cada muestra.
- $N$  = Normalidad =  $10/V_{\text{blanco}}$  ;  $[(V' \times N') \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7] = V_{\text{blanco}} \times N$   
 $V' = \text{Volumen de } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ empleado} = 10 \text{ ml}$   
 $N' = \text{Normalidad de } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ empleado} = 1 \text{ N}$   
 $10 \times 1 = V_{\text{blanco}} \times N \Rightarrow N = 10/V_{\text{blanco}}$
- $\text{meq} = 0,003$
- $f =$  Factor de recuperación del carbono orgánico = 1,3
- 1,724 = Factor de conversión de carbono orgánico a materia orgánica.

Posteriormente se determinan los **índices de composición húmica** (Pujola, 1989) que se describen a continuación:

- 1) **Índice de polimerización (IP)**
- 2) **Índice de estabilidad estructural (IEE)**
- 3) **Grado de humificación (GH)**

Cada uno de estos índices se calcula de la siguiente manera:

$$\text{IP} = \frac{C_{\text{AH}}}{C_{\text{AF}}}$$

$$\text{IEE} = \frac{C_{\text{HUM}}}{C_{\text{AH}} + C_{\text{AF}}}$$

$$\text{GH} = \frac{C_{\text{AH}} + C_{\text{AF}} + C_{\text{HUM}}}{C_{\text{M.O. Total}}} \times 100$$

donde:

- $C_{\text{AH}}$  = Niveles de ácidos húmicos (%).
- $C_{\text{AF}}$  = Niveles de ácidos fúlvicos (%).
- $C_{\text{HUM}}$  = Niveles de huminas (%).
- $C_{\text{M.O. Total}}$  = Niveles de materia orgánica total (%).

### 3.3.2.3. MÉTODOS QUIMIOMÉTRICOS

#### 3.3.2.3.1. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por espectroscopía de infrarrojos (Stevenson, 1994)

La espectroscopía infrarroja (FT-IR) se basa en la detección de bandas de absorción características producidas al pasar los rayos infrarrojos a través de las sustancias, lo que se relaciona con la excitación de vibraciones de los grupos atómicos en ella.

Este método permite obtener datos sobre la presencia de distintas agrupaciones atómicas y grupos funcionales sin alterar químicamente la sustancia estudiada, y así podremos estudiar las sustancias húmicas del suelo.

La región infrarroja de la radiación electromagnética, a luz infrarroja, se localiza entre la visible y las ondas de radio. La región infrarroja se puede dividir en región muy cercana o cercana, fundamental o mediana, y región lejana, y estos tipos de radiación están caracterizados por la longitud de onda ( $\lambda$ ) en  $\mu\text{m}$ , pero en análisis infrarrojo es habitual utilizar la frecuencia en  $\text{cm}^{-1}$ , así la frecuencia, llamada también número de onda ( $\nu$ ), es el valor recíproco de la longitud de onda y esto se puede expresar como  $\nu (\text{cm}^{-1}) = 10^4/\lambda$ . La

espectroscopía infrarroja es aplicada habitualmente en los análisis de materiales orgánicos y de los constituyentes inorgánicos. El espectro característico de estos componentes se encuentra mayoritariamente en la frecuencia entre 600 y 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Para comparar los espectros obtenidos, se calcularon unos ratios entre las absorbancias de ciertas bandas (Inbar et al., 1989). Por su importancia en los espectros obtenidos, se escogieron las siguientes bandas: 3500  $\text{cm}^{-1}$ , señal producida por la tensión de los grupos OH asociados a moléculas de agua, la banda del carbono aromático (C=C) situada en 1640  $\text{cm}^{-1}$ , las bandas ubicadas en regiones en donde representan C alifático (1037, 2854 y 2927  $\text{cm}^{-1}$ ) y la banda de las amidas (1548  $\text{cm}^{-1}$ ), obteniendo los ratios: 1640/2927, 1640/2854, 1640/1548 y 1640/1037.

- **Preparación de las muestras y análisis IR:** El material necesario (figura 3.33) consiste en mortero de ágata, KBr para la preparación de los discos, prensa y espectrofotómetro de IR.



Figura 3.33. Preparación de la muestra. Prensa. Espectrofotómetro de IR.

Los espectros IR se adquieren a partir de pastillas preparadas con 2 mg de compost o vermicompost, y 200 mg de KBr. Para la obtención de dichas pastillas las muestras se homogenizan en un mortero de ágata, y se desecan a 100 °C durante un día para eliminar las trazas de agua. El rango de adquisición de los espectros se encuentra entre 4000 y 400  $\text{cm}^{-1}$ . Para facilitar el reconocimiento de patrones a partir de los espectros, se procede a aumentar la resolución mediante un algoritmo, basado en la sustracción del espectro original de un múltiplo positivo de la 2ª derivada, seguido por un suavizado (*smoothing*) mediante otro algoritmo de promedios lineales móviles (Rosenfeld y Kak, 1982; Almendros y Sanz, 1992).

### 3.3.2.3.2. Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas por microscopía electrónica (Gimeno, 1990)

El fundamento del microscopio electrónico de barrido (MEB) se basa en la emisión de un haz de electrones sobre la muestra, y mediante un detector apropiado se registra el resultado de esta interacción. El haz se puede hacer desplazar sobre la muestra, y en tal caso, se establece una correspondencia entre el lugar de la muestra en que está el haz en un momento determinado y el brillo de una pantalla, que en cada punto es proporcional a la cantidad de información producida; en este caso el conjunto, para todos los puntos barridos, constituye la imagen que se quiere obtener.

La muestra se fija con un adhesivo sobre el porta, para asegurar un buen contacto eléctrico a tierra, y evitar desplazamientos de la imagen que pueden perturbar tanto la obtención de micrografías como la realización de microanálisis. En nuestro caso, se ha utilizado una cinta de carbón adhesiva que se pega sobre el portamuestras. A continuación se espolvorea la muestra sobre esta superficie, de modo que quede lo más homogénea posible, para que se pueda ver con claridad en el microscopio, y posteriormente las muestras se recubren con carbono para hacerlas conductoras. Una vez preparadas las muestras, se colocan en el microscopio electrónico de barrido (figura 3.34). Las técnicas de metalización empleadas para mejorar la conductividad de las muestras, para su estudio al MEB, son la evaporación y el *sputtering*.



**Figura 3.34.** Preparación de las muestras. *Sputtering*. Microscopio electrónico de barrido HITACHI mod. S-4100 con cañón de emisión de campo, detector BSE ATRATA, sistema de captación de imágenes EMIP 3.0, y sistema de microanálisis RONTEC.



### 3.3.2.4. MÉTODOS BIOLÓGICOS

#### 3.3.2.4.1. Extracción de artrópodos (De Liñán, 1998)

La extracción de artrópodos en el laboratorio se ha realizado mediante el método del embudo de Berlesse. La muestra de suelo se coloca sobre un tamiz en un embudo, colocando una bombilla eléctrica en la parte de arriba de la muestra, de manera que los artrópodos huyen de la luz y del calor, y caen a través del embudo dentro de un frasco de recolección lleno de un líquido compuesto de una mezcla de 60% de etanol, 30% de agua y 10% de glicerina.

En la figura 3.35 se observa un esquema sobre las partes y el funcionamiento del embudo Berlesse.

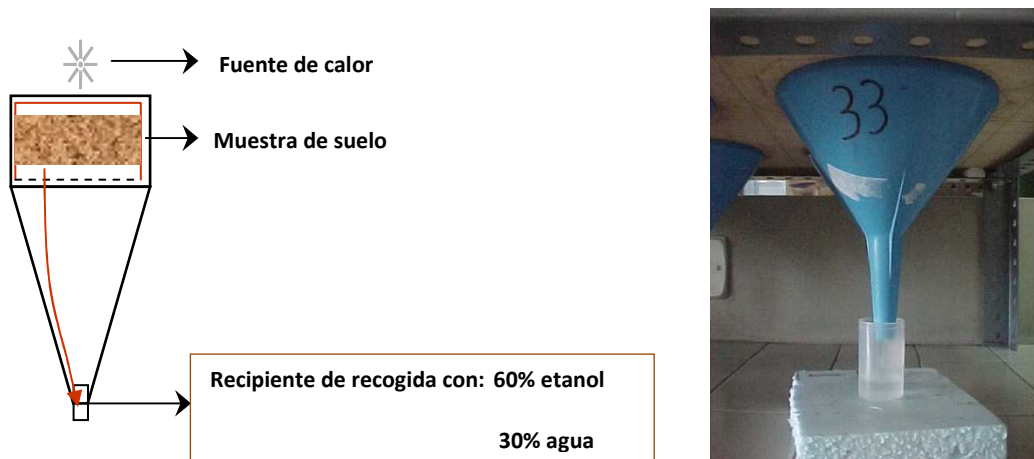


Figura 3.35. Embudo Berlesse utilizado en el laboratorio para la extracción de artrópodos.



Figura 3.36. Lupa binocular empleada para realizar el conteo de artrópodos.

#### ▪ Cálculos:

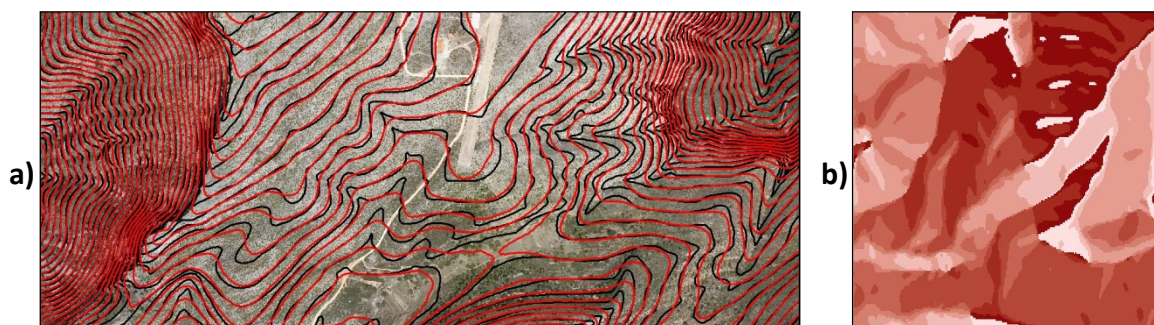
El conteo de las capturas se realiza con una lupa binocular de 4x (figura 3.36) sobre una placa petri, y el resultado de éstas se expresa en nº de individuos/m<sup>2</sup> de suelo.

### 3.4. ESTUDIO DE GABINETE

#### 3.4.1. EUROSEM

##### 3.4.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (DEM)

La representación topográfica del terreno se ha realizado por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG), obteniendo la representación cuantitativa digital de la superficie topográfica del terreno.

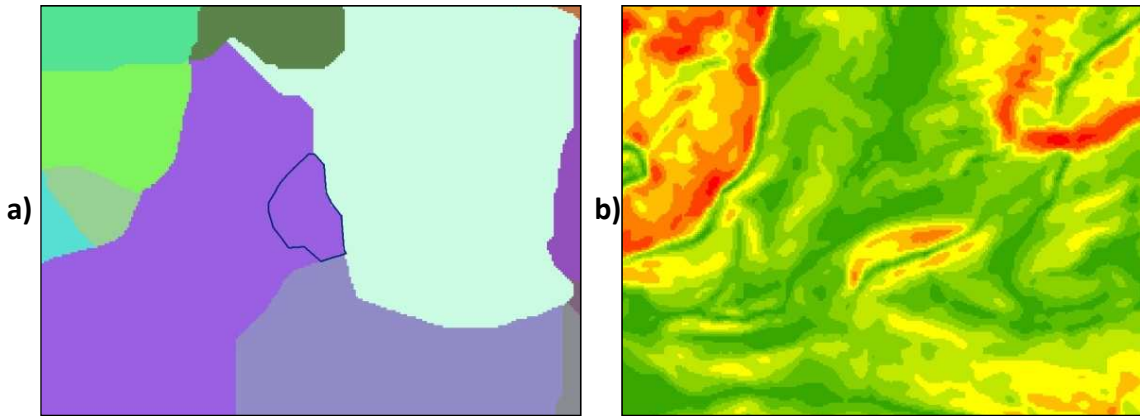


**Figura 3.37.** a) Imagen que muestra en negro las curvas de nivel originales y en rojo las curvas de nivel obtenidas como resultado del DEM. b) Ráster del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) del Pico del Cocoll, término municipal de Castell de Castells (Alicante).

El cálculo de la dirección del flujo se lleva a cabo a través del comando *Flow direction*, éste está determinado por la dirección de bajada según la altitud de cada celda, dando un ráster de salida cuyos valores van desde 1 al 255.

**Delimitación de la Subcuenca.** La función *Basin* analiza el ráster obtenido con la función *Flow direction*. El drenaje de las cuencas se crea para la localización de puntos de vertido en la ventana de análisis (donde el agua se vierta fuera del ráster), así como los sumideros y, a continuación, la identificación de cada uno de los puntos que contribuyen al área. Esto da como resultado un ráster de cuencas hidrográficas. La figura 3.38.a muestra el ráster obtenido al aplicar la función *Basin* sobre el ráster calculado, delimitando por colores una serie de superficies, correspondiéndose cada una de ellas a las cuencas de drenaje del territorio. El área delimitada en negro define los límites de la cuenca constituida por subcuencas de drenaje, y extrayendo subcuencas como ámbito de estudio. Tras determinar la cuenca de estudio (ArcMap 9.3), a cada mapa se asocia la información a los polígonos resultantes en la realización de los respectivos mapas.

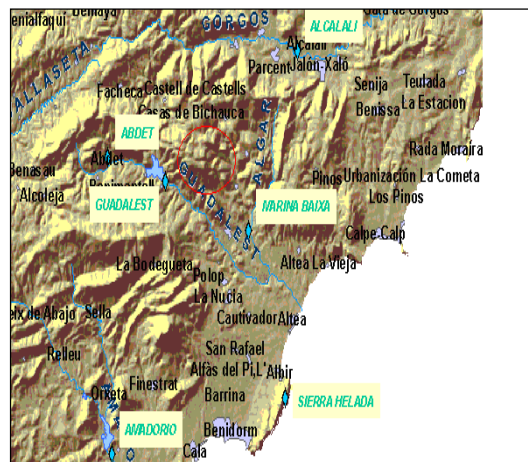
Teniendo en cuenta las distintas características morfológicas de la zona, la cuenca de estudio se ha subdividido en 11 unidades de suelo distintas, agrupadas en función de su ubicación geográfica en ladera norte, ladera sur y parte central de la cuenca.



**Figura 3.38.** a) Ráster obtenido del comando *Basin* en el ámbito de la zona de estudio del Pico del Cocoll, término municipal de Castell de Castells (Alicante). b) Imagen ráster de la pendiente de salida calculada en porcentaje.

### 3.4.1.2. ELECCIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS Y ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LLUVIA

Tras localizar las estaciones pluviométricas existentes próximas a la zona de estudio (figura 3.39), se eligieron la estación de la Marina Baixa y la de Guadalest.



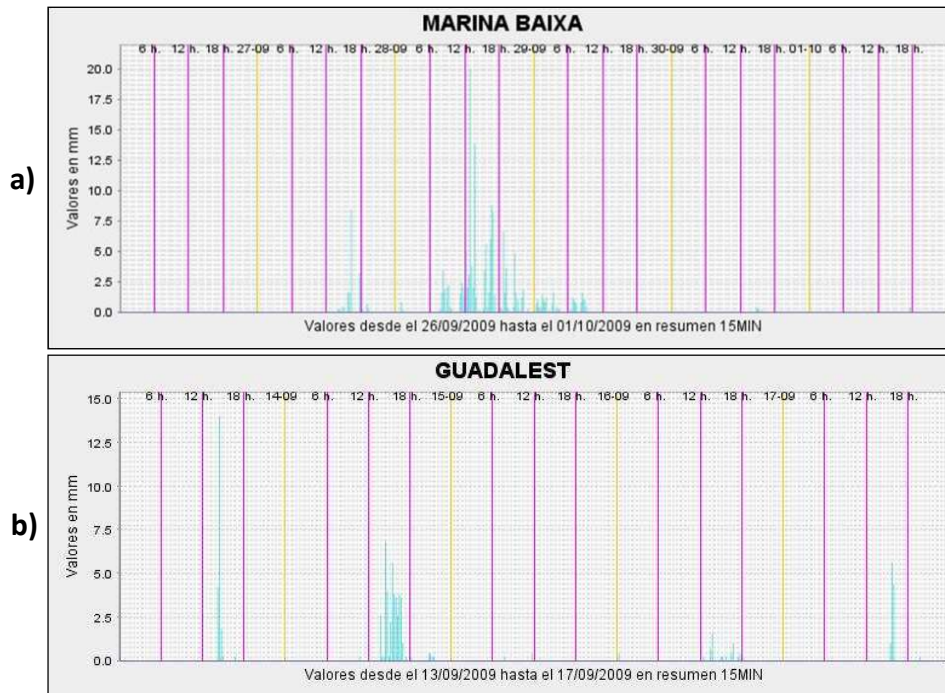
**Figura 3.39.** Mapa de las estaciones climáticas próximas a la zona de estudio.

Se seleccionan dos eventos de lluvias con intensidades distintas, una fuerte y otra moderada, para poder comprobar los distintos efectos que produce la lluvia en el suelo en función de la intensidad.

El evento de lluvia fuerte se ha obtenido en el período del 26/09/2009 al 01/10/2009 en la estación pluviométrica de la Marina Baixa, mientras que el evento de lluvia moderada se ha obtenido en la estación pluviométrica de Guadalest en el período del 13/09/2009 al 17/09/2009, ambos se corresponden a eventos denominados “gota fría” típicos de la zona mediterránea. Para nuestro estudio se han utilizado los datos en intervalos de quinzaminutales (tabla 3.3.a y 3.3.b).

**Tabla 3.3.** Datos de lluvia de la estación de **a)** la Marina Baixa y **b)** Guadalest, en intervalos de 15 minutos para el período seleccionado. Fuente: web del MARM.

Periodo: 26/09/2009-01/10/2009										Periodo: 13/09/2009-17/09/2009						
Historico medido en mm. Precipitación JUCAR:MARINA BAIXA										Historico medido en mm. Precipitación JUCAR:GUADALEST						
26 Septiembre 2009	27 Septiembre 2009	28 Septiembre 2009	29 Septiembre 2009	30 Septiembre 2009	01 Octubre 2009	13 septiembre 2009	14 septiembre 2009	15 septiembre 2009	16 septiembre 2009	17 septiembre 2009						
0:00	0	0	0	0	0	0:00	0	0	0	0						
0:15	0	0	0	0	0	0:15	0	0	0	0						
0:30	0	0	0	0,8	0	0:30	0	0	0,4	0						
0:45	0	0	0	1	0	0:45	0	0	0	0						
1:00	0	0	0,8	0,4	0	1:00	0	0	0	0						
1:15	0	0	0,2	0,4	0	1:15	0	0	0	0						
1:30	0	0	0	1,4	0	1:30	0	0	0	0						
1:45	0	0	0	1	0	1:45	0	0	0	0						
2:00	0	0	0	0,8	0	2:00	0	0	0	0						
2:15	0	0	0	1,2	0	2:15	0	0	0	0						
2:30	0	0	0	0	0	2:30	0	0	0	0						
2:45	0	0	0	0,2	0	2:45	0	0	0	0						
3:00	0	0	0	0	0	3:00	0	0	0	0						
3:15	0	0	0	0,8	0	3:15	0	0	0	0						
3:30	0	0	0	1,6	0	3:30	0	0	0	0						
3:45	0	0	0	0	0	3:45	0	0	0	0						
4:00	0	0	0	0,4	0	4:00	0	0	0	0						
4:15	0	0	0	0,2	0	4:15	0	0	0	0						
4:30	0	0	0	0,2	0	4:30	0	0	0	0						
4:45	0	0	0	0	0	4:45	0	0	0	0						
5:00	0	0	0	0	0	5:00	0	0	0	0						
5:15	0	0	0	0	0	5:15	0	0	0	0						
5:30	0	0	0	0	0	5:30	0	0	0	0						
5:45	0	0	0	0	0	5:45	0	0	0	0						
6:00	0	0	0	0	0	6:00	0	0	0	0						
6:15	0	0	0	0	0	6:15	0	0	0	0						
6:30	0	0	0	0,2	0	6:30	0	0	0	0						
6:45	0	0	0	1,2	0	6:45	0	0	0	0						
7:00	0	0	0	1	0	7:00	0	0	0	0						
7:15	0	0	0	0,8	0	7:15	0	0	0	0						
7:30	0	0	0	0	0	7:30	0	0	0	0						
7:45	0	0	0	0,2	0	7:45	0	0,2	0	0						
8:00	0	0	1,6	0	0	8:00	0	0	0	0						
8:15	0	0	3,4	0,8	0	8:15	0	0	0	0						
8:30	0	0	1,8	1,6	0	8:30	0	0	0	0						
8:45	0	0	0	1	0	8:45	0	0	0	0						
9:00	0	0	2	1	0	9:00	0	0	0	0						



**Figura 3.40.** Representación de los datos de lluvia de la estación de **a)** la Marina Baixa y **b)** Guadalest, en intervalos de 6 horas para el período seleccionado. Fuente: web del MARM.

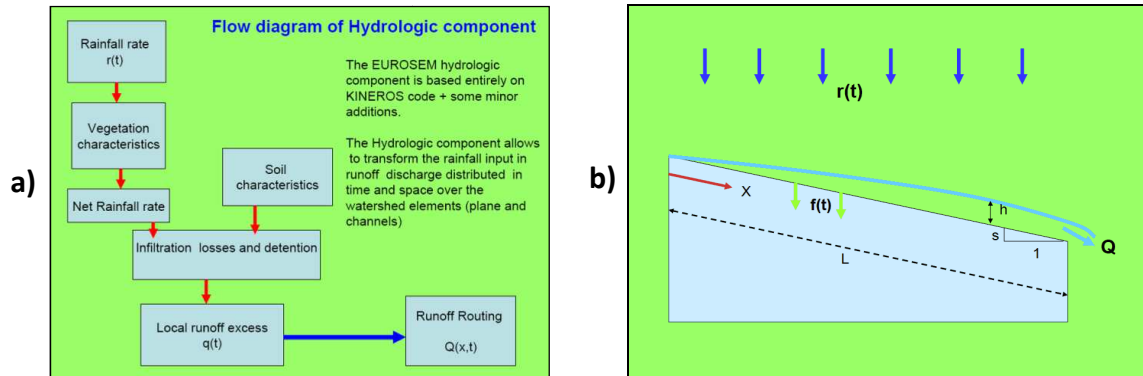
Para poder utilizar todos estos datos en las simulaciones, se han tenido que disgregar los dos eventos de lluvias en intervalos de 5 minutos, que es cómo nos lo exige el programa que ejecuta la simulación. La disgregación de los datos pluviométricos se ha realizado por medio del programa informático DISRAINS 2.3 (Borselli, 2004; Borselli, 2007; Smets et al., 2011). Posteriormente se calcula la intensidad media máxima en el intervalo de 30 minutos, parámetro necesario como datos de “input” de modelo de erosión.

### 3.4.1.3. MODELO DE EROSIÓN

#### 3.4.1.3.1. Elección del modelo de erosión: EuroSEM-2010

En el presente trabajo se ha utilizado el modelo de simulación EuroSEM (*European Soil Erosion Model*) en una subcuenca del Pico del Cocoll, perteneciente al término municipal de Castell de Castells en la provincia de Alicante. EuroSEM-2010 es capaz de simular los procesos producidos en los regueros y cárcavas.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo relativo a la componente hidrológica (figura 3.41.a). Esta componente está basada completamente en el código Kineros.



**Figura 3.41. a)** Diagrama de flujo de la componente hidrológica. **b)** Representación de movimiento de flujo sobre la superficie del suelo.

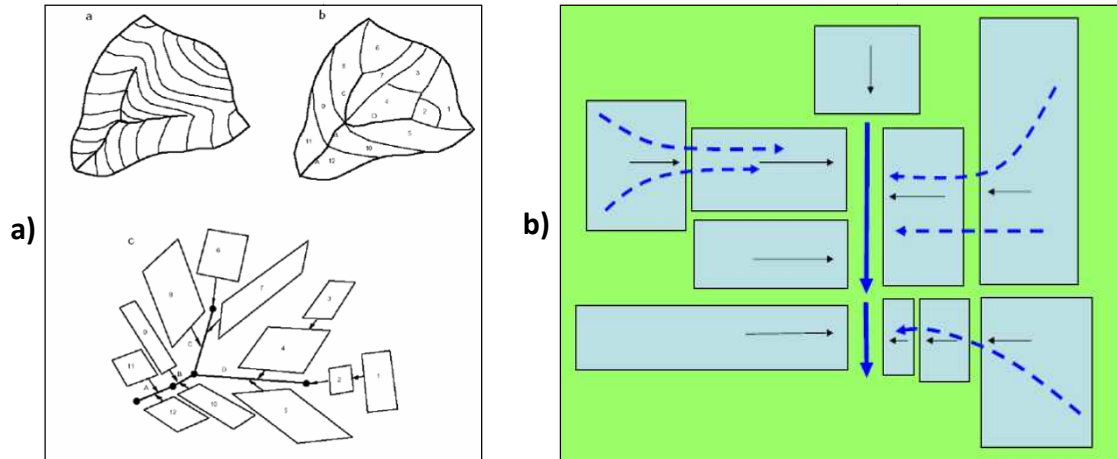
El programa transforma los datos del archivo de entrada de la lluvia en una escorrentía que fluye a través de los elementos, planos y canales, en función del tiempo y en el espacio. La cantidad de lluvia interceptada (*TIF*) por la cobertura vegetal se distribuye entre la cantidad de lluvia almacenada (*LD*) y la que fluye y drena a través del tallo (*SF*). La lluvia neta (*NR*) que llega a la superficie cultivada es igual a la cantidad de lluvia precipitada directamente a la superficie del suelo (*DT, throughflow*), la que fluye por el tallo (*SF, stemflow*) y la que es goteada de nuevo de ramas y hojas (*Rg*). La lluvia neta (*NR*) se transforma en escorrentía  $q(t)$  por la substracción del valor de la infiltración  $f(t)$ .

EuroSEM utiliza el modelo de Morel-Seytoux y Verdin (1981) para calcular las pérdidas debidas a la infiltración. Otra pérdida importante que reduce el contenido de la lluvia efectiva, es la cantidad de agua que puede ser almacenada temporalmente en una depresión de la superficie del suelo. La cantidad de agua almacenada en una depresión (*D*) se calcula mediante el parámetro de rugosidad (*RECS*) que es el máximo desnivel que puede ser apreciado en el campo. *RECS* puede ser calculado de la rugosidad superficial (medida como desviación estándar de las elevaciones de la superficie del suelo). *RECS* puede ser usado para estimar el parámetro de profundidad de almacenamiento superficial mediante la ecuación de regresión Auerswald et al., (1986); Auerswald et al., (2003); Morgan et al., (1998).

#### 3.4.1.3.2. Representación del paisaje con EuroSEM-2010

El paisaje dentro del modelo representa el movimiento del agua y de sedimentos a través del terreno. Para ello, se realiza la división del paisaje en una serie de elementos conectados, una continuidad de masa dentro de cada elemento cercano, y la identificación de las líneas de flujo.

La representación usada para EuroSEM es la cascada de planos que requiere una esquematización razonable del terreno, es decir, una subdivisión en una serie de planos en la cual cae uno sobre el otro hasta que se alcanza el canal principal. La cuenca se ha descompuesto en elementos representados por planos o canales. Método obtenido del manual de Kineros (Woolhiser et al., 1990).



**Figura 3.42.** a) Representación geométrica del terreno mediante planos y canales con EuroSEM en una subcuenca. b) Representación geométrica de la superficie en planos y canales.

El **Método de las Unidades Integradas de Tierra (UIT)** muestra los polígonos que representan unidades geográficas, delineadas mediante la integración de mapas temáticos superpuestos como la litología, uso de suelo, orientación y pendientes. Las características o rasgos comunes en la intersección de las entradas se escriben en el *shape* de salida. Estas unidades o espacios geográficos expresan características homogéneas entre sí, particularidades o rasgos de profundidad o textura del suelo, litología o tipo de formación geológica, paisajes, es decir, propiedades típicas de cada una de ellas.

### 3.4.1.3.3. Datos de Entrada y de Salida del programa EuroSEM-2010

#### 3.4.1.3.3.1. Datos de Entrada de EuroSEM (Datos de Input)

En el archivo de entrada, en formato excel, a los segmentos de los canales se les asigna una letra, por ejemplo, a, b, c, etc. y a los segmentos de un plano un número: 1, 2, 3, etc. El número del elemento es un identificador que se usa para indicar la dirección del flujo de salida *outflow* o de que elemento se recibe el aporte, es decir, el flujo de entrada *inflow*.

El programa requiere los siguientes archivos de entrada:

- 1) Archivo de entrada de la **lluvia**.
- 2) Archivo de entrada de los **parámetros**.

El archivo de entrada de la lluvia, contiene la información relativa a un evento de lluvia, definida mediante la lluvia acumulada (milímetros) y el tiempo de duración de la misma (minutos).

En cuanto al archivo de entrada de los parámetros, contiene como información más relevante: a) Tipo de elemento, tamaño del elemento, elementos contribuyentes; b) Características hidráulicas del suelo; c) Parámetros relacionados con la superficie del suelo; d) Características de la vegetación y uso del suelo; e) Darcy-Weisbach's M rill (rangeland, cropland); f) Conductividad hidráulica saturada, conductividad capilar efectiva, textura; etc.

**Tabla 3.4.** Tipo de elemento y numeración, características del elemento, anchura, longitud, elementos contribuyentes.

POLIGONO	Type	Element	Width (m)	Length (m)	Upper element	if channel	if channel	if channel	if channel	if channel	if channel	if channel
0						First channel number	Right-hand plane number	Second channel number	Left-hand plane number	Right-hand side slope	Left-hand side slope	Bottom Width (m)
71	1	1	31.68	30.74	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
15	1	2	33.52	55.19	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
81	1	3	17.57	3.79	2	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
11	1	4	17.27	14.59	3	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
1	1	5	13.97	8.66	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
2	1	6	30.46	30.04	5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0
3	1	7	37.77	12.56	6	0	0	0	0	0.00	0.00	0.0

**Tabla 3.5.** Características hidráulicas del suelo.

ip max (0.5 h)	Moisture content (v/v) initial	Porosity (fraction)	D50 (µm)	sand	silt	clay	om	Effective net capillary drive-worst case (mm)	Saturated hydraulic conductivity - worst case (mm/h)	Specific gravity (Mg/m³)
40.0	0.20	0.46	9.42	27.95	42.51	29.54	0.00	533	2.00	2.65
40.0	0.20	0.46	18.95	38.40	38.49	23.11	0.00	617	4	2.65
40.0	0.20	0.29	18.95	38.40	38.49	23.11	0.00	617	4	2.65
40.0	0.20	0.46	18.95	28.66	39.07	32.27	0.00	600	1.50	2.65
40.0	0.09	0.48	18.95	32.34	27.25	40.40	0.00	750	1	2.65
40.0	0.09	0.48	18.95	32.34	27.25	40.40	0.00	750	1	2.65
40.0	0.09	0.48	18.95	32.34	27.25	40.40	0.00	750	1	2.65

**Tablas 3.6 y 3.7.** Parámetros relacionados con la superficie del suelo.

Depth to non-erodible layer (m)	Position of rocks	Fraction of embedded rocks	Rock fragment cover (fraction)	Rock fragment content (v/v)	rock fragment Dup90 (mm)	pio cum (mm)	Recession factor (RECS mm)	initial recession factor (mm)
0.26	0.00	0.10	0.30	0.08	0.00	65.20	50	55
0.15	0.00	0.10	0.10	0.01	0.00	65.20	50	55
0.02	0.00	0.10	0.10	0.01	0.00	65.20	85	85
0.35	0.00	0.10	0.10	0.01	0.00	65.20	70	75
0.05	0.00	0.10	0.42	0.14	0.00	65.20	100	105
0.05	0.00	0.10	0.42	0.14	0.00	65.20	100	105
0.05	0.00	0.10	0.42	0.14	0.00	65.20	100	105

Average interrill slope (m/m)	Average rill slope (m/m)	Number of rills	Rill width (m)	Rill depth (m)	Rill side slope	Rill geometry	cryptogams (fract) frs	cryptogams (fract) fbi		
0.04	0.04	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.06	0.90
0.05	0.05	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.06	0.90
0.03	0.03	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.07	0.90
0.03	0.03	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.06	0.90
0.10	0.10	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.04	0.90
0.19	0.19	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.04	0.90
0.29	0.29	0	0.00	0.00	0.00	0	0	1.11	0.04	0.90

Tabla 3.8. Características de vegetación y uso del suelo.

vegetation	vegetation	vegetation	vegetation	vegetation	vegetation	vegetation	vegetation
Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fract)	Plant stem angle (°)	Leaves Shape (=1 always)	Maximum interception storage (mm)	veg cov of the vegetated part (fract)	canopy diameter of plants (m)
0.06	0.20	0.006	40	1	0.090	0.6	0.3
0.06	0.25	0.006	40	1	0.090	0.6	0.3
0.01	0.01	0.001	89	1	0.015	0.01	0.01
0.06	0.25	0.006	40	1	0.090	0.6	0.3
0.15	0.20	0.015	45	1	0.225	0.6	0.3
0.15	0.20	0.015	45	1	0.225	0.6	0.3
0.15	0.20	0.015	45	1	0.225	0.6	0.3

Tabla 3.9. Darcy-Weisbach's M rill (rangeland, cropland).

rangeland rill		rangeland interrill		cropland rill	cropland rill	cropland rill		
cryptogams (fract)	frs	cryptogams (fract)	fbi	cryptoga ms (fract)	residues (fract)	h veg (cm)	f liv max	frs
0	1.11	0.06	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.06	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.07	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.06	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.04	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.04	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0
0	1.11	0.04	0.90	0.00	0.0000	0	0.000	0

El parámetro M está relacionado a la rugosidad hidráulica de Darcy-Weisbach.

### 3.4.1.3.3.2. Archivos de Salida de EuroSEM (Datos de Output)

Eurosem produce de manera automática dos archivos de salida:

- 1) **Static output file** (formato .xls), proporciona información referida al área de estudio incluyendo la lista de datos de *input* de la simulación para cada uno de los elementos (tabla 3.10). También proporciona los valores de erosión, lluvia, deposición total y de escorrentía para un evento de lluvia, tanto en el caso de regueros como entre regueros para cada elemento (tabla 3.11), así como parámetros de la cuenca y datos de los elementos (figura 3.43).
- 2) **File HYDSED** (formato .xls) de cada uno de los elementos (planos y canales), en él se muestra para cada uno de los planos, la superficie a la cual hace referencia, en cada intervalo temporal los valores de infiltración, escorrentía, concentración de sedimentos y su descarga (tabla 3.12).



**Tabla 3.10.** Static output file. Tipo de elemento y numeración, características del elemento, anchura, longitud, etc.

Element No	Type	Width (m)	Length (m)	Right-Hand side slope	Left Hand side slope	Bottom width (m)	Saturated hydraulic conductivity (mm/h)	Capillary drive (mm)	Porosity (%)
1	Plane	31.67632	30.74	0	0	0	54	296.009	0.46
2	Plane	33.52455	55.19	0	0	0	54	342.665	0.46
3	Plane	17.57256	3.79	0	0	0	2	470.333	0.29
4	Plane	17.27005	14.59	0	0	0	54	333.218	0.46
5	Plane	13.96536	8.66	0	0	0	12	416.523	0.48
6	Plane	30.46138	30.04	0	0	0	12	416.523	0.48
7	Plane	37.76911	12.56	0	0	0	12	416.523	0.48
8	Plane	28.67647	13.26	0	0	0	12	416.523	0.48
9	Plane	76.45865	99.88	0	0	0	12	355.739	0.48
10	Plane	42.96994	8.65	0	0	0	12	355.739	0.48
11	Plane	42.14475	11.33	0	0	0	20	252.812	0.46
12	Plane	74.31174	16.36	0	0	0	20	252.812	0.46

**Tabla 3.11.** Static output file. Erosión, lluvia, deposición total y escorrentía.

Net erosion (depositio n) (Kg)	Net erosion (depositio n) (t/ha)	Net rainfall (mm)	Peak rainfall rate (mm/h)	Time to runoff (min)	Duration of runoff (min)	Time to peak flow rate (min)	Peak flow rate (mm/h)	Total Runoff Volume (mm)	Time to peak ssedimen t discharge (min)	Peak sediment discharge (Kg/min)
0	0	93.528	80.0008	0	0	0	0	0	0	0
0	0	93.5946	80.0008	0	0	0	0	0	0	0
0.237387	0.035644	93.59985	80.0008	105.1996	112.4995	119.9995	1.683016	3.8671	109.2996	0.00354
-0.13785	-0.00547	93.5946	80.0008	122.4995	27.5499	122.9495	0.926562	0.359292	125.1995	0.015759
3.829544	0.316648	93.56625	80.0008	108.2496	41.7998	119.9995	47.72365	3.016837	119.9995	0.101213
174.1298	1.902933	93.56625	80.0008	105.9996	133.5995	119.9995	41.82118	23.01034	119.9995	4.299276
245.1285	5.167345	93.56625	80.0008	105.3996	138.6494	119.9995	42.91907	33.29742	119.9995	8.948319
215.8939	5.677683	93.56625	80.0008	105.3496	109.8495	119.9995	35.21203	40.72358	122.2995	12.31886
420.4175	0.550523	92.865	80.0008	105.2496	149.7994	119.9995	18.12789	179.5497	169.7493	12.4859
-4.89999	-0.13183	92.865	80.0008	105.3496	289.5988	121.7995	17.02114	182.2197	171.9493	12.10085
-75.5947	-1.58313	92.51625	80.0008	105.4496	132.9995	124.2995	15.44194	176.1512	170.0493	11.36773
-181.209	-1.49052	92.51625	80.0008	105.5996	164.4493	129.1495	12.34227	166.7741	175.5993	10.32516
-268.568	-1.42887	92.51625	80.0008	105.9496	138.3494	137.7495	8.481586	145.2403	186.1493	8.413463
-160.974	-1.9196	92.51625	80.0008	106.4996	141.6494	164.9993	7.557963	130.5267	168.3493	6.588975
-300.628	-0.94643	92.51625	80.0008	107.6496	146.4494	164.9993	6.861412	77.72825	183.8993	3.282532
-40.8075	-0.41907	92.51625	80.0008	108.5496	161.4993	172.4493	5.238686	61.66697	191.0492	1.450564
-4.3071	-0.15694	93.59985	80.0008	105.1996	190.6992	174.1993	5.139675	76.50972	192.7992	1.154889
0	0	93.50625	80.0008	0	0	0	0	0	0	0
0	0	93.50625	80.0008	0	0	0	0	0	0	0

```

EUROSEM 2010 -----
STATIC SUMMARY FILE

CATCHMENT PARAMETERS
-----

Total number of elements: 96  Overland flow length : 3676
Total simulation time : 394.99  Time step : 0.05
Air temperature : 21°C

-----

PLANE 1, INPUT DATA-----

Element geometry:
Length: 30.74 m  Width : 31.68 m

Soil hydrology
Saturated hydraulic conductivity: 54.00 mm/h
Capillary drive: 296.01 mm  Porosity: 0.46 (fraction)
Moisture Initial: 0.20  Maximum: 0.42 v/v

Soil physical properties
D50: 9.42 µm  Specific gravity: 2.65 Mg/m3
Erodibility: 1.70 g/J  Cohesion: 5.00 kPa
Depth to non-erodible layer : 0.26 m
Soil particle detachment exponent: 2.00

Rocks
Rock fragment cover : 0.30 (fraction)
Rock fragment content : 0.08 v/v

Surface conditions
Number of rills: 1.00
Rill width: 0.00 m  Rill depth: 0.00 m  Rill side slope: 0.00
Slope: Rill: 0.04  Interrill: 0.04
Manning's N: Rill: 1.13  Interrill: 1.13
Roughness: 0.00 cm/m  Recession factor: 0.05 m
Rills dimensions are constant along the slope

```

**Figura 3.43.** Static output file. Parámetros de la cuenca y datos de los elementos.

**Tabla 3.12.** HYDSED. Escorrentía, infiltración, descarga y concentración de descarga de los sedimentos, para cada uno de los planos por unidad temporal.

#	EUROSEM 2010 -----	Plotting file GNUPLOT 4.2 compatible					
#	Hydrograph for element: 1						
#	Contributing area: 973.73 m <sup>2</sup> 0.097373 ha						
#	Time(min)	Rain(mm/h)	Infiltration(mm/h)	Runoff(mm/h)	Discharge(m <sup>3</sup> /min)	Sediment Coc.(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Sediment disch.(kg/min)
#	0	0	0	0	0	0	0
	0.05	0	0	0	0	0	0
	0.1	0	0	0	0	0	0
	0.15	0	0	0	0	0	0
	0.2	0	0	0	0	0	0
	0.25	0	0	0	0	0	0
	0.3	0	0	0	0	0	0
	0.35	0	0	0	0	0	0
	0.4	0	0	0	0	0	0
	0.45	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0
	0.55	0	0	0	0	0	0
	0.6	0	0	0	0	0	0
	0.65	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0	0	0	0	0
	0.75	0	0	0	0	0	0
	0.8	0	0	0	0	0	0
	0.85	0	0	0	0	0	0
	0.9	0	0	0	0	0	0
	0.95	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
	1.05	0	0	0	0	0	0
	1.1	0	0	0	0	0	0
	1.15	0	0	0	0	0	0
	1.2	0	0	0	0	0	0
	1.25	0	0	0	0	0	0

#### 3.4.1.3.4. Componente dinámico implementado en la ecuación de infiltración del modelo EuroSEM-2010

En el modelo EuroSEM, la infiltración después del tiempo de encharcamiento se simulaba mediante la ecuación de Smith y Parlange (1978). Con el fin de tener en cuenta que la permeabilidad cambia con el tiempo debido a los procesos de sellado e hidrofobia, se ha aplicado el modelo EuroSEM-2010, el cual modeliza la infiltración usando la ecuación de Morel-Seytoux (Morel-Seytoux y Verdin, 1981) con la modificación propuesta por Borselli (2010), e introduce un factor “k” (factor de conductividad hidráulica saturada dinámica) entre los datos de entrada “input” del modelo.

### 3.5. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El proceso de análisis de datos se realizó básicamente en dos etapas:

- 1) La primera etapa consistió en un análisis de los datos brutos y de las medias aritméticas de grupos de datos. Esta primera etapa tuvo como objetivo un conocimiento cercano de los datos y sus relaciones con las características de los puntos de muestreo, así como la familiarización con las características que presentaban las variables estudiadas, de manera que pudieran subsanarse o encontrar explicaciones a errores o hechos que pudieran quedar enmascarados con el análisis estadístico posterior.
- 2) La gran colección de datos finalmente conseguida obligó a una segunda etapa de análisis. En esta segunda etapa se emplearon algunas técnicas estadísticas (apartado 3.5.1) que sirvieran como resumen y selección de datos, y pusieran de relieve las relaciones e interacciones más relevantes entre las variables medidas.

#### 3.5.1. TEST ESTADÍSTICOS APLICADOS

El proceso de análisis de datos se realizó utilizando el paquete estadístico SPSS.

##### ▪ **Análisis de correlación: Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de correlación de Spearman**

- El coeficiente de correlación de **Pearson** ( $r$ ) es un coeficiente paramétrico que da la medida del grado de asociación entre dos variables. Este coeficiente asume que las variables consideradas en la correlación han sido medidas en una escala nominal (Burt y Barber, 1996). Se define como:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right) \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right) / n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 / n} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 / n}}$$

donde:

- $x$  e  $y$  = Variables.
- $n$  = Número de casos.

- Su correspondiente no paramétrico es el coeficiente de correlación de **Spearman** ( $\rho$  ó  $R$  ó  $r_s$ ). Este coeficiente asume que las variables que se considera han sido medidas en una escala ordinal. Se define como:

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n \frac{[r(x_i) - r(y_i)]^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - 6 \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

donde:

- $d_i = r(x_i) - r(y_i)$ .
- $r(x_i)$  y  $r(y_i)$  = Variables  $x_i$  e  $y_i$  ordenadas por rangos.

- **Regresión lineal:** La regresión lineal se define como la ecuación que representa la relación lineal entre dos variables de la siguiente manera:

$$y = a + bx \pm \epsilon$$

donde:

- $y$  = Variable dependiente, llamada también variable de respuesta o variable endógena.
- $x$  = Variable independiente o variable exógena.
- $a$  = Constante.
- $b$  = Pendiente de la línea de regresión.
- $\epsilon$  = Error estándar.

El objetivo de una regresión lineal es ajustar una recta a través de los puntos que representan la relación entre dos variables  $x$  e  $y$ . El método de ajuste más utilizado es el de mínimos cuadrados, donde las desviaciones el cuadrado de los puntos observados se minimizan.

- **Regresión no lineal:** En muchas ocasiones la relación entre dos variables no se ajusta a una ecuación de tipo lineal, pero a otras ecuaciones que definen líneas curvas de tipo parabólico, exponencial, logarítmico etc.

$$y = a - b_1x_1 + b_2x_1^2 \pm \epsilon$$

que gráficamente se define por una parábola ascendente ó

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_1^2 \pm \epsilon$$

que gráficamente se define por una parábola descendente.

También se han realizado ajustes del tipo logarítmico definidos por:

$$y = a + b \log x_i \pm \epsilon$$

- **Coefficiente de determinación  $r^2$ :** Este coeficiente se puede interpretar como la variación total en la variable  $y$  que se explica por la regresión de la variable  $x$ . Cuando  $ESS$  (el error de la variación) = 0, se da un ajuste perfecto y  $r^2 = 1$ , lo cual significa que el 100% de la variación de  $y$  queda explicada. Cuando  $ESS = TSS$  (la variación total o la suma total de los cuadrados),  $r^2 = 0$  y la variable  $x$  no tiene valor para predecir explicando el 0 % de la variación total (Burt y Barber, 1996). Se define de la siguiente manera:

$$r^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} = \frac{RSS}{TSS}$$

donde:

- $RSS$  = Variación explicada o la regresión de la suma de cuadros.

- **Análisis cluster:** Dentro de los análisis jerárquicos se ha utilizado el análisis *cluster*. Este tipo de análisis es una técnica de clasificación de objetos en grupos más o menos homogéneos y distintos entre sí. Existen varios tipos de análisis *cluster*. El utilizado en este trabajo ha sido el *cluster* en árbol (*Tree clustering*), siendo el propósito de esta técnica reunir objetos en clusters progresivamente más grandes utilizando alguna medida de similaridad o distancia. El resultado típico de este tipo de análisis *cluster* se expresa mediante un árbol de relaciones jerárquicas. Existen distintas técnicas de medir las distancias entre los objetos al formar los *cluster*, el método más utilizado y el que se ha adaptado en este trabajo es la distancia euclidiana definida como:

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}{m}}$$

donde:

- $d_{ij}$  = Distancia euclidiana entre los objetos  $i$  y  $j$ .
- $x_{ik}$  = Variable  $k$  medida en el objeto  $i$ .
- $x_{jk}$  = Variable  $k$  medida en el objeto  $j$ .
- $m$  = Número de variables medidas en cada objeto.

Una distancia baja indica que los objetos son similares o están muy juntos (Davis, 1986).

- **Análisis de componentes principales:** Ésta es una técnica de clasificación que entra en el grupo conocido como técnicas de análisis factorial. Tiene como objeto reducir el número de variables. Esta técnica se utiliza para examinar las relaciones entre variables e identificar aquellas combinaciones lineales más "eficientes", lo que significa que explican los porcentajes más altos de la varianza total (Davis, 1986; Norussis, 1996). Cada factor extraído está representando así la combinación de dos datos variables que se encuentran bien relacionadas. Además a cada factor le corresponde un autovalor (*eigenvalue*), que es la varianza de cada nuevo factor extraído. Un problema es decidir el número de factores que se quieren extraer, para lo cual se pueden utilizar diferentes criterios. En este trabajo el número de componentes o de factores a extraer se ha basado en el criterio de Kaiser por el cual sólo se retienen factores o componentes con autovalores mayores que 1, lo cual significa que al menos cada factor extrae al menos el equivalente a cada variable original.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO**















#### **4.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO**

##### **4.1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO**



En los diferentes puntos de muestreo que coinciden con los microambientes elegidos se tomaron las muestras de suelo, tal y como se ha descrito en el apartado de materiales y métodos. En las tablas 4.1 y 4.2 se describen las características morfológicas de los mencionados puntos de muestreo.

## 4.1.1.1.1. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba

Tabla 4.1. Características morfológicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela Campo Arriba.

Muestra		Fotografía	Color	Estructura	Poros	Fragmentos rocosos	Nódulos	Restos biológicos	Raíces
Pasillo desnudo (0.1.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 5/4. Pardo	Débil, mediana y granular	Pocos, medianos y continuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Débil, mediana y granular	Frecuentes, muy finos y continuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Thymus vulgaris</i> (0.2.)	Hor. A <sub>1</sub>		5 YR → 4/6. Rojo amarillento	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-	Muy pocas y medianas (2-5 mm)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (0.3.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 3/4. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/4. Pardo	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, finos y continuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Cistus albidus</i> (0.4.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 4/6. Pardo intenso	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Brachypodium retusum</i> (0.5.)	Hor. A <sub>1</sub>		5 YR → 3/3. Pardo rojizo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Muy pocos (0-5% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales y caracoles	Pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		5 YR → 3/4. Pardo rojizo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Ulex parviflorus</i> (0.6.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 3/2. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/1. Gris muy oscuro	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, medianos y continuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y finas (1-2 mm)
<i>Lavandula latifolia</i> (0.7.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 4/4. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Abundantes (40-80% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales y caracoles	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/4. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Abundantes (40-80% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales y semillas	Muy pocas y finas (1-2 mm)









<i>Pasillo pedregoso</i> (0.8.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 5/4. Pardo	Débil, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/6. Pardo intenso	Débil, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Santolina chamaecyparissus</i> (0.9.)	Hor. A <sub>1</sub>		10 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, muy finos y continuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		10 YR → 3/4. Pardo amarillento oscuro	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, muy finos y continuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales y semillas	Muy pocas y medianas (2-5 mm)

#### 4.1.1.1.2. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo

Tabla 4.2. Características morfológicas de las muestras de suelo tomadas en la parcela Campo Abajo.

Muestra	Fotografía	Color	Estructura	Poros	Fragmentos rocosos	Nódulos	Restos biológicos	Raíces
<i>Pasillo desnudo</i> (1.1.)		10 YR → 3/3. Pardo oscuro	Débil, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Excrementos	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		10 YR → 4/4. Pardo amarillento oscuro	Débil, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-
<i>Thymus vulgaris</i> (1.2.)		7.5 YR → 3/4. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales y caracol	Pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, finos y continuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	-
<i>Juniperus oxycedrus</i> (1.3.)		7.5 YR → 3/4. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, medianos y continuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Restos vegetales, semillas y caracoles	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Frecuentes, medianos y continuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm ) y angulares	Presencia	Caracoles

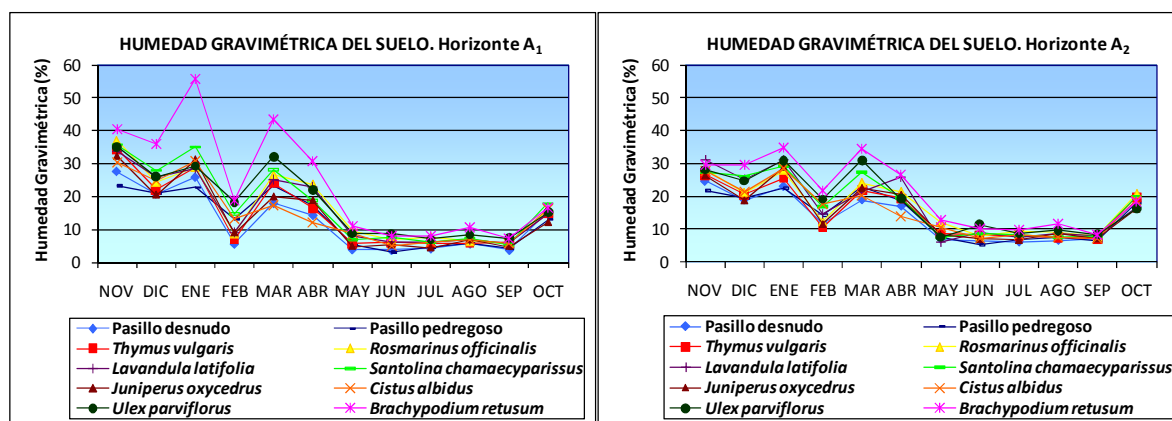
<i>Cistus albidus</i> (1.4.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales y semillas	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales y semillas	Muy pocas y medianas (2-5 mm)
<i>Brachypodium retusum</i> (1.5.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/3. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y finas (1-2 mm)
<i>Ulex parviflorus</i> (1.6.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Excrementos	Pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 3/4. Pardo oscuro	Moderada, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y finas (1-2 mm)
<i>Lavandula latifolia</i> (1.7.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
<i>Pasillo pedregoso</i> (1.8.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 5/4. Pardo	Débil, mediana y granular	Pocos, gruesos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	-	Muy pocas y muy finas (0-1 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 5/4. Pardo	Débil, mediana y granular	Pocos, medianos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	-	Muy pocas y finas (1-2 mm)
<i>Santolina chamaecyparissus</i> (1.9.)	Hor. A <sub>1</sub>		7.5 YR → 4/2. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Frecuentes (15-40% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales y semillas	Muy pocas y finas (1-2 mm)
	Hor. A <sub>2</sub>		7.5 YR → 4/3. Pardo	Moderada, mediana y granular	Pocos, finos y discontinuos	Pocos (5-15% ), gravas (0-7,5 cm) y angulares	Presencia	Restos vegetales	Muy pocas y finas (1-2 mm)

#### 4.1.1.2. HUMEDAD DEL SUELO

##### 4.1.1.2.1. Humedad gravimétrica del suelo. Variabilidad temporal y espacial

###### 4.1.1.2.1.1. Variación anual de la humedad gravimétrica del suelo

Para estudiar la variación anual de la humedad gravimétrica del suelo, se han analizado los resultados mensuales obtenidos en los diferentes puntos de muestreo a lo largo del año de seguimiento (figura 4.1), tanto en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) como en las subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).



**Figura 4.1.** Variación de la humedad gravimétrica del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

Durante los meses de otoño-invierno noviembre, diciembre y enero (excepto febrero) todas las muestras de suelo, especialmente bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, experimentan un brusco aumento del contenido de humedad gravimétrica, tanto en horizontes superficiales como subsuperficiales. En primavera (desde marzo a mayo), la humedad inicia una disminución progresiva que se mantiene hasta septiembre, observándose este descenso en prácticamente todas las muestras de suelo superficiales y subsuperficiales. El período comprendido entre los meses de mayo y septiembre, es el que registra los menores valores de humedad gravimétrica, con ligeras variaciones entre un mes y otro. Iniciándose a partir de octubre el ascenso otoñal, tanto en los suelos superficiales como subsuperficiales, después de los contenidos tan bajos de humedad obtenidos en los meses estivales.

Tras analizar conjuntamente los resultados de la humedad gravimétrica del suelo, obtenidos en las dos profundidades de muestreo de cada microambiente seleccionado (figura 4.2), se detecta una cierta similitud entre puntos de muestreo respecto a la variación del contenido de humedad gravimétrica del suelo a lo largo del año.

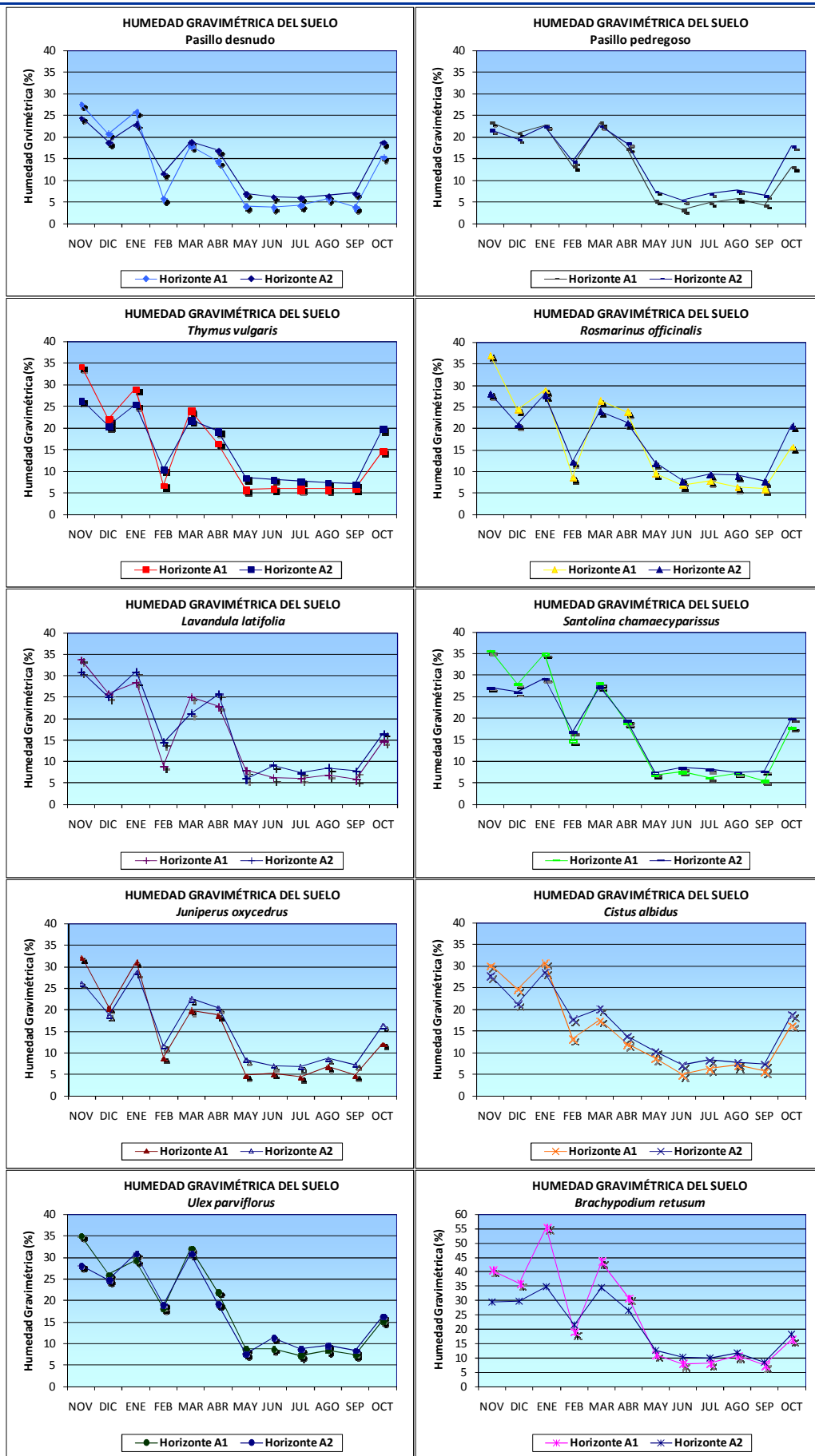


Figura 4.2. Humedad gravimétrica del suelo obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>), de cada punto de muestreo.

\* En las muestras correspondientes al pasillo desnudo y en las tomadas bajo las especies *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus*, la humedad gravimétrica del suelo presenta la siguiente evolución:

- Desde noviembre hasta enero: Horizonte A<sub>1</sub> > Horizonte A<sub>2</sub>.
- Desde febrero hasta octubre: Horizonte A<sub>2</sub> > Horizonte A<sub>1</sub>.

\* En el caso de las muestras tomadas en el pasillo pedregoso y bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris* y *Santolina chamaecyparissus*, el contenido de humedad gravimétrica varía a lo largo del año de la manera siguiente:

- Desde noviembre hasta enero, y en marzo: Horizonte A<sub>1</sub> > Horizonte A<sub>2</sub>.
- En febrero, y desde abril hasta octubre: Horizonte A<sub>2</sub> > Horizonte A<sub>1</sub>.

\* Otros puntos de muestreo que presentan semejanza respecto a la variación anual del contenido de humedad gravimétrica, son los tomados bajo las especies *Rosmarinus officinalis* y *Brachypodium retusum*, coincidiendo de la siguiente forma:

- Desde noviembre hasta enero, y desde marzo hasta abril: Horizonte A<sub>1</sub> > Horizonte A<sub>2</sub>
- En febrero, y desde mayo hasta octubre: Horizonte A<sub>2</sub> > Horizonte A<sub>1</sub>.

En general, coincide un aumento de humedad en los horizontes superficiales para los meses húmedos y disminución para los secos, y un mayor contenido de humedad en los meses secos en los subsuperficiales con valores superiores para las especies herbáceas.

#### 4.1.1.2.1.2. Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual

En las figuras 4.3 y 4.4 se muestran los valores máximos, mínimos y medios mensuales y anuales, obtenidos de humedad gravimétrica del suelo en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

\* Humedad gravimétrica del suelo **MÁXIMA mensual y anual:**

Los contenidos **máximos mensuales** de humedad gravimétrica se obtienen en el mes de enero, seguido de los meses de marzo, noviembre y diciembre, en ambos horizontes de los suelos.

Los suelos bajo especies herbáceas (*Brachypodium retusum*) son los que presentan los niveles **máximos anuales** de humedad gravimétrica (55,55% en superficial y 34,66% en subsuperficial). Le siguen con contenidos inferiores, en las muestras superficiales los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (36,98%), *Santolina chamaecyparissus* (35,76%) y *Ulex parviflorus* (35,08%), y en las muestras subsuperficiales los suelos bajo *Lavandula latifolia* (31,07%), *Ulex parviflorus* (30,91%) y *Santolina chamaecyparissus* (29,25%).

\* Humedad gravimétrica del suelo **MÍNIMA mensual y anual:**

Los contenidos **mínimos mensuales** de humedad gravimétrica se observan, en ambos horizontes, durante el período entre mayo y septiembre, siendo en el mes de junio cuando se detecta el contenido más bajo de humedad gravimétrica del suelo.

Los niveles **mínimos anuales** de humedad gravimétrica corresponden al suelo del pasillo pedregoso en ambos horizontes (3,21% en superficial y 5,38% en subsuperficial). Le siguen con contenidos bajos de humedad, los suelos superficiales del pasillo desnudo (3,84%), y bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (4,38%) y *Cistus albidus* (4,93%); y en el caso de los suelos subsuperficiales se obtienen valores inferiores de humedad bajo la especie

*Lavandula latifolia* (5,94%), también en el pasillo desnudo (6,05%) y bajo *Juniperus oxycedrus* (6,83%).

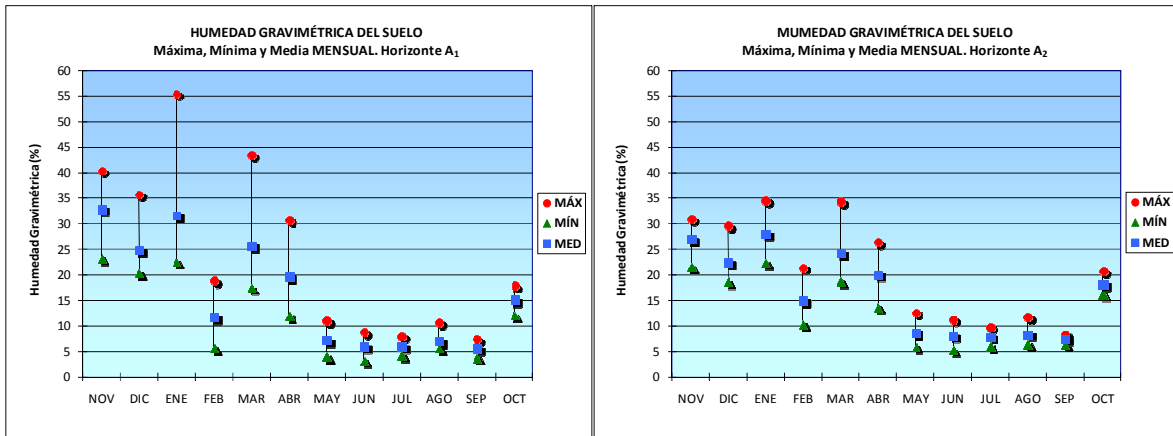


Figura 4.3. Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media mensual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

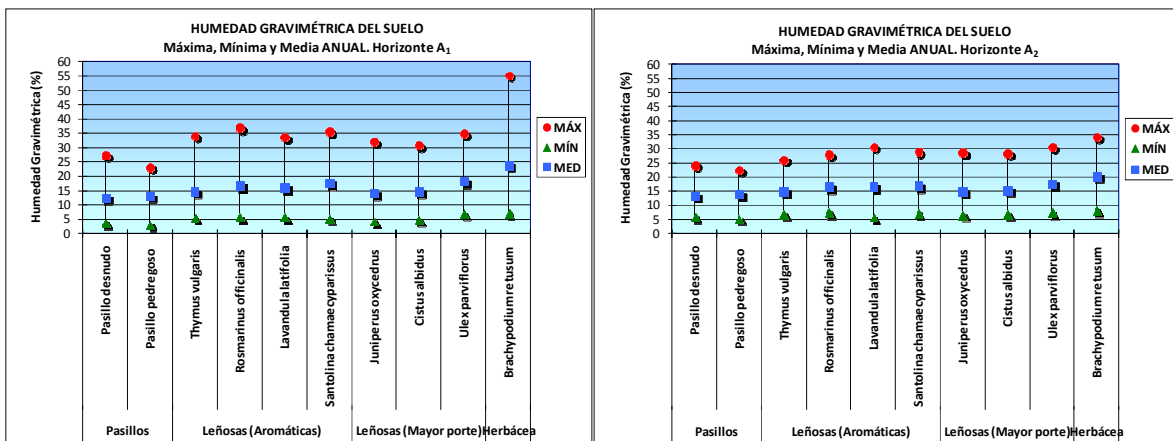


Figura 4.4. Humedad gravimétrica del suelo máxima, mínima y media anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

\* Humedad gravimétrica del suelo **MEDIA mensual y anual**:

Los niveles **medios mensuales** de la humedad gravimétrica del suelo (figura 4.5) son más elevados en el mes de noviembre (33% en horizonte A<sub>1</sub> y 27,08% en horizonte A<sub>2</sub>), y en enero (31,70% en A<sub>1</sub> y 28,22% en A<sub>2</sub>). Seguidamente el mes de marzo (25,79% en horizonte A<sub>1</sub> y 24,39% en horizonte A<sub>2</sub>), y en diciembre (24,90% en A<sub>1</sub> y 22,55% en A<sub>2</sub>). Por tanto en el período más lluvioso, comprendido desde el mes de noviembre hasta enero y el mes de marzo, la humedad gravimétrica media mensual es mayor en los suelos superficiales (A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub>).

Mientras que los contenidos más bajos de humedad gravimétrica se detectan durante el período comprendido desde mayo hasta septiembre, con mayores variaciones en superficie (7,28% en mayo a 5,68% en septiembre), que en profundidad (8,76% en mayo a 7,53% en septiembre). En las muestras superficiales, se registra en el mes de junio (6,06%) el menor contenido medio de humedad gravimétrica, observándose un ligero aumento en los dos meses siguientes, julio (6,09%) y agosto (7,08%). Contrariamente en el caso de las muestras subsuperficiales, a partir de junio (8,13%) disminuye (julio, 7,97%), volviendo a aumentar en agosto (8,44%).

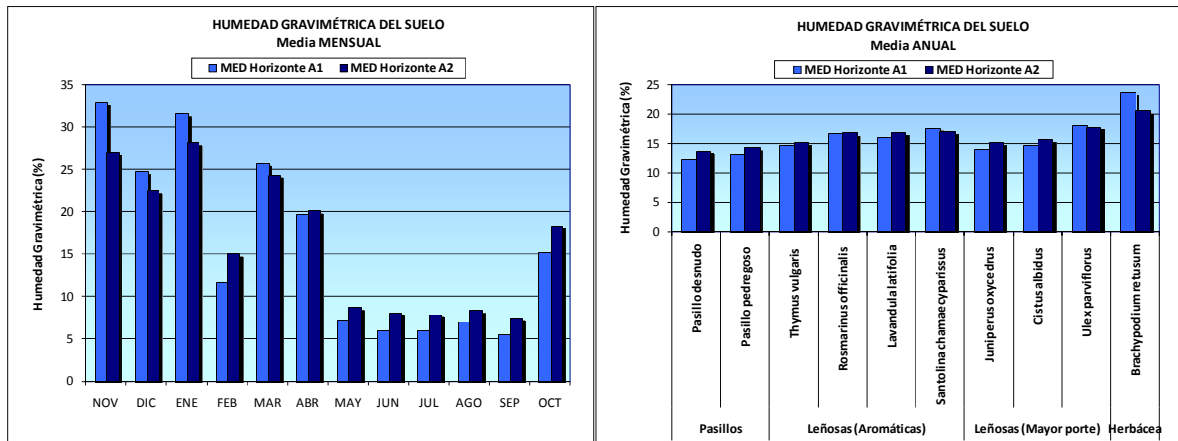


Figura 4.5. Humedad gravimétrica del suelo media mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

Como conclusión, se observa que en el mes de febrero así como en el período comprendido desde el mes de abril hasta octubre, la humedad gravimétrica del suelo media mensual alcanza mayores contenidos en los horizontes subsuperficiales que en los superficiales ( $A_1 < A_2$ ). Estas observaciones permiten deducir que en los períodos más fríos y húmedos, la humedad del suelo es más elevada en el horizonte superficial ( $A_1$ ) que en profundidad ( $A_2$ ), ocurriendo lo contrario en los meses más secos y calurosos del año, pues debido a las altas temperaturas que se registran en estos períodos, el contenido en humedad en superficie se pierde por evaporación, manteniéndose en las capas de suelo situadas a mayor profundidad.

A continuación se representan de nuevo los contenidos medios mensuales de la humedad gravimétrica del suelo, concretamente los obtenidos en el horizonte superficial, al objeto de relacionarlos por una parte con las precipitaciones, y por otra parte con las temperaturas medias del aire, datos climáticos registrados en la estación climatológica ubicada en la zona de estudio durante el período de muestreo.

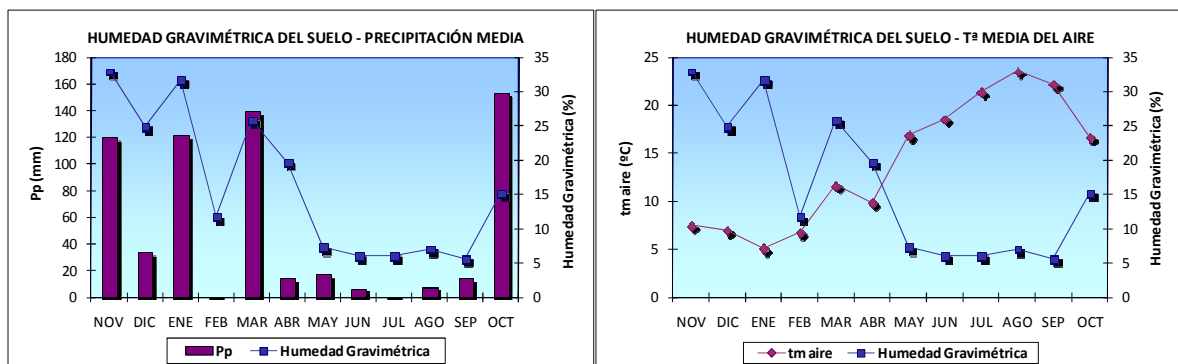


Figura 4.6. Humedad gravimétrica del suelo media mensual obtenida en las muestras superficiales ( $A_1$ ), relacionada con la precipitación media y con la temperatura media del aire, datos registrados a lo largo del año en la estación climatológica de la zona de estudio.

Los valores de humedad gravimétrica a lo largo del año presentan relaciones directas con las precipitaciones medias registradas, e inversas con las temperaturas medias del aire obtenidas en la estación meteorológica (figura 4.6).

Los contenidos **medios anuales** de la humedad gravimétrica del suelo son siempre mayores bajo *Brachypodium retusum* (23,89% en superficial y 20,65% en subsuperficial). Le siguen los valores de humedad gravimétrica registrados en los suelos bajo las especies *Ulex parviflorus* (18,21% en horizonte A<sub>1</sub> y 17,90% en horizonte A<sub>2</sub>) y *Santolina chamaecyparissus* (17,64% en A<sub>1</sub> y 17,14% en A<sub>2</sub>). Mientras que los menores niveles de humedad gravimétrica se alcanzan en los suelos correspondientes a ambos pasillos, desnudo y pedregoso (12,43% y 13,10% en superficial, y 13,80% y 14,39% en subsuperficial, respectivamente), así como bajo las especies *Juniperus oxycedrus* y *Thymus vulgaris* (14,15% y 14,75% en horizonte A<sub>1</sub>, y 15,26% y 15,25% en horizonte A<sub>2</sub>, respectivamente).

A partir de los niveles medios anuales obtenidos de humedad gravimétrica del suelo podemos resumir:

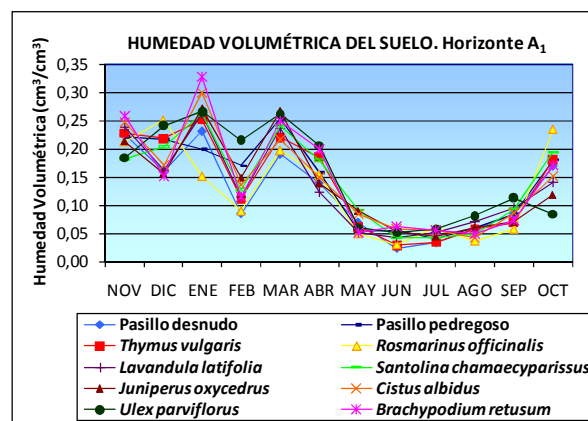
\* La humedad gravimétrica media anual es mayor en el horizonte más superficial que en el horizonte subsuperficial ( $A_1 > A_2$ ), tan sólo en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*.

\* La humedad gravimétrica del suelo media anual registra un mayor contenido en el horizonte subsuperficial que en el superficial ( $A_1 < A_2$ ), en el resto de los puntos de muestreo, como son los suelos correspondientes al pasillo desnudo y pasillo pedregoso, así como los suelos bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia*, *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus*.

#### 4.1.1.2.2. Humedad volumétrica del suelo en las muestras inalteradas. Variabilidad temporal y espacial

##### 4.1.1.2.2.1. Variación anual de la humedad volumétrica del suelo en las muestras inalteradas

La variación anual de la humedad volumétrica del suelo se analiza agrupando los resultados mensuales obtenidos en los diferentes puntos de muestreo a lo largo del año de seguimiento (figura 4.7).



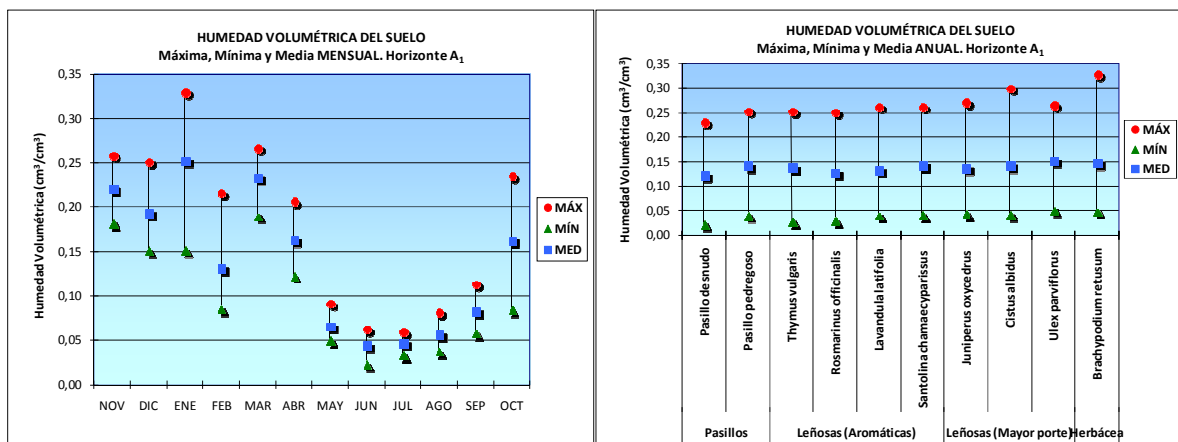
**Figura 4.7.** Variación de la humedad volumétrica del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).



En el mes de diciembre se observa una disminución en los niveles de humedad volumétrica del suelo respecto al mes de noviembre en prácticamente todos los puntos de muestreo, a excepción de los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* y *Ulex parviflorus* donde se incrementan. Para el mes de enero, en la mayoría de los suelos se obtiene un aumento en los contenidos de humedad volumétrica, siendo las únicas excepciones los suelos del pasillo pedregoso y bajo *Rosmarinus officinalis*. En febrero en todos los puntos de muestreo se ha observado un importante descenso en los niveles de humedad volumétrica. Seguidamente en el mes de marzo, se experimenta un incremento generalizado en todos los suelos. Mientras que contrariamente, en abril y meses sucesivos, mayo, junio (excepción para el pasillo pedregoso y bajo *Brachypodium retusum*) y julio, se obtiene un descenso en los contenidos de humedad volumétrica en todos los suelos. Pero en los meses siguientes, agosto, septiembre, octubre y noviembre, los contenidos de humedad volumétrica se van incrementando progresivamente, a excepción de los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* y *Brachypodium retusum* (en agosto), y bajo *Ulex parviflorus* (en el mes de octubre).

#### 4.1.1.2.2.2. Humedad volumétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, en las muestras inalteradas

Los contenidos de humedad volumétrica del suelo máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, obtenidos en los diferentes puntos de muestreo se muestran en la figura 4.8.



**Figura 4.8.** Humedad volumétrica del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

#### \* Humedad volumétrica del suelo **MÁXIMA mensual y anual:**

Los niveles **máximos mensuales** de la humedad volumétrica del suelo se alcanzan en el mes de enero, seguido de los meses de marzo, noviembre y diciembre, al igual que ocurre con la humedad gravimétrica.

Los contenidos **máximos anuales** de la humedad volumétrica se obtienen en el suelo bajo la especie *Brachypodium retusum* (0,33 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>). Seguido de los suelos bajo *Cistus albidus* (0,30 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>), *Juniperus oxycedrus* (0,27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>), *Ulex parviflorus* (0,27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>), y por último los obtenidos en los suelos bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia* (0,26 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) y *Santolina chamaecyparissus* (0,26 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>).

\* Humedad volumétrica del suelo **MÍNIMA mensual y anual:**

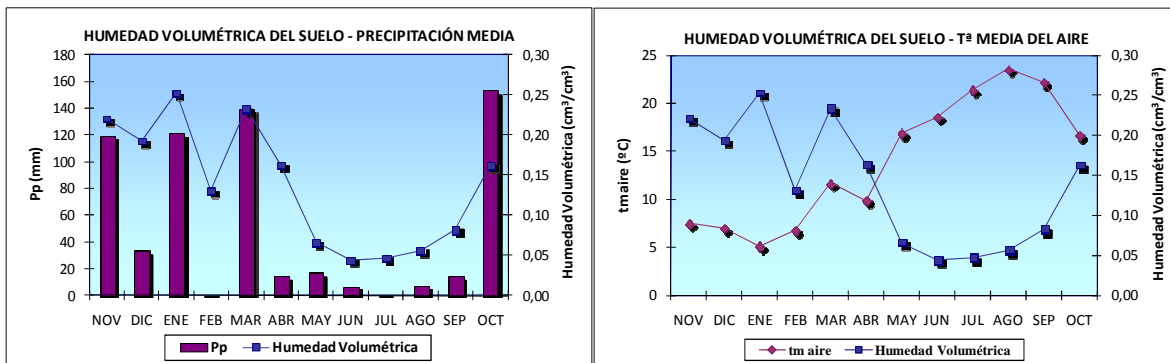
En relación a los niveles **mínimos mensuales** de la humedad volumétrica del suelo, el contenido más bajo se registra en el mes junio (al igual que se observa en la humedad gravimétrica), seguido de los meses estivales de julio y agosto.

Respecto a los contenidos **mínimos anuales**, se registran los valores más bajos en el pasillo desnudo ( $0,02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), junto a los suelos bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris* ( $0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) y *Rosmarinus officinalis* ( $0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ).

\* Humedad volumétrica del suelo **MEDIA mensual y anual:**

Los niveles **medios mensuales** más altos de la humedad volumétrica del suelo se registran en el mes de enero ( $0,25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), seguido de los meses de marzo ( $0,23 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), noviembre ( $0,22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) y diciembre ( $0,19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ). Posteriormente le siguen los contenidos de humedad obtenidos en los meses de abril ( $0,16 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), octubre ( $0,16 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) y febrero ( $0,13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), mientras que los menores valores ocurren durante el período comprendido desde el mes de mayo al de septiembre. En mayo se observa un nivel de humedad de  $0,07 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , registrándose en junio el contenido más bajo ( $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), observándose a partir de este mes un ligero aumento hasta el mes de octubre, dado que en el mes de julio se alcanza un contenido de humedad de  $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , en el mes de agosto un nivel de  $0,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y en septiembre un contenido de  $0,08 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ .

Comparando gráficamente los contenidos medios mensuales de la humedad volumétrica del suelo, con las precipitaciones medias y con las temperaturas medias del aire (datos climáticos registrados en la estación climatológica ubicada en la zona de estudio durante el período de muestreo), se observa que la evolución de la humedad volumétrica media mensual se relaciona directamente con las precipitaciones registradas, e inversamente con las temperaturas medias del aire (figura 4.9).



**Figura 4.9.** Humedad volumétrica del suelo media mensual, relacionada con la precipitación y con la temperatura media del aire, datos registrados a lo largo del año en la estación climatológica de la zona de estudio.

En cuanto a los valores **medios anuales** de la humedad volumétrica del suelo, se detectan los mayores contenidos a lo largo del año bajo las especies *Ulex parviflorus* ( $0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), *Brachypodium retusum* ( $0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) y *Santolina chamaecyparissus* ( $0,14 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ), mientras que los menores valores se obtienen en el pasillo desnudo ( $0,12 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) y bajo *Rosmarinus officinalis* ( $0,13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ).

#### 4.1.1.2.3. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas sometidas a diferentes presiones. Variabilidad espacial

##### 4.1.1.2.3.1. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas a diferentes presiones. Curvas de humedad

En la figura 4.10 se representa la curva característica de humedad obtenida en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), tras haber sido sometidas a diferentes presiones.

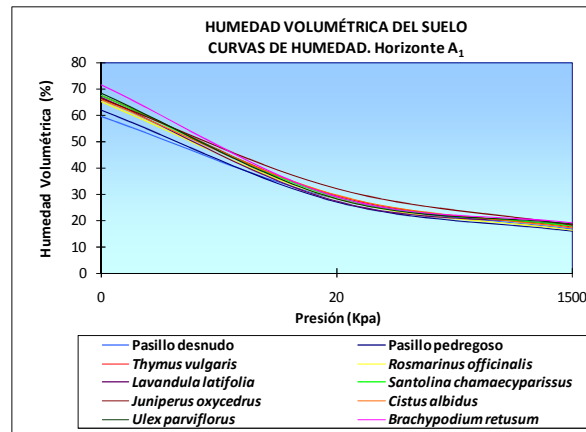


Figura 4.10. Curva característica de humedad obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

A presión de **0-20 Kpa**, el suelo bajo la especie *Brachypodium retusum* posee mayor porcentaje de humedad volumétrica y macroporosidad, con valores altos de **agua gravitacional** que se drena rápidamente al estar retenida a muy baja tensión. En cambio los suelos de los pasillos, con menores porcentajes de humedad volumétrica, son los que poseen menor cantidad de macroporos.

A la presión de **20 Kpa**, correspondiente al agua a **capacidad de campo (C.C.)**, aquella que queda en el suelo una vez ha perdido el agua gravitacional, el suelo bajo la especie *Juniperus oxycedrus* (32,04%) posee mayor porcentaje de humedad volumétrica. Le siguen los suelos bajo *Cistus albidus* (29,48%), *Thymus vulgaris* (29,35%), *Brachypodium retusum* (28,77%), *Santolina chamaecyparissus* (28,70%), *Ulex parviflorus* (28,25%) y *Rosmarinus officinalis* (28,18%). Mientras que los porcentajes más bajos de humedad volumétrica (Capacidad de Campo), corresponden a los pasillos (26,87% pedregoso y 28,14% desnudo), y al suelo bajo *Lavandula latifolia* (27,15%).

A la presión de **1500 Kpa**, correspondiente al **punto de marchitamiento (P.M.)**, se encuentra el agua higroscópica retenida a una alta tensión en las arcillas y la retenida por fuerzas matriciales de absorción y capilar en los microporos. El suelo bajo la especie *Brachypodium retusum* es el que registra el mayor contenido de humedad volumétrica en el punto de marchitamiento, siendo el porcentaje alcanzado de 18,85%. A continuación le siguen con niveles de humedad volumétrica ligeramente inferiores, los suelos bajo las especies *Ulex parviflorus* (18,79%), *Juniperus oxycedrus* (18,33%) y *Lavandula latifolia* (18,12%). Con valores intermedios (17-18%), se mantiene la humedad bajo *Santolina chamaecyparissus* (17,77%) y *Thymus vulgaris* (17,60%). Obteniéndose los contenidos más bajos de humedad volumétrica a 1500 Kpa, en los pasillos (pedregoso 15,73% y desnudo 16,75%), y bajo las especies *Rosmarinus officinalis* (16,30%) y *Cistus albidus* (16,95%).

#### 4.1.1.2.3.2. Humedad volumétrica del suelo en muestras alteradas a diferentes presiones. Agua útil del suelo

Por diferencia entre los valores alcanzados en la capacidad de campo (C.C.) y en el punto de marchitamiento (P.M.) se obtiene el **agua útil** (figura 4.11), es decir, el agua neta disponible para las plantas.

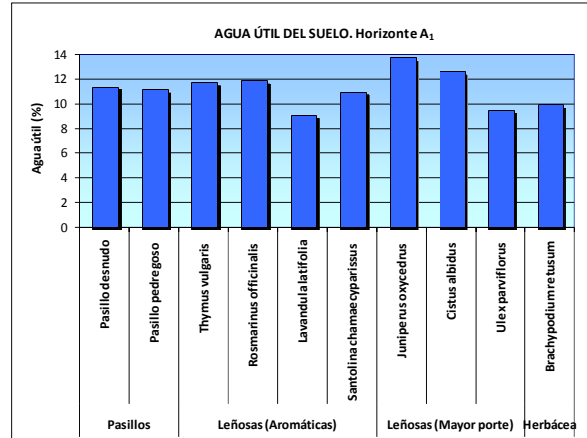


Figura 4.11. Agua útil del suelo obtenida en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

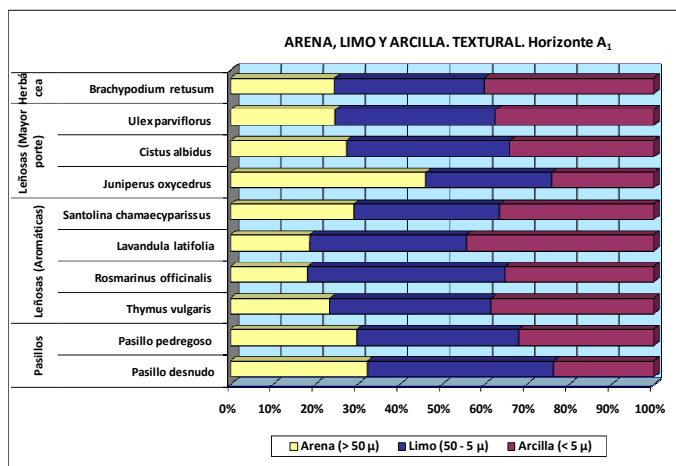
De todos los puntos de muestreo, es bajo *Juniperus oxycedrus* donde se presenta el mayor porcentaje de agua útil (13,71%). Posteriormente los niveles detectados en los suelos bajo las especies *Cistus albidus* (12,54%), *Rosmarinus officinalis* (11,88%) y *Thymus vulgaris* (11,75%). Intermedios los suelos de ambos pasillos, desnudo (11,39%) y pedregoso (11,13%). Y los más bajos de agua útil bajo *Lavandula latifolia* (9,03%), *Ulex parviflorus* (9,46%), *Brachypodium retusum* (9,92%) y *Santolina chamaecyparissus* (10,93%), suelos con mayor cantidad de microporos y arcillas, luego mayor cantidad de agua fuertemente retenida por la estructura del suelo, impidiendo que las plantas puedan vencer esa tensión para poder utilizar el agua.

#### 4.1.1.3. TEXTURA DEL SUELO

En el análisis de la textura realizado con el Coulter se han obtenido, tanto los porcentajes de arena, limo y arcilla, como el diámetro medio de las partículas.

##### 4.1.1.3.1. Porcentajes de arena, limo y arcilla textural. Variabilidad espacial

Los porcentajes de arena, limo y arcilla de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), se representan en la figura 4.12.



**Figura 4.12.** Porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

La clase textural de los suelos va desde franca a arcillosa, variando ligeramente en función de su localización. En función de su posición en el espacio, en el estudio cuantitativo de partículas de arena, limo y arcilla de las muestras de suelo analizadas, se distinguen cuatro tipos de clases texturales:

- **Franca:** en pasillo desnudo y bajo *Juniperus oxycedrus*.
- **Franco arcillo-limosa:** bajo *Rosmarinus officinalis*.
- **Franco arcillosa:** clase textural predominante en el pasillo pedregoso, y bajo *Thymus vulgaris*, *Santolina chamaecyparissus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*.
- **Arcillosa:** en los suelos bajo las especies *Lavandula latifolia* y *Brachypodium retusum*.

#### 4.1.1.3.2. Diámetro medio de las partículas (textural). Variabilidad espacial

La figura 4.13 muestra los valores de diámetro medio de las partículas, obtenidos en las muestras de suelo superficiales.

Comparando los diferentes puntos de muestreo se observa como el suelo bajo *Juniperus oxycedrus* presenta el valor más alto de diámetro medio textural (20,48 μ), seguido del suelo correspondiente al pasillo desnudo (17,99 μ). Con valores intermedios en los suelos del pasillo pedregoso (12,66 μ) y bajo las especies *Cistus albidus* (12,24 μ), *Santolina chamaecyparissus* (11,25 μ) y *Thymus vulgaris* (10,53 μ). Obteniendo valores inferiores a 10 μ en los suelos bajo las especies *Ulex parviflorus* (9,69 μ), *Rosmarinus officinalis* (9,67 μ), *Brachypodium retusum* (9,38 μ) y *Lavandula latifolia* (8,50 μ).

Estas diferencias de aproximadamente 12 μ entre puntos de muestreo, se asocian con las características texturales de cada muestra.

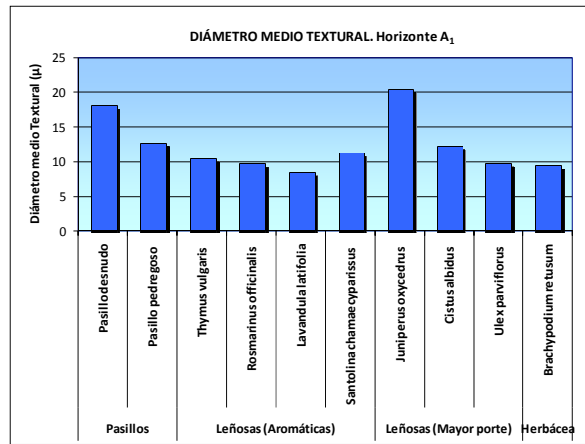


Figura 4.13. Diámetro medio de las partículas obtenido en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

#### 4.1.1.4. ESTRUCTURA DEL SUELO

##### 4.1.1.4.1. Macroagregación. Variabilidad temporal y espacial

El análisis de la macroagregación se basa:

- a) En la **distribución del tamaño de los agregados** desde >10 a <1 mm (>10 mm, 10-5 mm, 5-2 mm, 2-1 mm y <1 mm).
- b) En la **estabilidad de los agregados** en condiciones de suelo seco y húmedo.

##### 4.1.1.4.1.1. Distribución del tamaño de los agregados

El estudio de la distribución de los agregados por fracciones a nivel temporal, se ha realizado mensualmente a lo largo de un año. Para el análisis de la variabilidad espacial, se tomaron muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>), al igual que en el resto de muestreos.

##### 4.1.1.4.1.1.1. Variación anual de la distribución del tamaño de los agregados

En la figura 4.14 se muestra la variación anual de la distribución de agregados de diferente tamaño en las muestras superficiales y subsuperficiales. Su observación permite indicar que las mayores variaciones en ambos horizontes se producen en la fracción más grande (>10 mm) y en la fracción menor de 1 mm.

En la fracción mayor de 10 mm, la oscilación a lo largo del año para el horizonte A<sub>1</sub> varía en los diferentes puntos de muestreo, desde valores muy bajos (*Santolina chamaecyparissus* y *Juniperus oxycedrus*), hasta valores superiores al 30% (*Ulex parviflorus* y pasillo pedregoso). Esta variación es todavía mayor para el conjunto en los horizontes A<sub>2</sub>, con valores próximos a cero (*Juniperus oxycedrus*), hasta con un contenido superior al 40% en el pasillo pedregoso para el mes de enero (43,50%). No obstante, en ambos horizontes la tendencia es similar, aunque con mayor contenido de agregados grandes en esta fracción para el horizonte A<sub>2</sub>. Es en esta fracción donde se obtienen variaciones mayores para todos los puntos de muestreo, quizás se trate de la fracción más afectada por el efecto de las precipitaciones que rompen los agregados de gran tamaño en beneficio de otros de tamaños más pequeños como son los de 2-1 mm y menos de 1mm.

Para la fracción menor de 1 mm, la variación es igualmente acusada en ambos horizontes, en este caso ligeramente mayor para el horizonte A<sub>1</sub>, con oscilaciones entre 9 y 43% frente a 8 y 37% para el A<sub>2</sub>. El suelo en el pasillo desnudo presenta la mayor variación, junto al suelo bajo *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*, siendo en cambio bastante uniforme la variación mensual del suelo bajo las especies *Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*.

La distribución de agregados de tamaños intermedios, presenta mayores variaciones en el horizonte A<sub>1</sub> frente el A<sub>2</sub>, al contrario de lo que ocurría en las fracciones grandes (>10 mm). Las mayores oscilaciones se producen en los suelos de pasillos, destacando también puntualmente el suelo bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*.

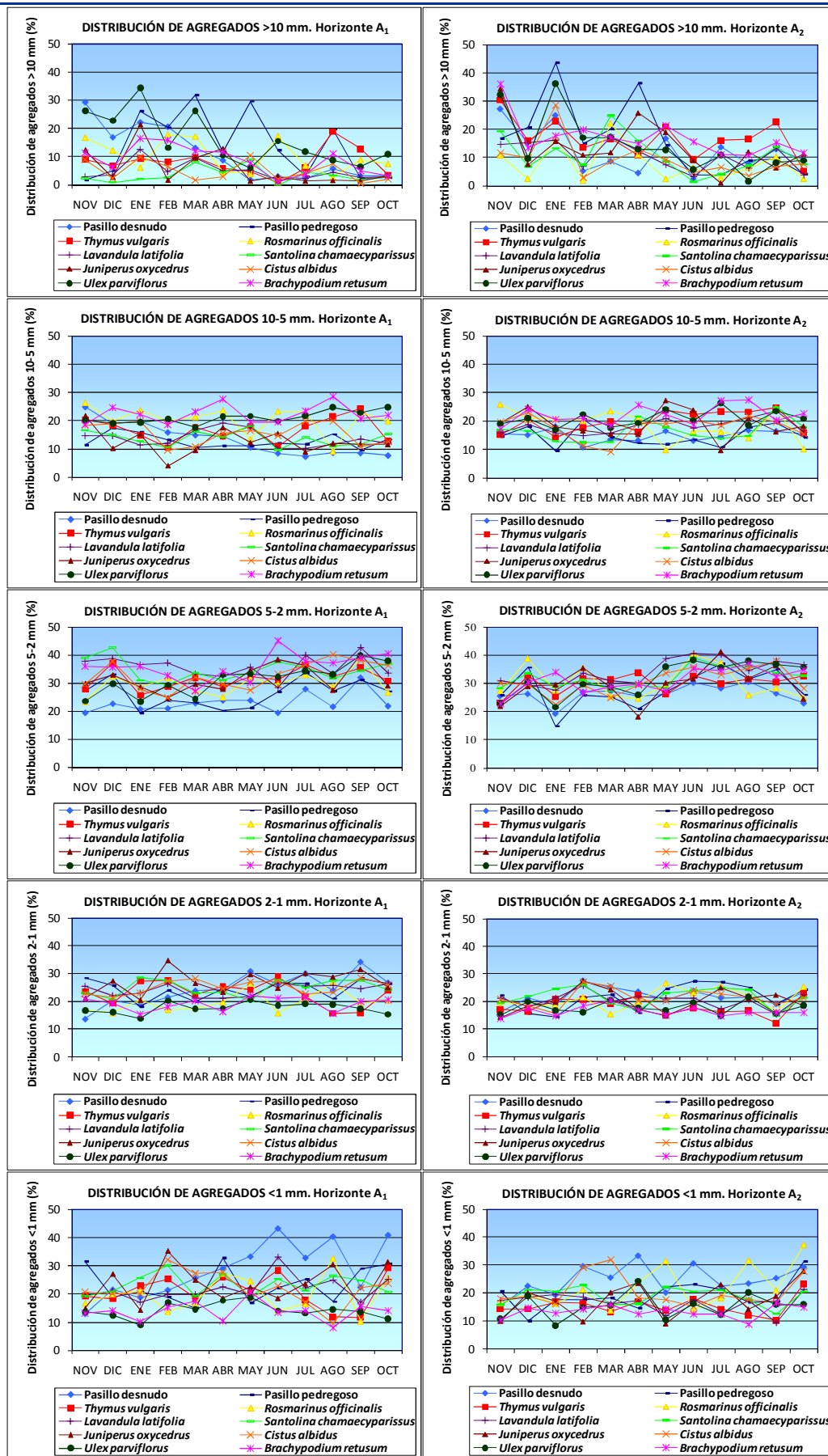
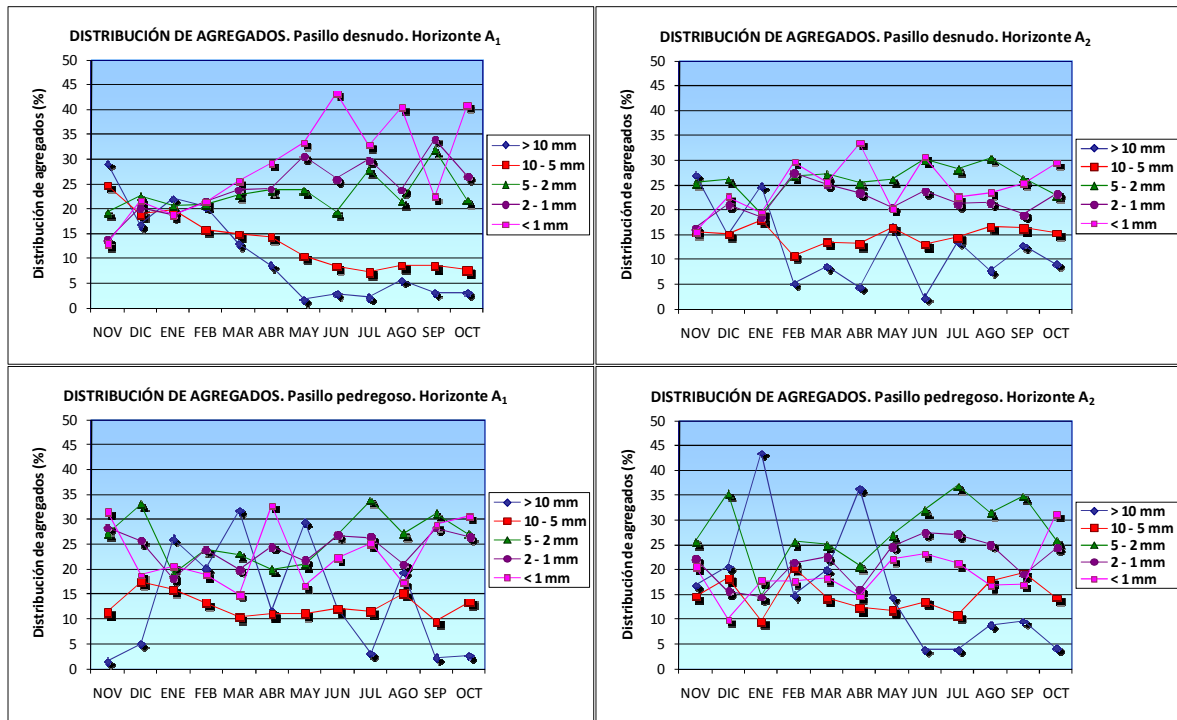


Figura 4.14. Variación de la distribución del tamaño de los agregados a lo largo del año en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (A<sub>2</sub>).



Las figuras de 4.15 a 4.18 representan la distribución de agregados obtenida para las distintas fracciones, tanto en las muestras superficiales ( $A_1$ ) como subsuperficiales ( $A_2$ ), en los distintos puntos de muestreo.



**Figura 4.15.** Distribución de los agregados por fracciones en los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso), en las muestras superficiales ( $A_1$ ) y subsuperficiales ( $A_2$ ).

En las muestras de suelo tomadas en el **pasillo desnudo**, la distribución de los agregados para las fracciones  $>10$  y de  $10-5$  mm en las muestras superficiales ( $A_1$ ) aumentan en la estación de invierno, descendiendo a partir de primavera hasta la estación estival donde se alcanzan los menores valores. En cambio, las fracciones de  $<1$  y de  $2-1$  mm evolucionan de manera contraria y a veces complementaria, disminuyendo en la estación invernal, incrementándose de forma gradual a partir de la primavera, y obteniendo en la época más calurosa y seca del año (estación estival) los porcentajes más altos en estas fracciones. Mientras que la fracción intermedia de  $5-2$  mm apenas sufre variación a lo largo del año, principalmente en las muestras subsuperficiales ( $A_2$ ).

En los suelos del **pasillo pedregoso** la fracción  $>10$  mm, aunque con grandes oscilaciones en función de la precipitación mensual, aumenta en la estación invernal, descendiendo a partir del mes de mayo, e incrementándose de forma puntual durante el mes de agosto. De forma similar ocurre en el horizonte  $A_2$ , pero con valores superiores en los meses de invierno. En cambio, en la fracción de  $10-5$  mm los porcentajes varían ligeramente a lo largo del año, tanto en las muestras superficiales como en las subsuperficiales. En la fracción intermedia de  $5-2$  mm los contenidos se mantienen elevados durante todo el año, y van incrementándose alcanzando los mayores valores en la estación de verano, si En cuanto a las fracciones más pequeñas, de  $<1$  y de  $2-1$  mm, también en la estación estival aumentan los contenidos en dichas fracciones en las muestras de ambos horizontes, predominando especialmente la fracción de  $2-1$  mm frente a la menor de  $1$  mm.

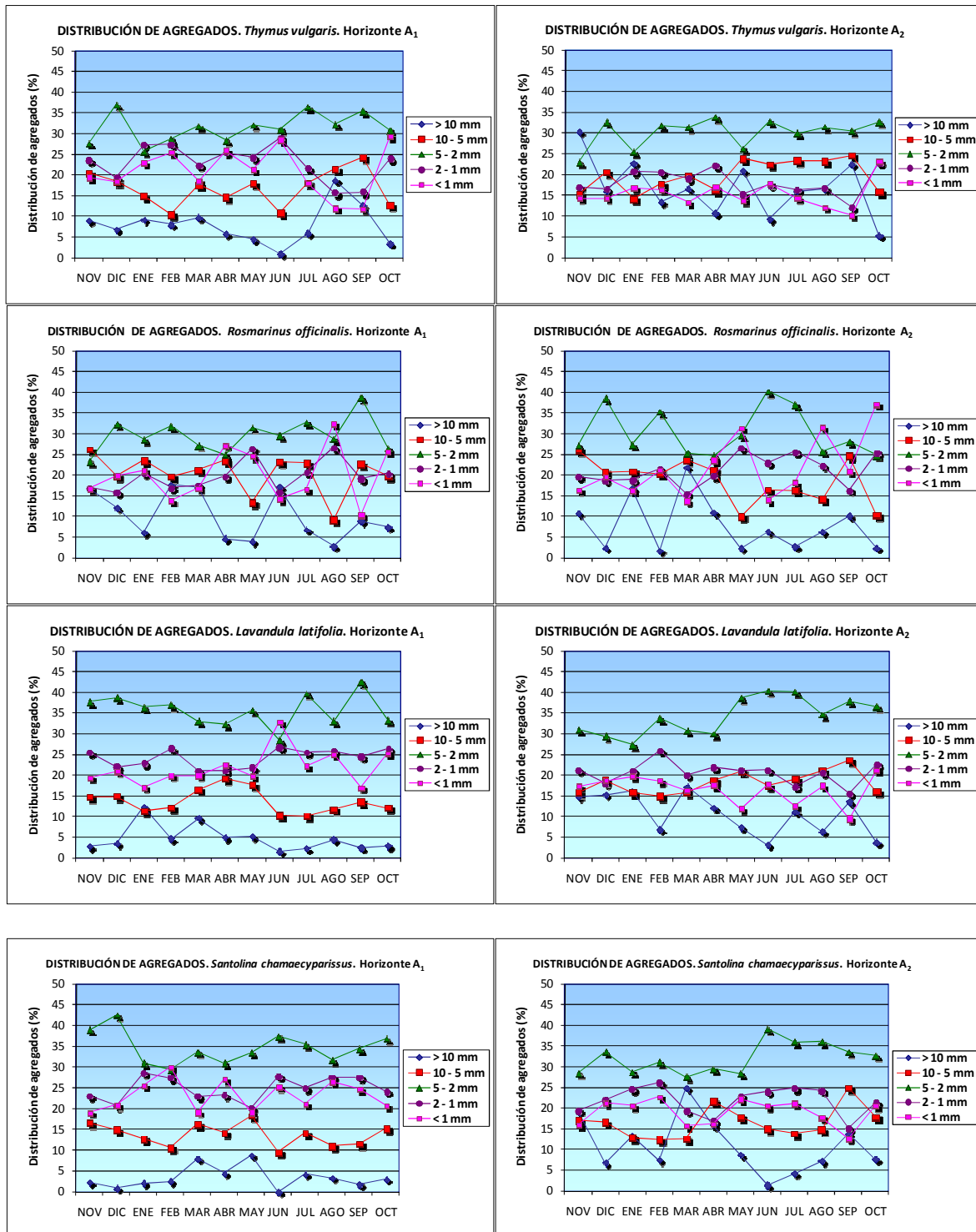


Figura 4.16. Distribución de los agregados por fracciones en los suelos bajo especies aromáticas (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*), en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (A<sub>2</sub>).

En el suelo bajo la especie *Thymus vulgaris* se observa claramente como en la muestra superficial (A<sub>1</sub>) estas fracciones se pueden ordenar de mayor a menor porcentaje, en prácticamente todos los meses del año del siguiente modo: (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). En cambio, en el horizonte más profundo (A<sub>2</sub>) no se distingue dicho orden de predominancia de las fracciones en la mayoría de los meses,

aunque la fracción intermedia de 5-2 mm también es la que presenta mayor abundancia a lo largo del año.

En el suelo bajo *Rosmarinus officinalis* las fracciones minoritarias corresponden al tamaño más grande (>10 mm), en el que se presentan variaciones importantes que van oscilando durante los meses del año, haciéndose más patente en el horizonte A<sub>2</sub>. Además en la muestra subsuperficial también se presentan los porcentajes más elevados en la fracción de menor tamaño (<1mm), alcanzándose contenidos superiores al 35% en el mes de octubre. Los agregados de tamaño entre 10-5 mm son los que se encuentran en rangos medios. El suelo bajo esta especie aromática se caracteriza por presentar altos contenidos de la fracción de 5-2 mm, tanto en el horizonte A<sub>1</sub> como en el A<sub>2</sub>. El mes con mayores valores de agregados de este tamaño corresponde claramente al mes de septiembre en el horizonte superficial, mientras que en el horizonte subsuperficial se observan en los meses de diciembre y junio.

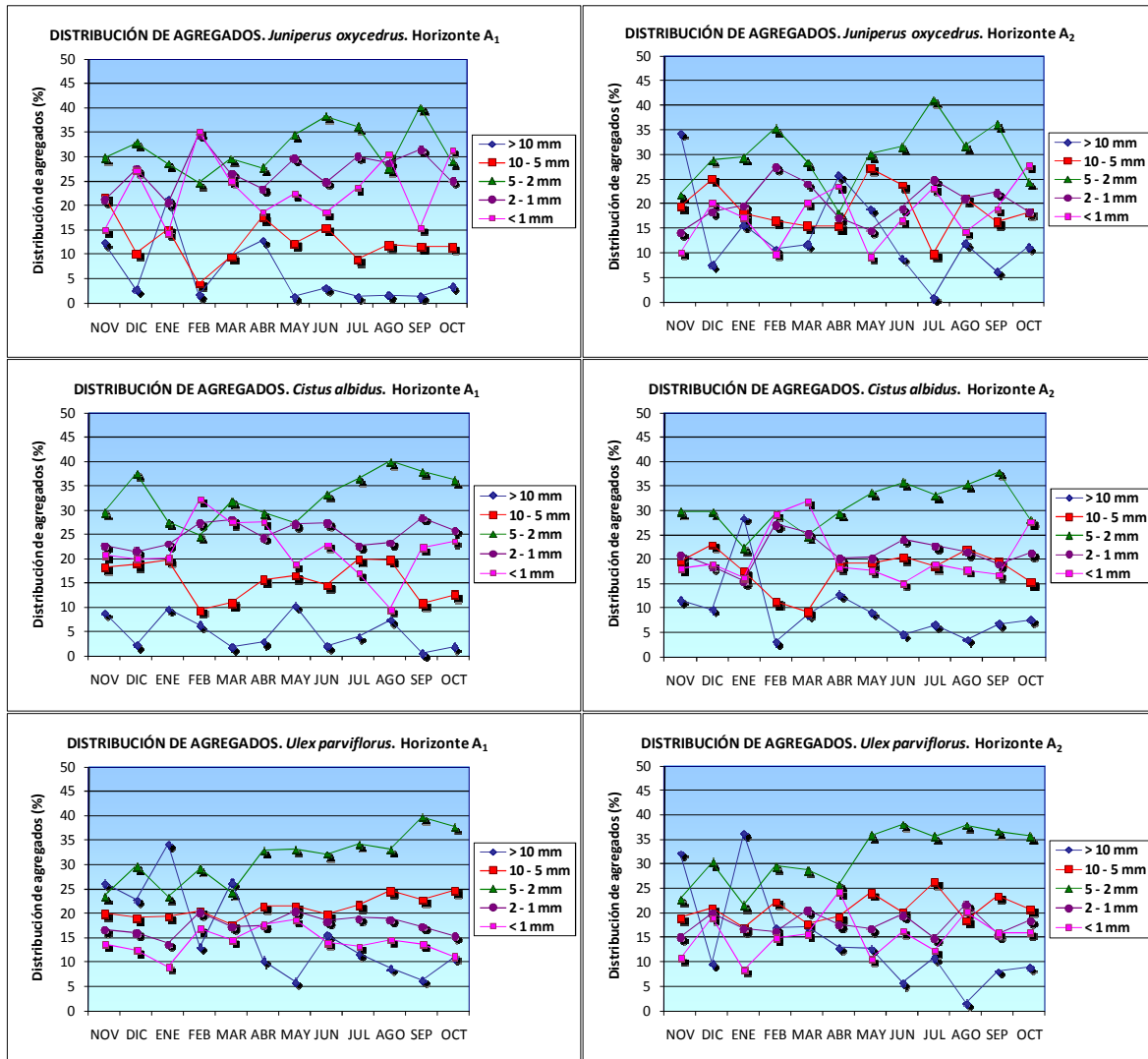
En el suelo bajo la especie *Lavandula latifolia*, tanto en las muestras superficiales como en las subsuperficiales, las fracciones dominantes en la mayoría de los meses del año son principalmente las de 5-2 mm, seguido de la fracción de 2-1 mm. Mientras que las fracciones de mayor tamaño (>10 y 10-5 mm) son las menos representadas en el horizonte más superficial (A<sub>1</sub>). Respecto a la fracción <1 mm, los porcentajes aumentan a lo largo del año desde otoño hasta el verano, donde se aprecian los valores más altos en el horizonte superficial (A<sub>1</sub>), mientras que tienden a disminuir en el horizonte más profundo (A<sub>2</sub>).

En el suelo bajo *Santolina chamaecyparissus* en ambos horizontes se distingue en orden descendente una distribución de agregados predominante a lo largo del año: (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). La fracción mayor de 10 mm presenta grandes oscilaciones en el horizonte subsuperficial (A<sub>2</sub>), mientras que en el más superficial (A<sub>1</sub>) no sufre apenas variaciones. Las fracciones menores, de <1 y de 2-1 mm, coinciden en la variación de los porcentajes a lo largo del año, y en ambas se incrementan ligeramente en invierno.

En el suelo bajo *Juniperus oxycedrus* la fracción de >10 mm, aunque con grandes oscilaciones, aumenta en la estación invernal en el horizonte A<sub>1</sub>, mientras que en el A<sub>2</sub> aumenta en los meses de primavera, descendiendo ambas hacia el verano en la cual se logran los menores porcentajes en dicha fracción. En cuanto a la fracción de 10-5 mm, se observa que disminuye en invierno, se incrementa en primavera, y después en la estación estival vuelve a descender de forma especial para el mes de julio. La fracción de 5-2 mm es la dominante a lo largo del año, tanto en el horizonte superficial como en el subsuperficial, siendo en la época estival cuando se aprecia un incremento en su contenido, observándose los valores más altos en el mes de septiembre (A<sub>1</sub>) y en julio (A<sub>2</sub>). Respecto a las dos fracciones menores, de <1 y de 2-1 mm, en general se han obtenido porcentajes más elevados en el horizonte A<sub>1</sub> que en el A<sub>2</sub>.

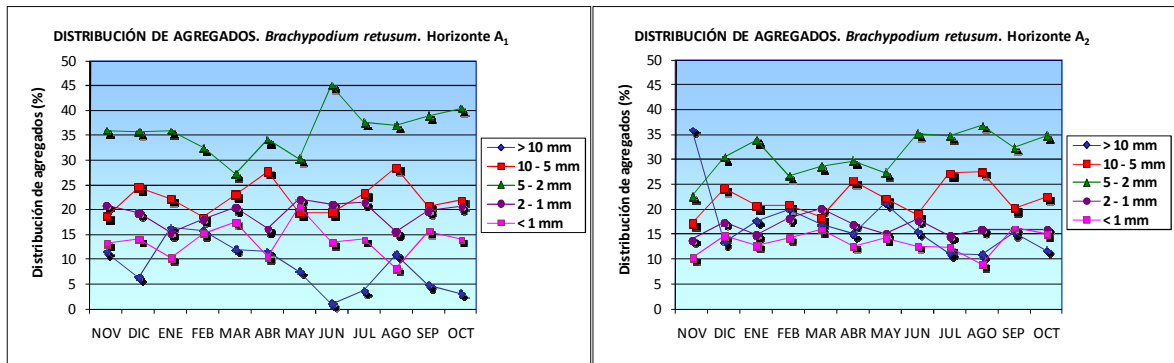
En el suelo bajo la especie *Cistus albidus* las fracciones menores, de <1 y de 2-1 mm, presentan un comportamiento muy similar a lo largo del año en ambos horizontes, aumentan en la estación invernal y, a partir de ésta, los porcentajes empiezan a descender de forma continua hasta el verano. En cambio, la fracción de 10-5 mm evoluciona de manera contraria, los porcentajes disminuyen en invierno, pero a partir de la primavera los valores se incrementan de forma progresiva hasta la época estival. En cuanto a la fracción de 5-2 mm, es la dominante a lo largo del año como ocurría en casos anteriores, y

tiende a incrementar en verano en ambos horizontes. Mientras que la fracción de >10 mm es la que obtiene los menores porcentajes en prácticamente todos los meses, salvo en el mes de enero donde los valores se incrementan acusadamente en el horizonte A<sub>2</sub>, observándose una gran oscilación en su evolución.



**Figura 4.17.** Distribución de los agregados por fracciones en los suelos bajo especies leñosas (*Juniperus oxycedrus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*), en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (A<sub>2</sub>).

En los suelos bajo *Ulex parviflorus* se aprecia, tanto en el horizonte A<sub>1</sub> como en el A<sub>2</sub>, que en la mayoría de los meses la fracción dominante es la de 5-2 mm y, al igual que lo observado anteriormente en el suelo bajo *Cistus albidus*, los porcentajes se incrementan progresivamente hasta la estación estival. Respecto a las fracciones mayores, de >10 mm, presentan grandes oscilaciones a lo largo del año, especialmente en la época de invierno, destacando en ambos horizontes incrementos bruscos de los contenidos en el mes de enero. En cambio, la fracción de 10-5 mm varía de forma escasa a lo largo del año, tanto en A<sub>1</sub> como en el A<sub>2</sub>. En cuanto a las fracciones más pequeñas, de <1 y de 2-1 mm, en ambos horizontes se observa que entre ellas, también evolucionan temporalmente de manera bastante semejante.



**Figura 4.18.** Distribución de los agregados por fracciones en el suelo bajo especie herbácea (*Brachypodium retusum*), en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (A<sub>2</sub>).

En el suelo bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* también la fracción intermedia de 5-2 mm es la dominante durante todo el año y tiende a incrementarse hasta la época estival, observándose los valores más altos en junio (A<sub>1</sub>) y en agosto (A<sub>2</sub>). Seguidamente predomina la fracción de 10-5 mm, que evoluciona temporalmente de forma muy similar en ambos horizontes. Respecto a las fracciones más pequeñas, de 2-1 y de <1 mm, presentan una evolución bastante parecida entre ellas, manteniéndose los porcentajes más estables a lo largo del año en el horizonte más profundo (A<sub>2</sub>). En cuanto a las fracciones más grandes (>10 mm), presentan mayores valores en el horizonte A<sub>2</sub> que en el A<sub>1</sub>, destacando el mes de noviembre donde se obtiene un elevado porcentaje (>35%).

#### 4.1.1.4.1.1.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la distribución del tamaño de los agregados

Los resultados, tanto mensuales como anuales, del estudio de los valores máximos, mínimos y medios de la distribución del tamaño de los agregados de las diferentes muestras de suelo superficiales analizadas, se representan gráficamente en la figura 4.19, al objeto de determinar las variaciones existentes a nivel espacial y temporal de los porcentajes correspondientes de cada una de las fracciones.

Los valores medios mensuales de la fracción de **>10 mm** oscilan del 4% al 16%, obteniendo gran variabilidad los meses de enero, marzo y mayo, siendo también en estos meses donde se obtienen los valores máximos. En cambio, los valores mínimos se observan en la época estival, junio y septiembre, meses en los cuales se obtienen porcentajes nulos o próximos a cero, respectivamente. Los valores medios y máximos anuales más elevados de esta fracción corresponden a los suelos de ambos pasillos (desnudo y pedregoso) y bajo *Ulex parviflorus*.

Los valores medios mensuales de la fracción de **10-5 mm** varían desde el 13 al 19%, con gran variabilidad especialmente en el mes de agosto, presentando el valor mínimo más bajo en el mes de febrero (4%) que marca un descenso en los meses de invierno, mientras que los valores máximos se observan en los meses de agosto (28,43%) y abril (27,63%). Los valores medios anuales más bajos de esta fracción los encontramos en los suelos de los pasillos, bajo *Juniperus oxycedrus*, así como bajo algunas especies aromáticas, siendo bajo *Brachypodium retusum*, *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus* donde los valores son más elevados (>20%).

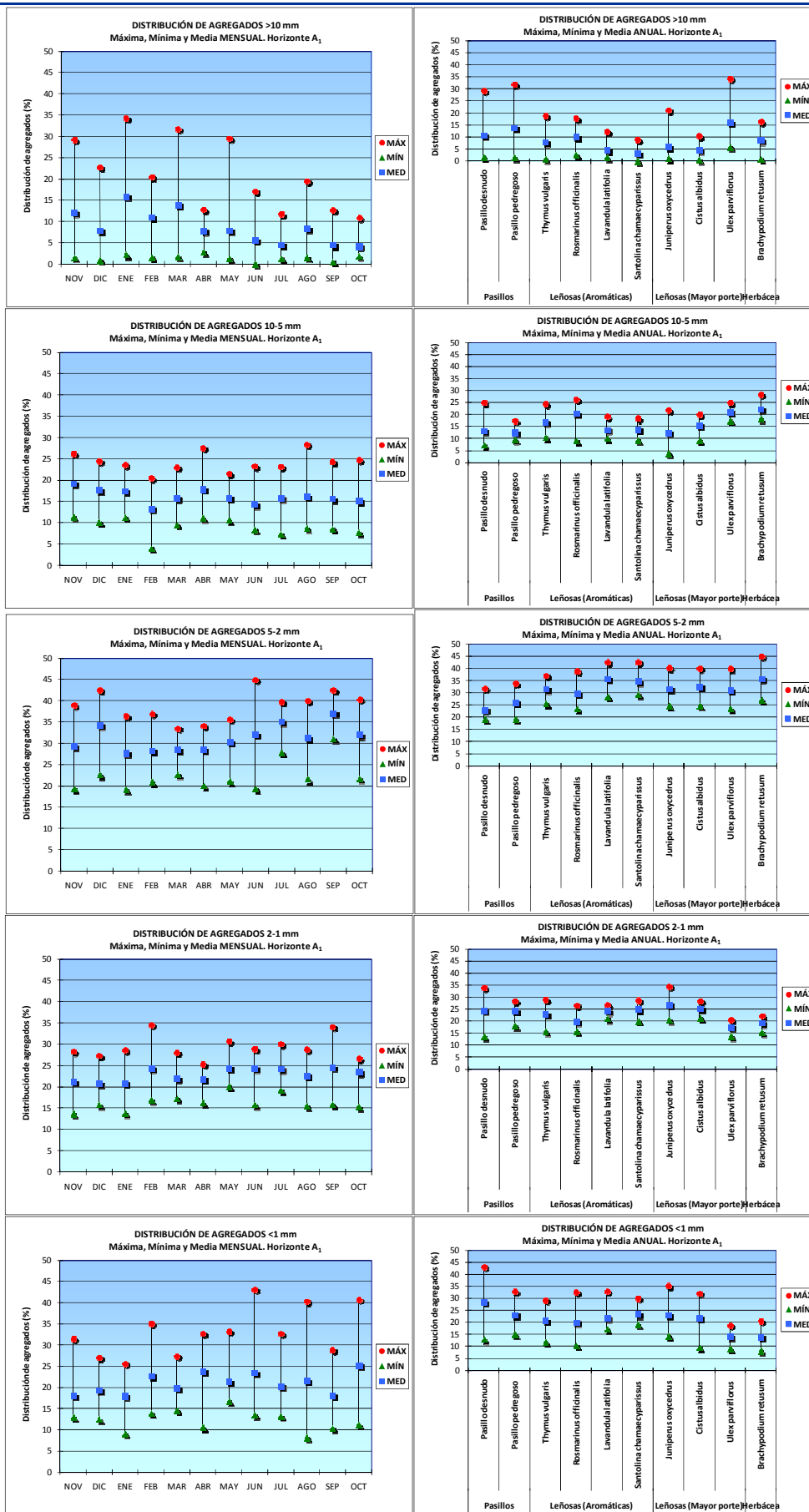


Figura 4.19. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en cada fracción de tamaño en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>).

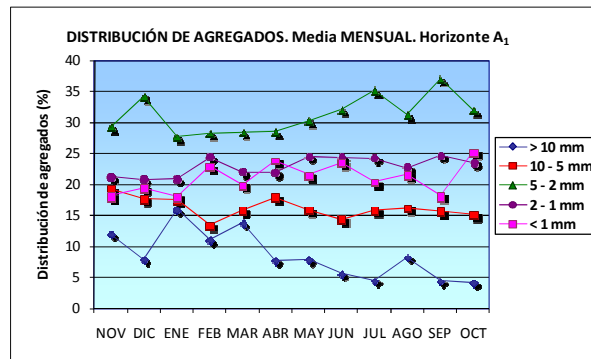
Los valores medios mensuales de la fracción de **5-2 mm** oscilan desde el 28 al 37%, obteniendo la máxima variabilidad para el mes de junio, mes en el que se observa el valor máximo más alto (45%). Los valores medios y máximos anuales más elevados de esta fracción corresponden a los suelos bajo *Brachypodium retusum*, y bajo las plantas aromáticas *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*, mientras que en los pasillos se obtienen los valores medios y mínimos anuales más bajos.

Los valores medios mensuales de la fracción de **2-1 mm** varían del 20 al 25%, observándose los valores mínimos en los meses de noviembre y enero (13,73 y 13,77%, respectivamente), siendo en los meses de febrero (34,59%) y septiembre (34,06%) donde se obtienen los valores máximos. Los contenidos medios y máximos anuales más elevados de esta fracción corresponden a los suelos bajo *Juniperus oxycedrus*, siendo en los pasillos desnudos donde se observan los valores mínimos más bajos (13,73%). La mayor variabilidad se produce también en los suelos mencionados (en pasillo desnudo y bajo *Juniperus oxycedrus*).

Los valores medios mensuales de la fracción de **<1 mm** oscilan desde el 18 al 25%, con gran variabilidad especialmente en los meses de junio, agosto y octubre. Los valores medios y máximos anuales más altos de esta fracción corresponden a los suelos del pasillo desnudo, mientras que los valores mínimos más bajos se obtienen bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (8,15%), así como bajo *Ulex parviflorus* (9,08%) y *Cistus albidus* (9,59%), con valores inferiores al 10%.

Agrupando los valores medios mensuales de cada fracción (figura 4.20) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), se distingue claramente que la distribución de agregados se puede ordenar de mayor a menor porcentaje, de manera predominante a lo largo del año, del siguiente modo:

$$(5-2 \text{ mm}) > (2-1 \text{ mm}) > (<1 \text{ mm}) > (10-5 \text{ mm}) > (>10 \text{ mm})$$



**Figura 4.20.** Valores medios mensuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>).

A partir de la figura 4.21 podemos resumir de forma generalizada, en relación a los valores medios mensuales de cada fracción, que en las fracciones de mayor tamaño de >10 y de 10-5 mm, predominan a lo largo del año los porcentajes más elevados en estas fracciones en los suelos subsuperficiales (A<sub>2</sub>) que en los superficiales (A<sub>1</sub>). En el caso de la fracción intermedia de 5-2 mm, los porcentajes son más altos en los horizontes A<sub>2</sub> que en los A<sub>1</sub> en los meses estivales (desde junio a agosto), y en los meses de febrero y mayo; siendo en el resto de meses del año donde los horizontes A<sub>1</sub> presentan valores más elevados que los A<sub>2</sub>. Finalmente destacar que en las fracciones de menor tamaño de 2-1 mm y <1 mm,

durante todos los meses del año se registran porcentajes más altos en los suelos superficiales ( $A_1$ ) que en los más profundos ( $A_2$ ).

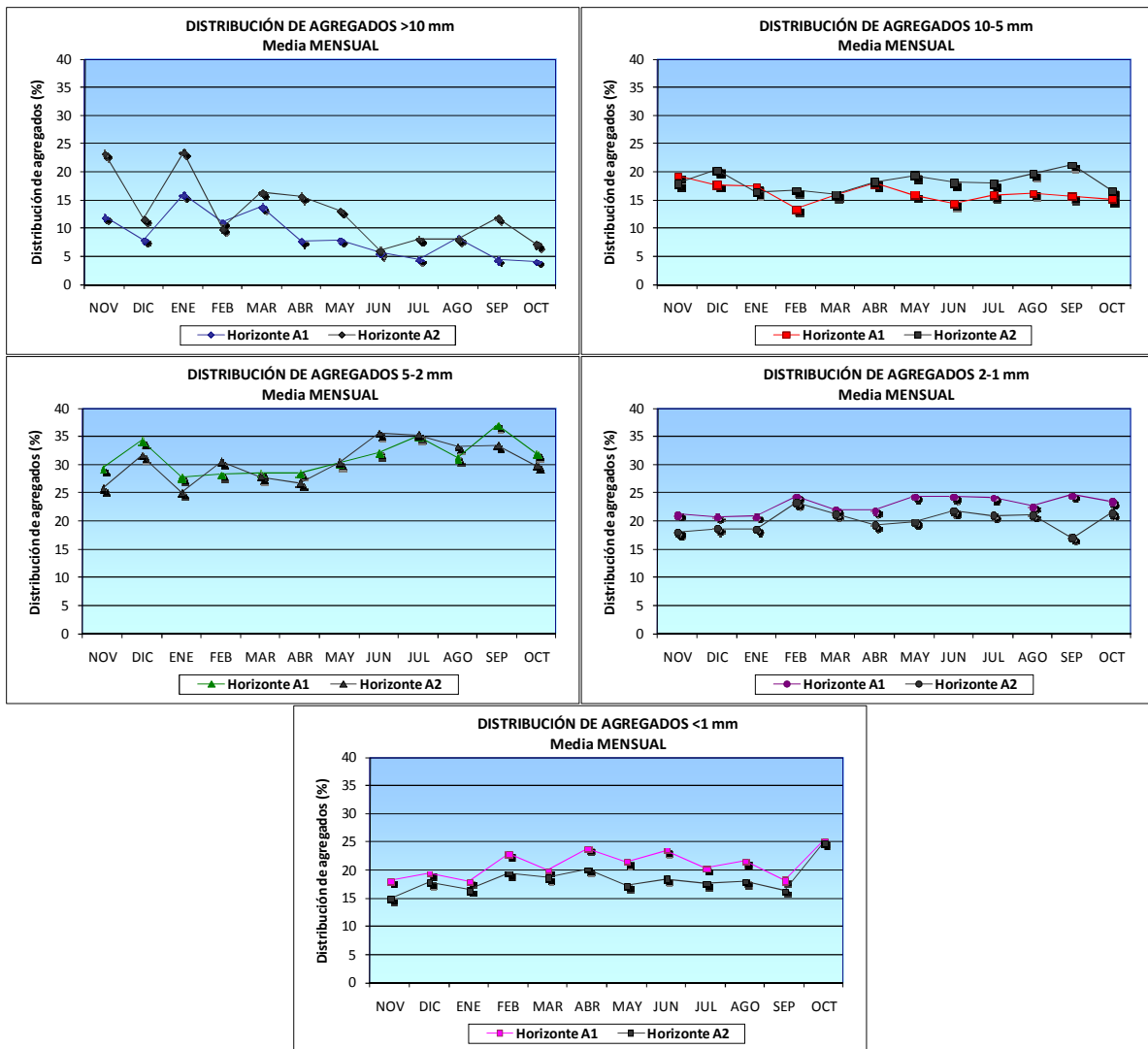


Figura 4.21. Valores medios mensuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) y subsuperficiales ( $A_2$ ).

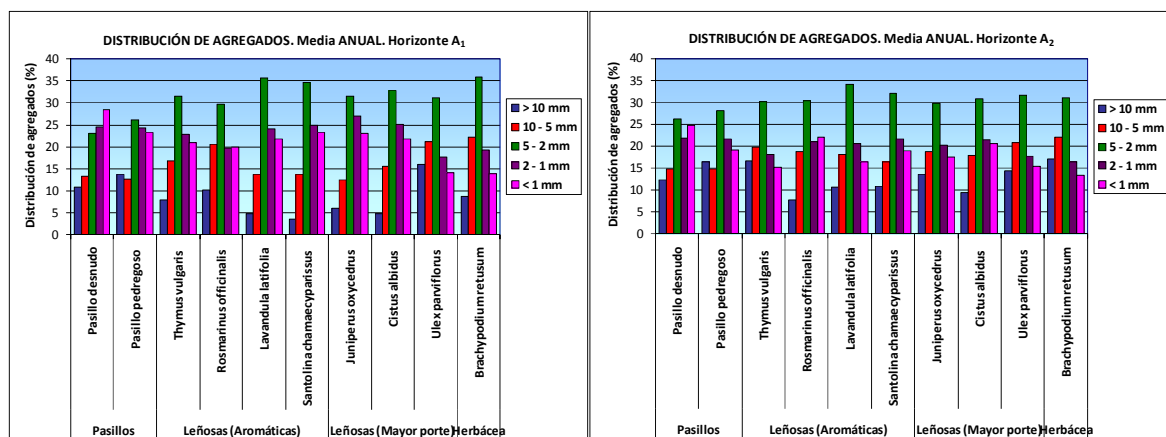


Figura 4.22. Valores medios anuales de cada fracción de tamaño obtenidos en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) y subsuperficiales ( $A_2$ ).



En la figura 4.22, al analizar los valores medios anuales de cada fracción obtenidos en los suelos superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) se aprecia, al igual que se ha observado anteriormente en los valores medios mensuales, que la distribución de agregados predominante en la mayoría de los suelos, en orden descendente es (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm), siendo en los suelos bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris*, *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*, así como en suelos bajo *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus* (especies leñosas de mayor porte), donde presentan dicho orden en la distribución de agregados. En todos estos suelos domina la fracción de 5-2 mm, posteriormente le siguen con porcentajes intermedios y similares entre ellos las fracciones de 2-1 mm y de <1 mm, presentando los porcentajes inferiores las fracciones de mayor tamaño, de 10-5 mm y de >10 mm. En el caso de los suelos subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>), el orden de la distribución de agregados mencionado con anterioridad únicamente se da en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* y *Cistus albidus*, suelos que se comportan de manera semejante en ambos horizontes en cuanto a la distribución del tamaño de los agregados.

Así mismo indicar, que los suelos correspondientes al pasillo pedregoso también presentan una distribución de los agregados bastante similar en los horizontes A<sub>1</sub> como en los A<sub>2</sub>, pero en este caso el orden de mayor a menor de las distintas fracciones de tamaño de los agregados es (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (>10 mm) > (10-5 mm).

En el resto de los suelos, se observa como los agregados presentan una distribución diferente de las citadas anteriormente, comportándose de forma distinta en ambos horizontes.

Comparando de forma generalizada los resultados obtenidos en los suelos superficiales (A<sub>1</sub>) y en los subsuperficiales (A<sub>2</sub>), se aprecia como en la mayoría de los suelos la fracción dominante en ambos horizontes es la de 5-2 mm, las fracciones menores de 2-1 mm y de <1 mm presentan porcentajes más elevados en los horizontes A<sub>1</sub> que en los A<sub>2</sub>, mientras que por el contrario las fracciones mayores de >10 mm y de 10-5 mm obtienen porcentajes más altos en los horizontes más profundos (A<sub>2</sub>) que en los superficiales (A<sub>1</sub>).

La vegetación tiene una influencia directa sobre la agregación (Bochet et al., 2002) pues el sistema radicular interviene en la formación de agregados, y algunos autores indican que el tamaño medio disminuye a medida que aumenta el volumen explorado por las raíces.

La acción agregante de las raíces se atribuye a la capa mucilaginosa que existe alrededor de las raíces formada por mucopolisacáridos, que confieren al suelo una acción cementante sobre las partículas producidas por las raíces y bacterias de la zona radicular.

Carter (2002) observa que en la zona radicular se encontraba una mayor cantidad de humus soluble en las especies herbáceas, este hecho junto a una mayor proyección del suelo podrían explicar la presencia de agregados más grandes en esta fracción.

#### 4.1.1.4.1.2. Estabilidad de los agregados. Test de la gota. Variabilidad temporal y espacial

La estabilidad de los agregados es definida por Cerdá et al., (2010) y Baver (1972) como la resistencia que los agregados del suelo oponen a las influencias desintegradoras del agua y la manipulación mecánica. Dexter (1988) considera dos tipos de estabilidad, una la capacidad del suelo de mantener su estructura bajo la acción del agua, y otra la capacidad del suelo seco de mantener su estructura bajo la acción de un esfuerzo mecánico externo.

Existen una serie de factores implicados sobre la destrucción de los agregados como son las fuerzas de cohesión y adherencia, y la mojabilidad o afinidad del suelo frente al agua.

La determinación de la resistencia a la rotura de agregados de suelo, estima la fuerza de enlace de las uniones de los agregados de suelo a partir de la cantidad de gotas necesarias para la rotura.

Se comparan los valores de la media y de la mediana obtenidos al realizar el mencionado test de la gota en los horizontes más superficiales de los suelos, horizontes más expuestos a la pérdida de suelo por erosión.

A mayor cantidad de gotas capaces de liberar una misma masa de suelo, las uniones serán más fuertes y los suelos más estables. A mayor velocidad de desagregación (masa de suelo liberada por gota) de las partículas que forman las unidades estructurales, menor será la fuerza con que están unidas.

En principio cualquier influencia externa negativa en el suelo tales como la eliminación de la vegetación o cobertura vegetal, disminución de la mesofauna por parte de los microorganismos del suelo producida por la influencia del tipo de cobertura (plantas mejorantes de las propiedades físicas del suelo), condiciones climáticas, valores más elevados del contenido de humedad, diferencias en las temperaturas extremas, amplitud térmica, influencia de la pendiente topográfica en los distintos puntos de estudio, o incluso variación de ciertas propiedades químicas como la cantidad de carbonato cálcico que favorece la cementación de los agregados, el aumento de la conductividad eléctrica por la presencia de sales que producen dispersión de agregados, o bien el aumento de cationes bivalentes como el calcio que aumentan la agregación y producen la floculación de la estructura, etc., podrían modificar este parámetro.

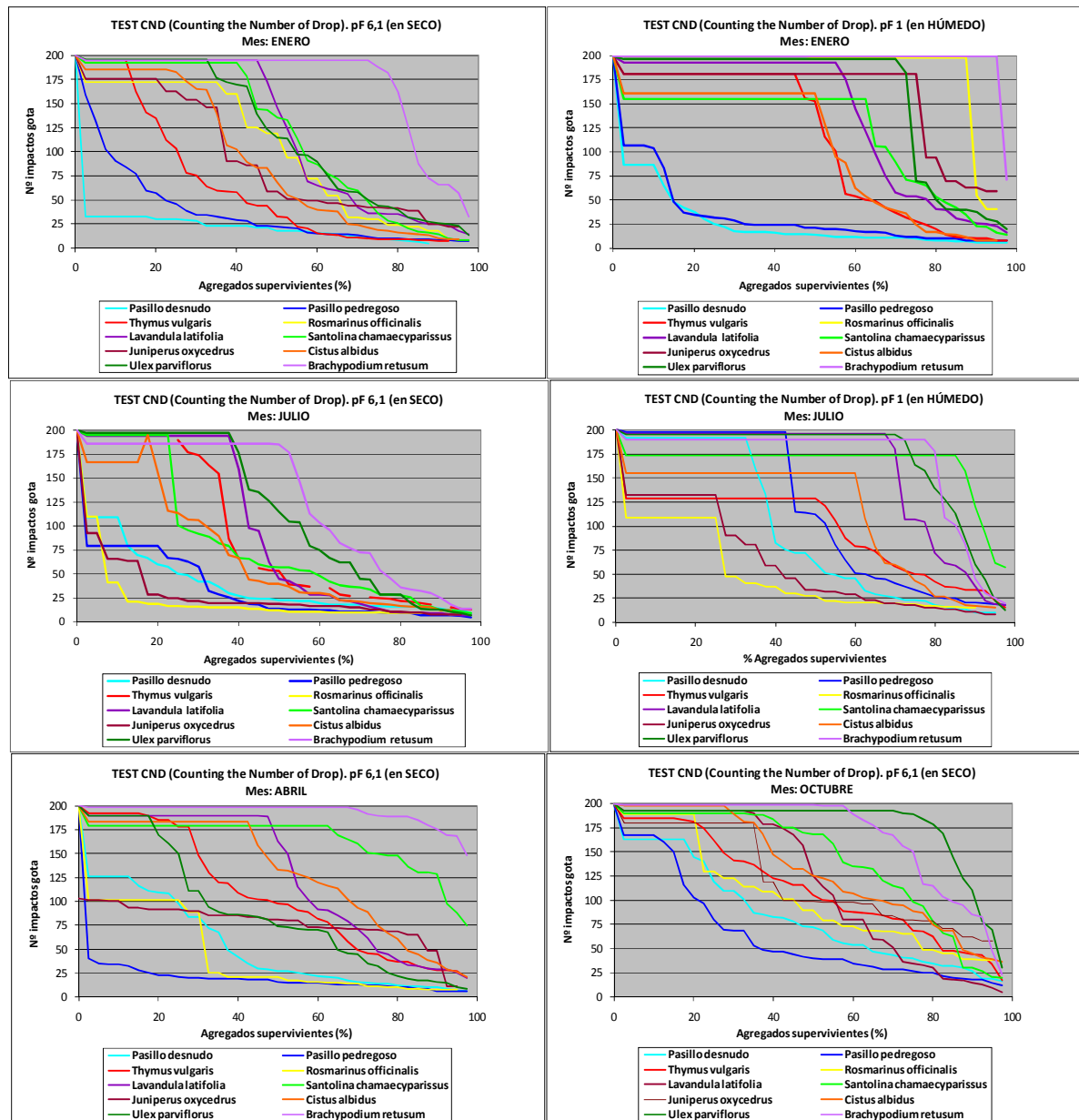
##### 4.1.1.4.1.2.1. Variación anual de la estabilidad de los agregados

La figura 4.23 muestra el porcentaje de agregados supervivientes frente a  $n^{\circ}$  impactos gota, obtenidos en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) a pF 6,1 (en seco) en los meses de enero, abril, julio y octubre, y a pF 1 (en húmedo) en los meses de enero y julio.

En general, y para la mayoría de las muestras, se observan dos tramos muy diferenciados mucho más acusados para las muestras húmedas. Un primer tramo caracterizado por una pendiente de la curva estable, y un segundo tramo donde la velocidad de desagregación es mucho mayor, indicando que las partículas están mucho menos sujetas que en el primer tramo y con uniones mucho más débiles.

En conjunto se observa al juzgar por las velocidades de desmoronamiento de los macroagregados en el primer tramo de las curvas, que las fuerzas que unen los macroagregados son superiores a la de los microagregados, siendo además superiores las fuerzas de unión en partículas agregadas muy superior al de limo y arcilla no agregado que

envolverían a los primeros, y serían por tanto las primeras en liberarse tras el impacto de la gota.



**Figura 4.23.** Porcentaje de agregados supervivientes frente a nº impactos de gota, obtenidos en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) a pF 6,1 (en seco) en los meses de enero, abril, julio y octubre; y a pF 1 (en húmedo) en los meses de enero y julio.

Respecto al 50% de agregados supervivientes tras los impactos de gota, en el suelo seco se observa para el mes de enero valores muy elevados de estabilidad de agregados para los suelos bajo *Brachypodium retusum* (195 impactos de gota), y bajo plantas aromáticas como *Lavandula latifolia* (146 impactos de gota) y *Santolina chamaecyparissus* (136 impactos de gota). Mientras que en los pasillos el 50% de agregados supervivientes se obtiene con valores muy bajos, en el pasillo desnudo (18 impactos de gota) y en el pedregoso (22 impactos de gota).

Para el mes de julio la mayor estabilidad de los agregados en seco, que corresponde con los valores más altos del 50% de agregados supervivientes tras los impactos de gota, es para los suelos bajo *Brachypodium retusum* (185 impactos de gota) y *Ulex parviflorus* (115

impactos de gota). En general, se observa que la estabilidad disminuye acusadamente en especial en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (12 impactos de gota), *Juniperus oxycedrus* (19 impactos de gota) y *Santolina chamaecyparissus* (57 impactos de gota). En el resto de los puntos de muestreo no se aprecian grandes modificaciones.

Los resultados obtenidos del 50% de agregados supervivientes tras los impactos de gota para el mes de abril del suelo seco, son bastante similares a los meses comentados anteriormente, continúa siendo bajo la especie *Brachypodium retusum* donde se obtiene mayor estabilidad (198 impactos de gota), observándose los valores más bajos de nuevo en los pasillos, en el pasillo desnudo (27 impactos de gota) y en el pedregoso (16 impactos de gota), así como en los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis* (21 impactos de gota) y *Juniperus oxycedrus* (81 impactos de gota).

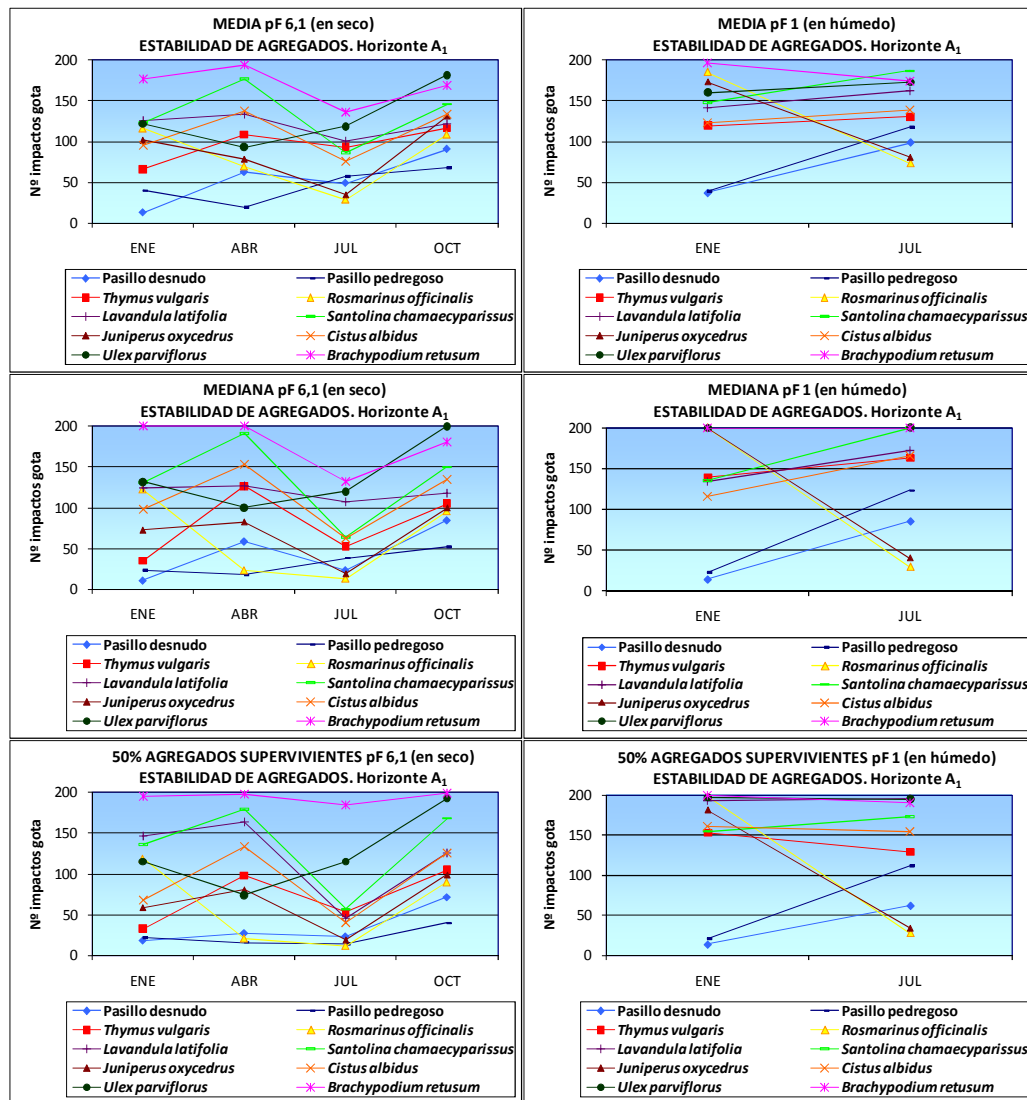
No obstante, para el mes de octubre en suelo seco se observa un incremento general de la estabilidad de los agregados, especialmente bajo la especie *Ulex parviflorus* (193 impactos de gota). Así mismo, en ambos pasillos los valores del 50% de agregados supervivientes aumentan de forma acusada respecto a los demás meses, pasillo desnudo (72 impactos de gota) y pasillo pedregoso (40 impactos de gota), aunque siguen siendo los suelos con menor estabilidad de todos los puntos de muestreo. Todas estas variaciones pueden estar relacionadas con el ciclo vegetativo de las plantas, la época de caída de las hojas que incorpora materia orgánica, el endurecimiento del agregado tras la sequía estival, la concentración de sales carbonatadas en verano que endurecen el agregado o la formación de mucílago por parte de algunas plantas en esta época, en la cual aunque las plantas empiezan a ralentizar su desarrollo la actividad biológica continúa elevada.

En todos los casos, el aumento de humedad en el suelo se manifiesta con una elevación de la estabilidad general y, aunque a grandes rasgos se mantiene el orden ocurrido en el suelo seco principalmente para el mes de enero, se observan cambios en el orden de la estabilidad en suelo húmedo (a pF 1) bajo las especies *Rosmarinus officinalis* (198 impactos de gota) y *Juniperus oxycedrus* (181 impactos de gota), suelos que presentan un considerable aumento en los valores del 50% de agregados supervivientes.

Para el mes de julio en suelo húmedo, se obtienen mayores cambios principalmente en lo que se refiere a los suelos de pasillos, desnudo (62 impactos de gota) y pedregoso (112 impactos de gota), que llegan a superar a otros bajo especies como *Rosmarinus officinalis* (28 impactos de gota) y *Juniperus oxycedrus* (34 impactos de gota).

Así pues, el efecto beneficioso de la humedad sobre este parámetro se hace patente, siendo la causa de estas diferencias entre período estival e invernal. En enero con gran humedad en el suelo, el humedecimiento de las muestras modifica en menor medida los resultados que en julio, dada su mayor humedad a pF 6,1, mientras que la gran diferencia de humedad en seco y húmedo durante el período estival se refleja en la mayor elevación de la estabilidad tras el humedecimiento en estos meses con gran sequía.

La figura 4.24 muestra la evolución de los valores de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de nº impactos gota en las diferentes muestras de suelo superficiales, a pF 6,1 (en seco) y a pF 1 (en húmedo).



**Figura 4.24.** Valores de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de nº impactos gota en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ), a pF 6,1 (en seco) y a pF 1 (en húmedo).

El efecto de la vegetación se hace patente en gran parte de los microambientes, principalmente en lo que se refiere a la relación entre la estabilidad de agregados y los diferentes niveles de materia orgánica, tanto de forma anual como temporal. Los cambios en la transformación de la materia orgánica estacionalmente debido a su mayor mineralización en la época estival, afectan directamente a este parámetro. Investigadores como Greenland (1971), Hamblin y Greenland (1977) encontraron correlaciones significativas entre algunas fracciones de la materia orgánica y la estabilidad de agregados, no obstante no llegaron a distinguir que fracciones de la materia orgánica eran más importantes en este proceso.

#### 4.1.1.4.1.2.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes

La figura 4.25 representa los valores máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, obtenidos a pF 6,1 (en seco) para el test de la gota, observándose algunos de los resultados mencionados con anterioridad.

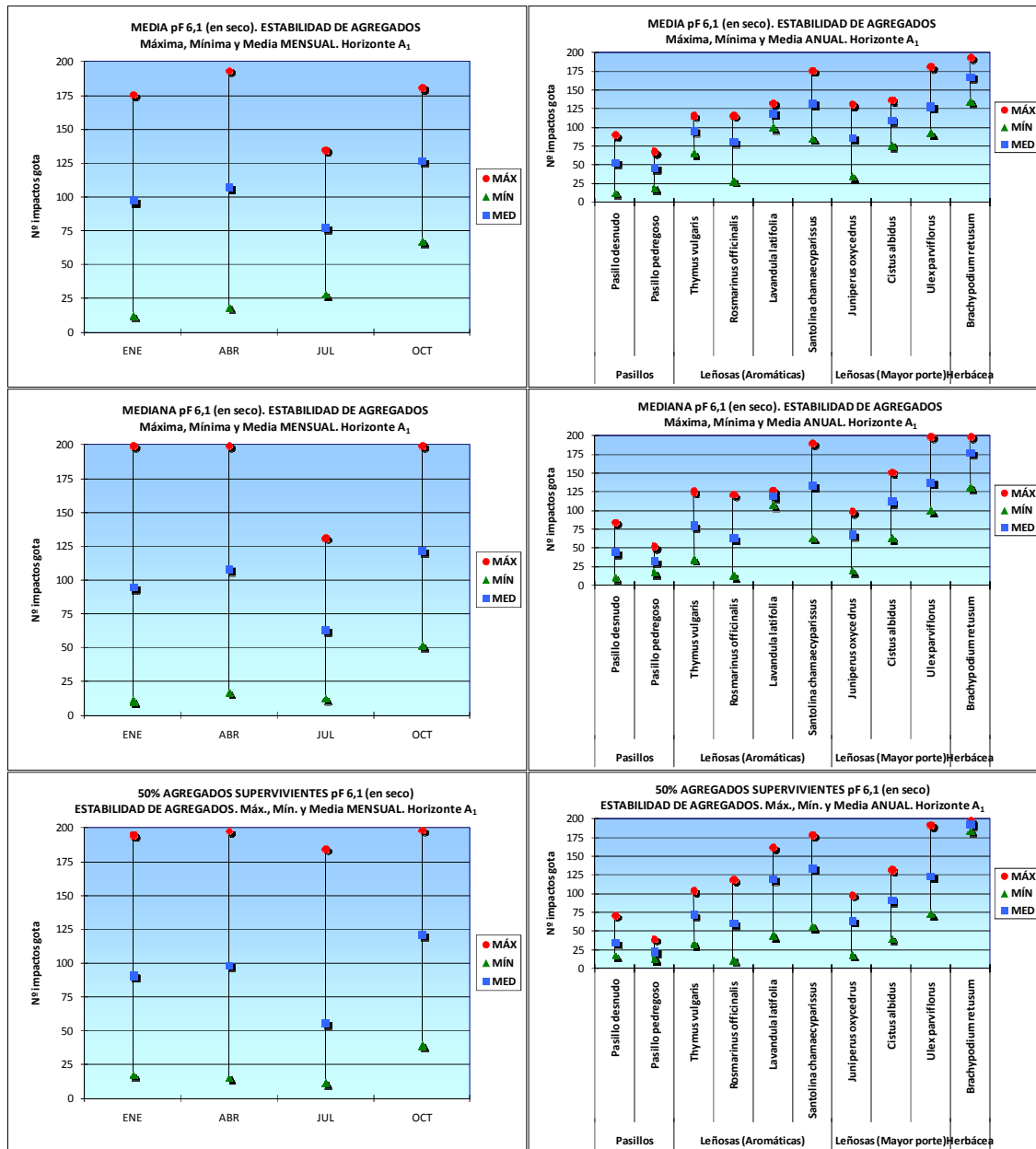


Figura 4.25. Valores máximos, mínimos y medias, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de nº impactos gota en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>) a pF 6,1 (en seco).

Los valores medios más elevados de estabilidad de agregados (media, mediana y 50% de agregados supervivientes) en suelo seco a pF 6,1, se obtienen con diferencia para el mes de octubre, seguido de abril y enero, y en el último caso julio.

El 50% de agregados supervivientes en suelo seco presenta los valores medios más altos en el mes de octubre con 122 impactos de gota, y los inferiores para el mes de julio con 57 impactos de gota, obteniéndose valores elevados de desviación en todos los meses estudiados.

Los resultados obtenidos en los diferentes microambientes muestran que los valores medios más elevados del 50% de agregados supervivientes a pF 6,1 (en seco) corresponden al suelo bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (195 impactos de gota), con bastante diferencia frente al resto de puntos de muestreo y escasa desviación,

al que le siguen los suelos bajo *Ulex parviflorus* (125 impactos de gota) y bajo algunas plantas aromáticas como *Santolina chamaecyparissus* (135 impactos de gota) y *Lavandula latifolia* (120 impactos de gota). Mientras que los menores valores del 50% de agregados supervivientes se han obtenido en los suelos de ambos pasillos, desnudo (35 impactos de gota) y pedregoso (23 impactos de gota).

En la figura 4.26 se muestra los valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos a pF 1 (en húmedo) para el test de la gota.

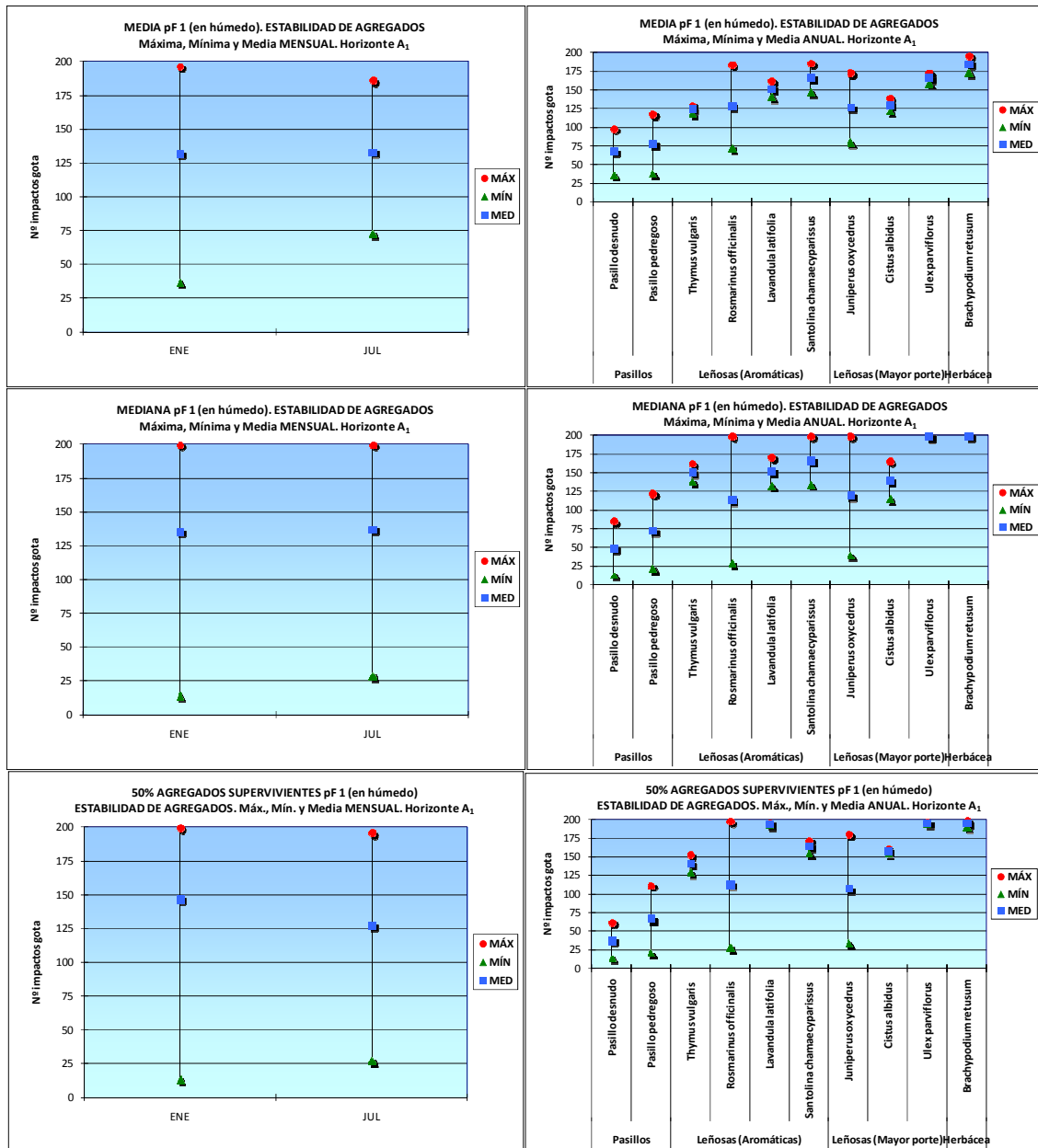


Figura 4.26. Valores máximos, mínimos y medias, mensuales y anuales, de la media, la mediana y el 50% de agregados supervivientes, obtenidos tras el conteo de nº impactos gota en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) a pF 1 (en húmedo).

Resultados similares pero valores mucho más elevados se han obtenido en suelo húmedo, estudiado para los dos meses extremos (enero y julio).

Los mayores valores medios mensuales del 50% de agregados supervivientes a pF 1 (en húmedo), se corresponden igualmente con diferencia al mes de enero (148 impactos de gota) frente al mes de julio (128 impactos de gota).

En cuanto a los valores medios anuales más elevados del 50% de agregados supervivientes a pF 1 (en húmedo), destacan los obtenidos en suelos bajo las especies *Brachypodium retusum*, *Ulex parviflorus* y *Lavandula latifolia*, donde se alcanzan valores muy próximos a los 200 impactos de gota. En cambio, se observan valores bastante inferiores en suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (113 impactos de gota) y *Juniperus oxycedrus* (108 impactos de gota), siendo en los suelos de ambos pasillos donde se obtienen los valores más bajos, desnudo (38 impactos de gota) y pedregoso (67 impactos de gota), observándose que dichos valores obtenidos en los pasillos se invierten respecto al suelo seco y se elevan considerablemente.

#### 4.1.1.4.2. Microagregación. Variabilidad espacial

Se estudia la variación de la microagregación en los diferentes puntos de muestreo de suelo. Para su análisis se parte de la fracción de suelo más pequeña la  $<0,105$  mm, que al no determinarla en la macroagregación (pues la fracción menor obtenida era de  $<1$ mm) se tuvo que tamizar independientemente. Aunque autores como Tisdall y Oades, 1982, consideran la fracción microagregada aquella inferior a 250  $\mu$ m, nosotros al igual que otros autores hemos considerado para su estudio la fracción inferior a 0,105 mm. Para la fracción microagregada únicamente se han realizado los análisis en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

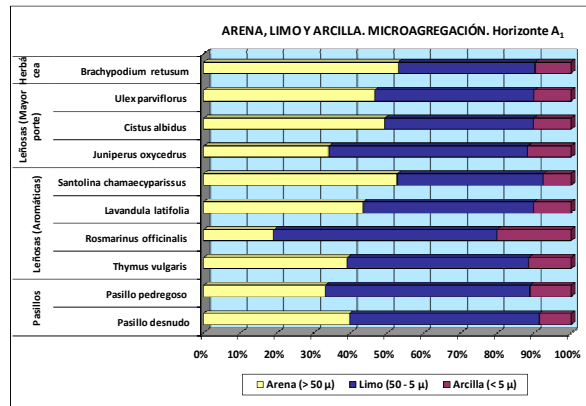
El estudio de la microagregación se centra en los siguientes resultados:

- Distribución de los microagregados en tamaños.
- Diámetro medio de los microagregados.
- Modelo de agregación. Microagregados estables al agua.
- Fracción fina microagregada.
- Índice de agregación relativo (I.A.R.)

##### 4.1.1.4.2.1. Distribución de los microagregados en tamaños

La figura 4.27 muestra los resultados obtenidos en relación a la distribución por tamaños de los microagregados en las muestras de suelo superficiales.



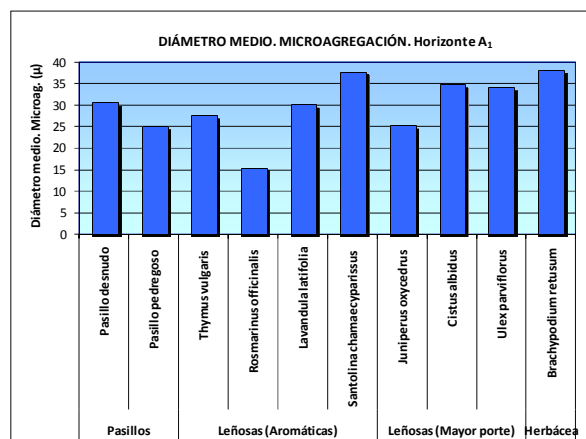


**Figura 4.27.** Distribución de los microagregados en tamaños obtenida en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>) de los puntos de muestreo.

En cuanto a los microagregados en la fracción arena, destacan con elevada proporción (>50%) los suelos bajo *Brachypodium retusum* (53,01%) y *Santolina chamaecyparissus* (52,66%). En cambio, los menores porcentajes se obtienen en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (19,08%), en el pasillo pedregoso (33,11%) y bajo *Juniperus oxycedrus* (34,07%), siendo en dichos suelos donde se observan, por el contrario, los valores más altos en la fracción limo de los microagregados, *Rosmarinus officinalis* (60,73%), pasillo pedregoso (55,74%) y *Juniperus oxycedrus* (54,12%). Respecto a la fracción arcilla de los microagregados, es el suelo bajo la especie *Rosmarinus officinalis* el que también contiene mayor porcentaje en esta fracción (20,19%), presentando bastante diferencia con el resto de muestras de suelo dado que no llegan a alcanzar el 12%, observándose los valores más bajos en esta fracción en los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* (7,54%).

#### 4.1.1.4.2.2. Diámetro medio de los microagregados

El diámetro medio de los microagregados es un valor útil que da una idea general de la microagregación que presenta cada una de las muestras de suelo.



**Figura 4.28.** Diámetro medio de los microagregados obtenido en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>).

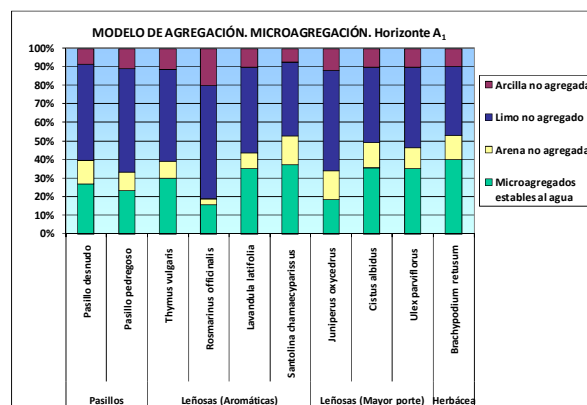
A partir de los valores medios obtenidos (figura 4.28) se observa que los suelos bajo *Brachypodium retusum* (38,20  $\mu$ ) y *Santolina chamaecyparissus* (37,82  $\mu$ ) son los que presentan valores más elevados de diámetro medio de los microagregados, seguido de aquellos bajo *Cistus albidus* (34,83  $\mu$ ) y *Ulex parviflorus* (34,20  $\mu$ ), con los valores más bajos en el suelo bajo *Rosmarinus officinalis* (15,50  $\mu$ ).

En cuanto a los suelos correspondientes a los pasillos, se obtienen valores más elevados de diámetro medio de los microagregados en el pasillo desnudo (30,48  $\mu$ ) que en el pedregoso (25,13  $\mu$ ). Mientras que en el grupo de suelos bajo especies aromáticas, el orden de mayor a menor diámetro medio de los microagregados es *Santolina chamaecyparissus* > *Lavandula latifolia* > *Thymus vulgaris* > *Rosmarinus officinalis*. Para las especies leñosas de mayor porte el orden descendente es *Cistus albidus* > *Ulex parviflorus* > *Juniperus oxycedrus*. Y para los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, los diámetros medios de los microagregados son los más altos.

#### 4.1.1.4.2.3. Modelo de agregación. Microagregados estables al agua

El modelo de agregación se representa a partir de los porcentajes obtenidos de microagregados estables al agua, así como de las fracciones no agregadas de arena, limo y arcilla.

De forma similar a lo observado anteriormente en el diámetro medio de los microagregados de los diferentes suelos, los valores medios obtenidos de microagregados estables al agua (figura 4.29) nos indican que se alcanzan los porcentajes más elevados de esta fracción en los suelos bajo *Brachypodium retusum* (40%) y *Santolina chamaecyparissus* (37,32%). Posteriormente le siguen con valores muy parecidos entre ellos los suelos bajo *Cistus albidus* (35,74%) *Lavandula latifolia* (35,33%) y *Ulex parviflorus* (35,04%), observándose los valores más bajos en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (15,60%), *Juniperus oxycedrus* (18,36%) y en los pasillos.



**Figura 4.29.** Modelo de agregación obtenido en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ). Microagregados estables al agua.

En el grupo correspondiente a los pasillos, en el pasillo desnudo (26,91%) se obtienen valores más altos de microagregados estables al agua que en el pedregoso (23,20%). En cuanto al grupo de especies aromáticas, se observa que dichos suelos presentan porcentajes de microagregados estables al agua en orden decreciente de la siguiente manera *Santolina chamaecyparissus* > *Lavandula latifolia* > *Thymus vulgaris* > *Rosmarinus officinalis*, al igual que lo obtenido anteriormente en el diámetro medio de los

microagregados, ocurriendo lo mismo en las especies leñosas de mayor porte *Cistus albidus* > *Ulex parviflorus* > *Juniperus oxycedrus*. Bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, los suelos contienen los valores más altos de microagregados estables al agua respecto al resto de suelos.

#### 4.1.1.4.2.4. Fracción fina microagregada

La fracción fina microagregada se obtiene por diferencia entre la arcilla textural y la arcilla de microagregación.

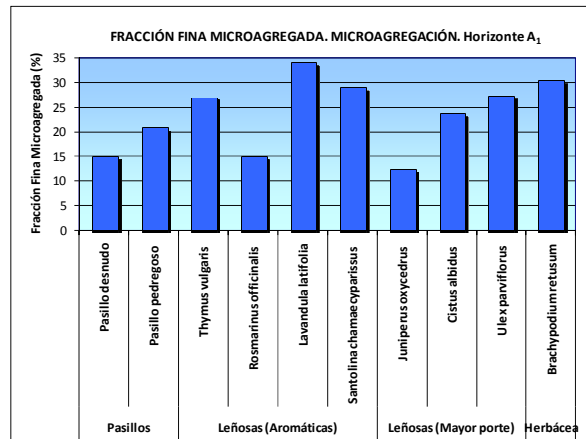


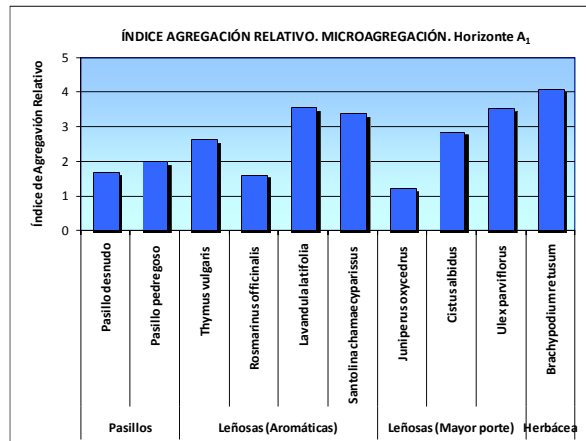
Figura 4.30. Fracción fina microagregada obtenida en las muestras de suelo superficiales (A<sub>1</sub>).

A partir de los valores medios obtenidos (figura 4.30) se observa que el suelo bajo *Lavandula latifolia* (33,98%) es el que presenta mayor porcentaje de fracción fina microagregada, le sigue los suelos bajo *Brachypodium retusum* (30,28%), así como bajo *Santolina chamaecyparissus* (28,95%), *Ulex parviflorus* (27,35%) y *Thymus vulgaris* (26,98%) con valores muy similares entre ellos. Los porcentajes más bajos se observan en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* (12,39%), *Rosmarinus officinalis* (14,96%) y en los pasillos.

En los suelos del grupo de los pasillos, a diferencia de lo observado en los apartados anteriores, se obtienen porcentajes más elevados de fracción fina microagregada en el pasillo pedregoso (20,73%) que en el desnudo (15%). En cuanto al grupo de especies aromáticas, los suelos bajo estas especies se ordenan de mayor a menor fracción fina microagregada de la siguiente manera *Lavandula latifolia* > *Santolina chamaecyparissus* > *Thymus vulgaris* > *Rosmarinus officinalis*. Mientras que las especies leñosas de mayor porte presentan el siguiente orden descendente *Ulex parviflorus* > *Cistus albidus* > *Juniperus oxycedrus*, a diferencia de lo obtenido anteriormente. En el caso de los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, se obtienen valores bastante elevados de fracción fina microagregada.

#### 4.1.1.4.2.5. Índice de agregación relativo (I.A.R.)

El índice de agregación relativo nos indica las proporciones en que los minerales primarios (textura) se organizan formando “clusters de partículas” de mayor tamaño o unidades microestructurales. Se le denomina Relativo (R.), porque el índice se establece en función de la textura particular de cada horizonte.



**Figura 4.31.** Índice de agregación relativo (I.A.R.) obtenido en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ).

Los valores medios de índice de agregación relativo obtenidos (figura 4.31) nos indican que los valores más altos se alcanzan en los suelos bajo *Brachypodium retusum* (4,07), le siguen con valores muy similares entre ellos los suelos bajo *Lavandula latifolia* (3,55), *Ulex parviflorus* (3,53) y *Santolina chamaecyparissus* (3,36), siendo en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* (1,23), *Rosmarinus officinalis* (1,60) y en los pasillos, donde se observan los valores más bajos de índice de agregación relativo.

En los suelos correspondientes a los pasillos, se obtienen valores ligeramente más altos de este índice en el pasillo pedregoso (1,98) que en el desnudo (1,69). En cuanto a los suelos bajo las especies aromáticas, se observa que presentan un orden decreciente de índice de agregación relativo *Lavandula latifolia* > *Santolina chamaecyparissus* > *Thymus vulgaris* > *Rosmarinus officinalis*. Mientras que los suelos bajo las especies leñosas de mayor porte se ordenan de mayor a menor índice *Ulex parviflorus* > *Cistus albidus* > *Juniperus oxycedrus*. Bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* es donde se alcanza el índice de agregación relativo más alto. Los resultados obtenidos reflejan una alta variabilidad espacial del índice de agregación relativo en los suelos cubiertos por especies vegetales.

#### 4.1.1.4.3. Densidad aparente del suelo. Variabilidad temporal y espacial

##### 4.1.1.4.3.1. Variación anual de la densidad aparente del suelo

La variación anual de la densidad aparente del suelo se analiza gráficamente (figura 4.32), a partir de los resultados mensuales obtenidos en las muestras de suelo superficiales ( $A_1$ ) a lo largo del año de seguimiento.

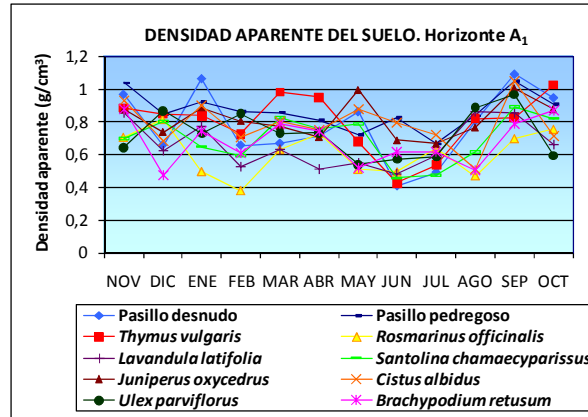


Figura 4.32. Variación de la densidad aparente del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales ( $A_1$ ).

El rango de variación de la densidad aparente a lo largo del año en las diferentes muestras de suelo superficiales oscila entre  $0,38$  y  $1,09$   $\text{g}/\text{cm}^3$ .

##### 4.1.1.4.3.2. Densidad aparente del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual

Los valores de densidad aparente del suelo máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, obtenidos en las muestras superficiales se representan en la figura 4.33.

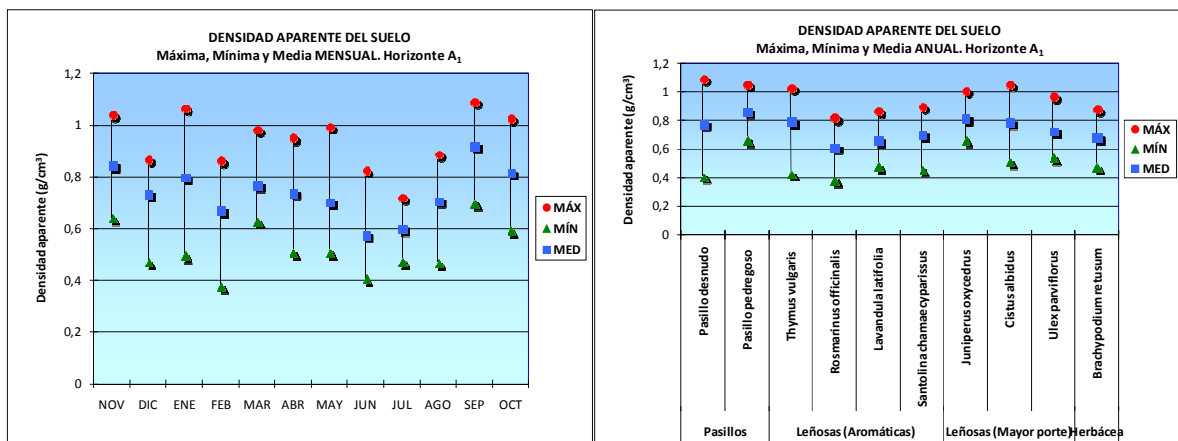


Figura 4.33. Densidad aparente del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales ( $A_1$ ).

Los valores medios mensuales de densidad aparente tienden a elevarse en los meses fríos y disminuyen en los meses cálidos, obteniendo los valores más bajos en los meses de junio ( $0,58$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y julio ( $0,60$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ). En cuanto a los valores máximos de densidad aparente, se alcanzan en los meses de septiembre ( $1,09$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y enero ( $1,06$   $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Se observa una mayor variabilidad en los meses más fríos (enero y febrero), siendo en el mes de julio donde se presenta la menor variabilidad.

En cuanto a los valores medios anuales obtenidos, los suelos que presentan los valores más elevados de densidad aparente son los correspondientes a los pasillos, tanto desnudos ( $0,78 \text{ g/cm}^3$ ) como pedregosos ( $0,86 \text{ g/cm}^3$ ), así como los suelos bajo las especies *Juniperus oxycedrus* ( $0,82 \text{ g/cm}^3$ ), *Cistus albidus* ( $0,79 \text{ g/cm}^3$ ) y *Thymus vulgaris* ( $0,80 \text{ g/cm}^3$ ). Con valores intermedios de densidad aparente se encuentran los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* ( $0,70 \text{ g/cm}^3$ ) y *Brachypodium retusum* ( $0,68 \text{ g/cm}^3$ ), siendo los suelos bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* ( $0,61 \text{ g/cm}^3$ ) y *Lavandula latifolia* ( $0,66 \text{ g/cm}^3$ ) los que presentan los valores más bajos de densidad aparente.

La mayor variabilidad se observa en el suelo del pasillo desnudo y bajo la especie aromática *Thymus vulgaris*, mientras que la menor variabilidad se obtiene en el suelo del pasillo pedregoso y bajo *Juniperus oxycedrus*.

Los máximos valores obtenidos de densidad aparente que se dan en los suelos de los pasillos corresponden con los suelos más compactados, y coinciden con valores mínimos de porosidad, haciéndose patente el efecto favorecedor de la vegetación sobre la compactación del suelo, dado que las raíces favorecen la formación de poros y grietas en el suelo que aumentan la porosidad y el paso de aire y solutos.

La vegetación de cobertura continua como la cubierta de *Brachypodium retusum*, favorecen la permanencia de la humedad en el suelo y la estabilidad de la estructura, disminuyendo la densidad aparente.

Las plantas aromáticas favorecen igualmente la disminución de la densidad aparente, posiblemente por el aporte de residuos vegetales que realiza un efecto protector sobre la estructura del suelo, favoreciendo su estabilidad y la formación de agregados de mayor tamaño.

#### 4.1.1.4.4. Porosidad del suelo. Variabilidad temporal y espacial

##### 4.1.1.4.4.1. Variación anual de la porosidad del suelo

En la figura 4.34 se representa la variación mensual de la porosidad del suelo obtenida en las muestras superficiales ( $A_1$ ) a lo largo del año de seguimiento.

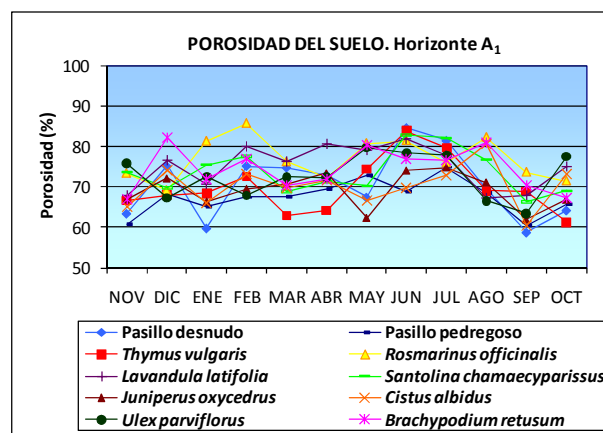


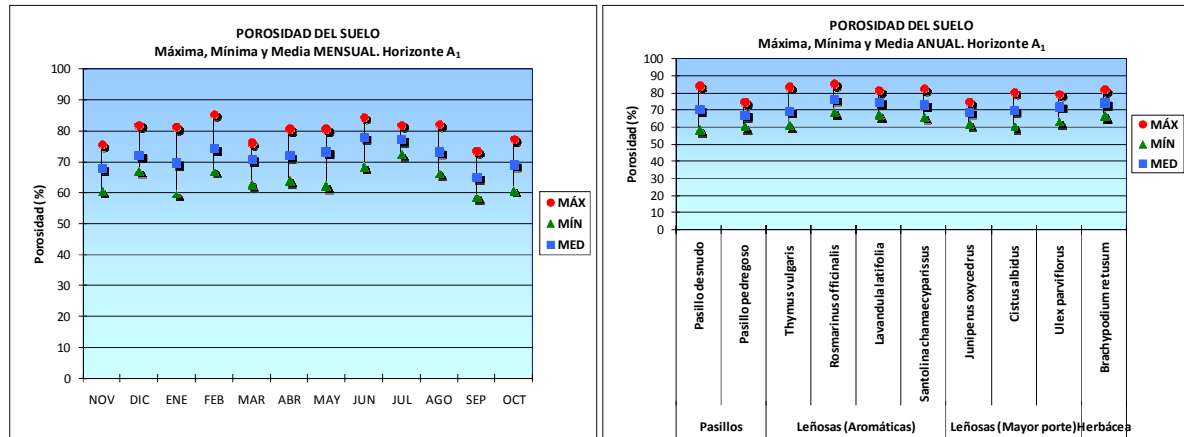
Figura 4.34. Variación de la porosidad del suelo a lo largo del año en las muestras superficiales ( $A_1$ ).

En este período el rango de variación de la porosidad en los puntos de muestreo oscila del 58 al 85%. Se trata pues de suelos con elevada porosidad, debido al alto contenido de materia orgánica en las parcelas.

Los meses de diciembre, febrero y junio presentan picos elevados de porosidad para gran parte de las muestras de suelo.

#### 4.1.1.4.4.2. Porosidad del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual

Los porcentajes de porosidad del suelo máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, obtenidos en las muestras superficiales se contemplan en la figura 4.35.



**Figura 4.35.** Porosidad del suelo máxima, mínima y media, mensual y anual, obtenida en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>).

Se observa la disminución de los valores medios mensuales de porosidad en los meses fríos y un aumento desde marzo hasta junio, siendo a partir de este mes donde los valores vuelven a descender. Los porcentajes máximos de porosidad se alcanzan en los meses de febrero (85,69%) y junio (84,61%), siendo los meses de septiembre (58,79%) y enero (59,82%) los que presentan los valores mínimos más bajos de porosidad, correspondiéndose inversamente con la densidad aparente del suelo.

De forma generalizada, se observa como las desviaciones son muy semejantes en prácticamente todos los meses a lo largo del año.

Los valores medios anuales de porosidad más altos se observan bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* (76,95%), *Lavandula latifolia* (75,09%) y *Santolina chamaecyparissus* (73,64%), así como bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (74,38%). En cambio, los porcentajes más bajos de porosidad se alcanzan en el suelo correspondiente al pasillo pedregoso (67,47%) y bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (69,22%) y *Thymus vulgaris* (69,98%).

En general en los valores anuales, se observa escasa variabilidad entre los diferentes puntos de muestreo.

Los suelos de los pasillos sin vegetación presentan poca porosidad, disminuyendo todavía más con el aumento de la pedregosidad. Se obtienen relaciones inversas con los valores de densidad aparente, dada la disminución de la porosidad debida a la compactación del suelo.

## 4.1.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

### 4.1.2.1. ACIDEZ DEL SUELO, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y CARBONATO CÁLCICO. VARIABILIDAD ESPACIAL

El pH del suelo, por el hecho de ser una propiedad química que apenas sufre variación en el tiempo, se ha analizado únicamente en las muestras de un sólo mes. Los análisis se han realizado en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), observándose en la figura 4.36 los valores medios obtenidos de pH entre ambas parcelas, tanto medidos en suspensión de agua como en suspensión de KCl.

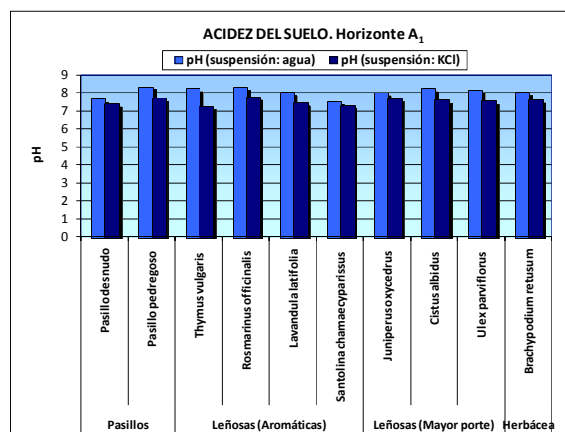


Figura 4.36. Niveles de pH del suelo obtenidos, en suspensión de agua y en suspensión de KCl, en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>).

Los valores de pH en agua oscilan desde 7,53 en el suelo bajo la especie *Santolina chamaecyparissus* hasta 8,36 en el suelo del pasillo pedregoso (cubierto de piedras y sin vegetación).

En cuanto a los valores de pH en KCl, los valores más altos se observan en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (7,75) y también en el pasillo pedregoso (7,69), mientras que los suelos bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris* (7,25) y *Santolina chamaecyparissus* (7,31) son los que alcanzan los valores más bajos de pH en KCl.

Las muestras de suelo contienen valores más elevados de pH medido en agua que los obtenidos a pH en KCl, presentando en todas las muestras proporciones similares de ambas medidas. De forma generalizada, los valores medios obtenidos son de 8,05 (pH en suspensión agua) y 7,53 (pH en suspensión KCl).

La escasa diferencia entre el pH medido en agua o en KCl denota que se trata de un suelo saturado en bases, principalmente en calcio presente en gran cantidad en el complejo de cambio. Los materiales calizos aflorantes en la zona de estudio justifican sobradamente los valores de pH obtenidos.

En cuanto a la **conductividad eléctrica**, al igual que anteriormente en el pH, únicamente se han analizado las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) de un sólo mes, debido a que se trata de un parámetro que no es susceptible a cambiar en un plazo corto de tiempo. Los resultados de la conductividad eléctrica del suelo son obtenidos para los distintos puntos de muestreo de cada una de las parcelas, y a partir de éstos se han



calculado los valores medios entre ambas parcelas que han sido representados en la figura 4.37.

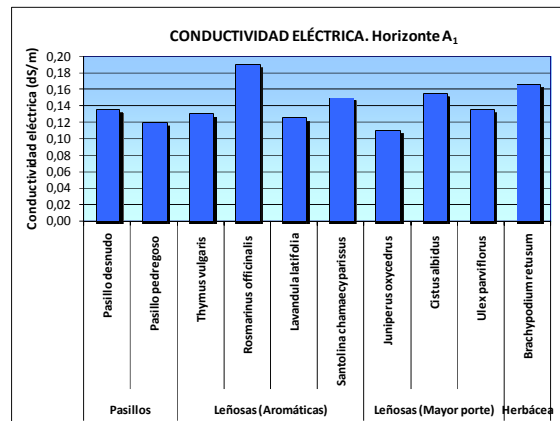


Figura 4.37. Conductividad eléctrica del suelo obtenida en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>).

Al igual que en los valores de pH, existen diferencias entre los valores de conductividad eléctrica del suelo. Los valores de conductividad eléctrica están comprendidos entre 0,11 y 0,19 dS/m, obteniéndose un valor medio general de 0,14 dS/m.

Los suelos que presentan los valores más elevados de conductividad eléctrica son los correspondientes al suelo bajo *Rosmarinus officinalis* (0,19 dS/m), seguido del suelo bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (0,17 dS/m), observándose los valores más bajos en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* (0,11 dS/m) y en el pasillo pedregoso (0,12 dS/m).

Estas relaciones pueden deberse a que la vegetación herbácea es la que más sales aporta al suelo, mientras que los pasillos son los puntos más lavados y con menos aportes de nutrientes.

El estudio de la variación del contenido en **carbonato cálcico** que presentan los suelos de ambas parcelas, se ha realizado tanto de los superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) como de los subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>). Este parámetro no se ha determinado a nivel temporal, pues los niveles de carbonato cálcico presentan escasa variación en el tiempo. En la figura 4.38 se representan los valores medios obtenidos entre parcelas de carbonato cálcico, tanto en superficie como en profundidad.

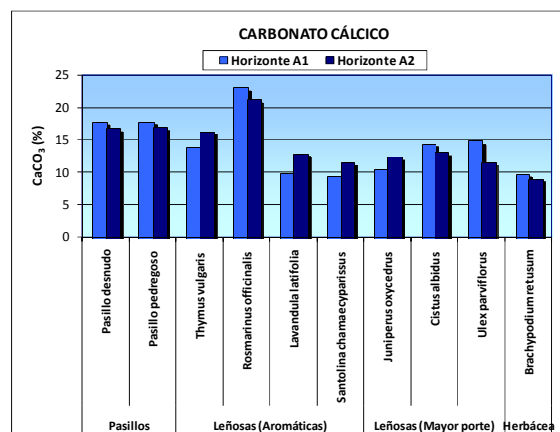


Figura 4.38. Carbonato cálcico del suelo obtenido en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (A<sub>2</sub>).

Los suelos en general presentan valores bajos de carbonato cálcico, observándose los porcentajes más elevados, tanto en horizontes superficiales como en profundos, en los suelos bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis* (23% en el horizonte A<sub>1</sub> y 21,25% en el horizonte A<sub>2</sub>), así como en los suelos de ambos pasillos, desnudo (17,74% en A<sub>1</sub> y 16,79% en A<sub>2</sub>) y pedregoso (17,76% y 16,95%, respectivamente). Mientras que los contenidos más bajos de carbonato cálcico se obtienen en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* (9,78% en el horizonte A<sub>1</sub> y 9% en el horizonte A<sub>2</sub>) y *Santolina chamaecyparissus* (9,39% en A<sub>1</sub> y 11,55% en A<sub>2</sub>).

En la figura 4.38 se distingue claramente que el contenido de carbonato cálcico abunda más en un horizonte u otro en cada punto de muestreo de la manera que se indica en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Abundancia de carbonato cálcico en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>) o subsuperficiales (A<sub>2</sub>), en los puntos de muestreo.

<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b> <b>Horizonte A<sub>1</sub> &gt; Horizonte A<sub>2</sub></b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b> <b>Horizonte A<sub>1</sub> &lt; Horizonte A<sub>2</sub></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasillo desnudo</li> <li>- Pasillo pedregoso</li> <li>- <i>Rosmarinus officinalis</i></li> <li>- <i>Cistus albidus</i></li> <li>- <i>Ulex parviflorus</i></li> <li>- <i>Brachypodium retusum</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Thymus vulgaris</i></li> <li>- <i>Lavandula latifolia</i></li> <li>- <i>Santolina chamaecyparissus</i></li> <li>- <i>Juniperus oxycedrus</i></li> </ul>

#### 4.1.2.2. MACRONUTRIENTES: NITRÓGENO Y FÓSFORO. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

##### 4.1.2.2.1. Variación anual del nitrógeno y fósforo

Para realizar el estudio de la variación en el tiempo del contenido en nitrógeno y fósforo del suelo que tiene lugar en los distintos puntos de muestreo, se han analizado las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) realizando un seguimiento bimensual. Los valores medios de nitrógeno y fósforo del suelo obtenidos entre ambas parcelas, son los que se muestran en la figura 4.39.

En los niveles de **nitrógeno** se observa un descenso generalizado en el mes de enero, siendo a partir de este mes donde se aprecia un ligero aumento del contenido de nitrógeno en la mayoría de los suelos hasta el mes de mayo. Posteriormente en el mes de julio, los suelos presentan porcentajes más bajos de nitrógeno, a excepción del suelo correspondiente al pasillo desnudo donde se observa un ligero aumento. Mientras que en el mes de septiembre los niveles de nitrógeno vuelven a incrementarse un poco o se mantienen en casi todos los suelos (excepto en el pasillo desnudo y bajo la especie *Cistus albidus*).

Los valores medios de nitrógeno obtenidos entre los suelos de ambas parcelas, están comprendidos entre 0,2 y 0,7%. A lo largo del año de seguimiento se observan los valores más altos de nitrógeno en los suelos bajo *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*, siendo los suelos de ambos pasillos y bajo *Rosmarinus officinalis* los que presentan los valores más bajos de nitrógeno en prácticamente todos los meses analizados.

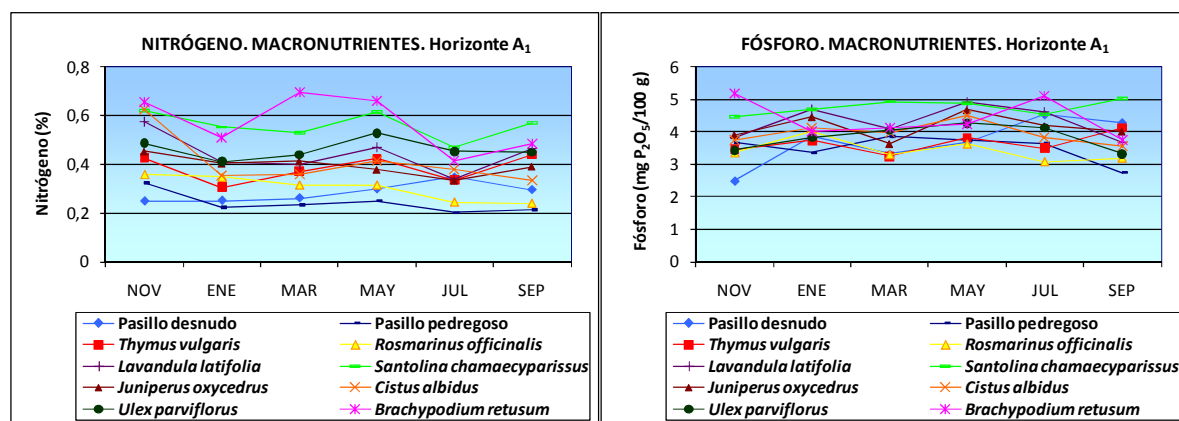


Figura 4.39. Variación del contenido de nitrógeno y fósforo a lo largo del año en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

En cuanto a los contenidos de **fósforo**, se observa un aumento generalizado desde el mes de noviembre hasta enero, a excepción del suelo correspondiente al pasillo pedregoso y bajo la especie *Brachypodium retusum* por presentar una disminución del nivel de fósforo. Seguidamente en el mes de marzo, se observa en general un ligero descenso en la mayoría de los suelos, mientras que en mayo los contenidos de fósforo se ven incrementados. Posteriormente en el mes de julio, los niveles de fósforo vuelven a disminuir en prácticamente todos los suelos (excepto en el pasillo desnudo y bajo *Brachypodium retusum*). Finalmente en el mes de septiembre, en la mayoría de los suelos se observa un descenso de los contenidos de fósforo, salvo en casos excepcionales que se dan en los

suelos bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Santolina chamaecyparissus*.

Los niveles medios de fósforo obtenidos entre los suelos de ambas parcelas, oscilan desde 2,5 hasta 5,2 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. Los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus*, *Lavandula latifolia* y *Brachypodium retusum*, son los que alcanzan mayores contenidos de fósforo a lo largo del año, mientras que los niveles más bajos se observan en la mayoría de los meses en los suelos de ambos pasillos y bajo la especie *Rosmarinus officinalis*.

#### 4.1.2.2.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de nitrógeno y fósforo

En la figura 4.40 se representan los valores máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, obtenidos en los contenidos de nitrógeno y fosforo en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

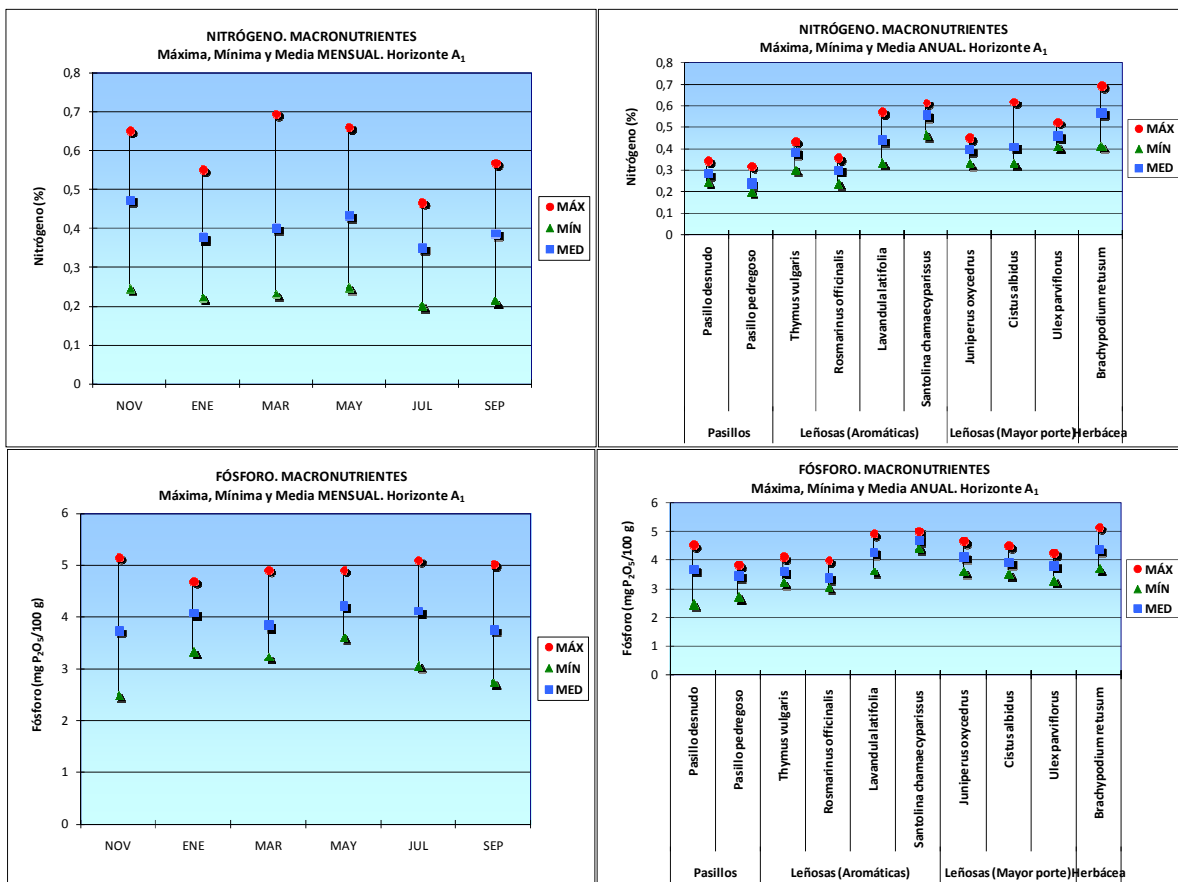


Figura 4.40. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en los contenidos de nitrógeno y fósforo en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios mensuales de **nitrógeno** obtenidos en los suelos superficiales, disminuyen en el mes de enero, posteriormente aumentan hasta el mes de mayo alcanzándose un porcentaje de 0,436%, siendo en julio donde dichos valores vuelven a descender hasta un contenido de 0,351%, observándose a continuación un ligero incremento en el mes de septiembre (0,388%).

Los contenidos de nitrógeno sufren mayor variación que los contenidos de fósforo en los meses de estudio, con valores máximos de nitrógeno para el mes de marzo (0,697%), seguido de mayo (0,663%) y noviembre (0,653%), siendo en dichos meses donde se observa una gran variabilidad. Mientras que los valores mínimos se alcanzan en el mes de julio (0,202%), mes con menor desviación que en el resto de los meses.

Las especies que aportan mayor contenido de nitrógeno al suelo a lo largo del año corresponden a *Brachypodium retusum* (0,570%), seguido de *Santolina chamaecyparissus* (0,559%), siendo en los suelos de ambos pasillos, desnudo (0,284%) y pedregoso (0,241%), así como bajo la especie *Rosmarinus officinalis* (0,304%), donde se observan los valores medios más bajos de nitrógeno. En general, los valores anuales del contenido de nitrógeno en los diferentes suelos presentan baja variabilidad, siendo en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum*, *Cistus albidus* y *Lavandula latifolia*, donde se observa un poco más de desviación respecto al resto de suelos.

En cuanto a los valores medios mensuales de **fósforo** obtenidos en los suelos superficiales a lo largo del año, se observa un aumento en el mes de enero, seguidamente los contenidos de fósforo presentan una disminución con valores de 3,85 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g en el mes de marzo, mientras que en mayo vuelven a incrementarse obteniéndose los valores más altos (4,24 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g). A partir de este mes es cuando los contenidos de fósforo descienden hasta el mes de septiembre, mes que presenta valores de 3,77 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g.

Los valores máximos y mínimos de fósforo se alcanzan en el mes de noviembre, con contenidos de 5,17 y 2,50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g respectivamente, por lo que se trata del mes que presenta mayor variabilidad.

Al igual que ocurría respecto al contenido de nitrógeno, las especies que aportan mayor contenido de fósforo al suelo a lo largo del año corresponden igualmente a *Santolina chamaecyparissus* (4,75 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g) y *Brachypodium retusum* (4,40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g). Mientras que los valores medios más bajos de fósforo se observan también en los suelos de ambos pasillos, desnudo (3,70 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g) y pedregoso (3,49 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g), así como bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* (3,43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g) y *Thymus vulgaris* (3,65 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g). De forma generalizada, se observa que los valores anuales del contenido de fósforo en los diferentes suelos presentan una baja variabilidad, siendo en el suelo correspondiente al pasillo desnudo donde se observa una desviación considerable.

#### **4.1.2.3. BASES DE CAMBIO (POTASIO, SODIO, MAGNESIO Y CALCIO) Y C.I.C. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL**

##### **4.1.2.3.1. Variación anual de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)**

El estudio de la variación de las bases de cambio y de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos de ambas parcelas, se ha llevado a cabo a nivel temporal y espacial, analizando para ello las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) de cada uno de los puntos de muestreo seleccionados.

La evolución de los valores medios obtenidos entre ambas parcelas, para cada una de las bases intercambiables (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup>) y de la capacidad de intercambio catiónico, se representa en la figura 4.41.

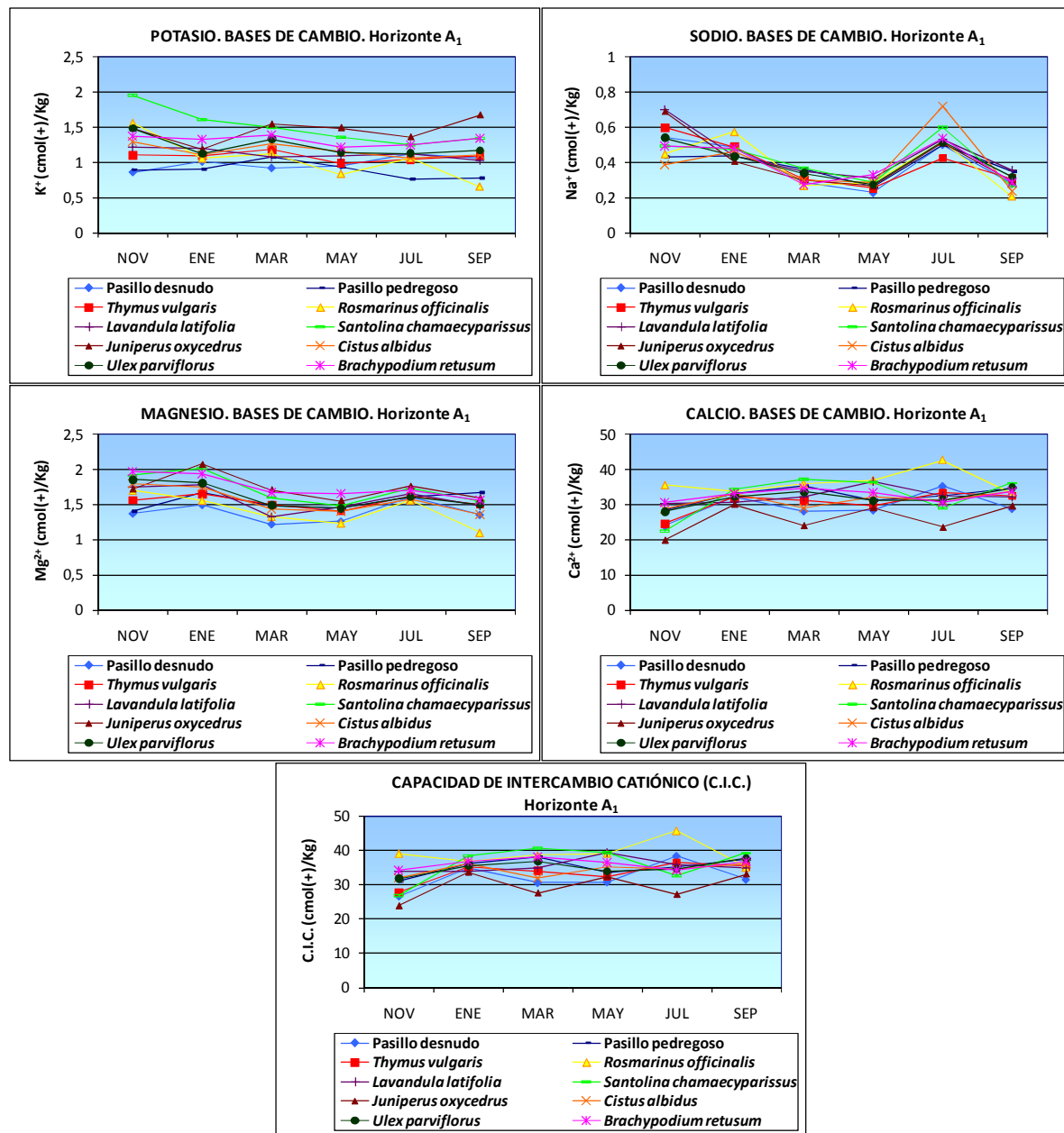
Los contenidos medios de **potasio** en los suelos oscilan entre 0,6 y 2 cmol(+)/Kg. En el mes de enero se observa una disminución generalizada de los contenidos de potasio (excepto los suelos correspondientes a ambos pasillos), posteriormente en marzo los niveles de potasio se ven incrementados en prácticamente todos los suelos, salvo en el suelo del pasillo desnudo, así como bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus* donde los niveles disminuyen. En cambio en el siguiente mes de mayo, en todas las muestras, a excepción únicamente del suelo del pasillo desnudo, se observa claramente un descenso en los contenidos de potasio. En julio los valores continúan disminuyendo en los suelos del pasillo pedregoso, bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus*, así como bajo *Juniperus oxycedrus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, observándose en el resto de suelos un aumento de los niveles de potasio. Finalmente en el mes de septiembre, se observa un ligero incremento en la mayoría de los suelos (excepto los suelos del pasillo desnudo, bajo *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia*).

Los valores medios de **sodio** están comprendidos entre 0,2 y 0,7 cmol(+)/Kg, siendo inferiores a los obtenidos anteriormente en los contenidos de potasio. En el mes de enero los niveles de sodio disminuyen en la mayoría de los suelos, salvo bajo las especies *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus* donde los contenidos de sodio sufren un aumento. Seguidamente desde el mes de marzo hasta mayo, todos los suelos experimentan de nuevo un descenso muy acusado en los niveles de sodio, a excepción del suelo bajo la especie *Brachypodium retusum* en el que se observa un aumento en el mes de mayo. En julio en cambio, los valores se incrementan bruscamente en todos los suelos, sin ninguna excepción, siendo a partir del siguiente mes de septiembre cuando otra vez se observa un acusado descenso en los niveles de sodio de todos los suelos.

Los contenidos medios de **magnesio** en los suelos varían desde 1,1 a 2,1 cmol(+)/Kg, siendo en general algo superiores a los niveles de potasio. En cuanto a la variación de los niveles de magnesio a lo largo del año, indicar que es bastante similar a lo observado con anterioridad para los contenidos de sodio. En el mes de enero la mayoría de los suelos presentan un aumento de los contenidos de magnesio, salvo los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum* que sufren una disminución. Posteriormente a partir de enero hasta el mes de mayo, los niveles de magnesio van disminuyendo en prácticamente todas las muestras, a excepción de los suelos del pasillo desnudo y bajo *Lavandula latifolia*, en los que se observa un ligero aumento el mes de mayo. Para el mes de julio sin embargo, los contenidos de magnesio experimentan de forma generalizada un incremento en todos los suelos, siendo en septiembre cuando de nuevo se observa una disminución de los niveles de magnesio en la mayoría de los suelos, a excepción únicamente del suelo correspondiente al pasillo pedregoso.

Los niveles medios de **calcio** están comprendidos entre 20 y 43 cmol(+)/Kg. En enero los contenidos de calcio de prácticamente todos los suelos experimentan un incremento respecto al mes de noviembre, salvo en el suelo bajo *Rosmarinus officinalis* donde se observa una ligera disminución. En el mes de marzo los niveles de calcio continúan aumentando en los suelos del pasillo pedregoso, bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*, así como bajo *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, siendo en el resto de suelos donde disminuyen los contenidos de calcio. Seguidamente en mayo, descienden los niveles de calcio en los suelos del pasillo pedregoso, bajo *Thymus vulgaris*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, aumentando en los demás suelos. En julio los contenidos de calcio

presentan un incremento en los suelos de ambos pasillos (desnudo y pedregoso) y bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus*, observándose una disminución en el resto de suelos. Y en septiembre la mayoría de los suelos ven incrementados los niveles de calcio, salvo los suelos correspondientes al pasillo desnudo y bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia*, en los que los contenidos de calcio descienden.



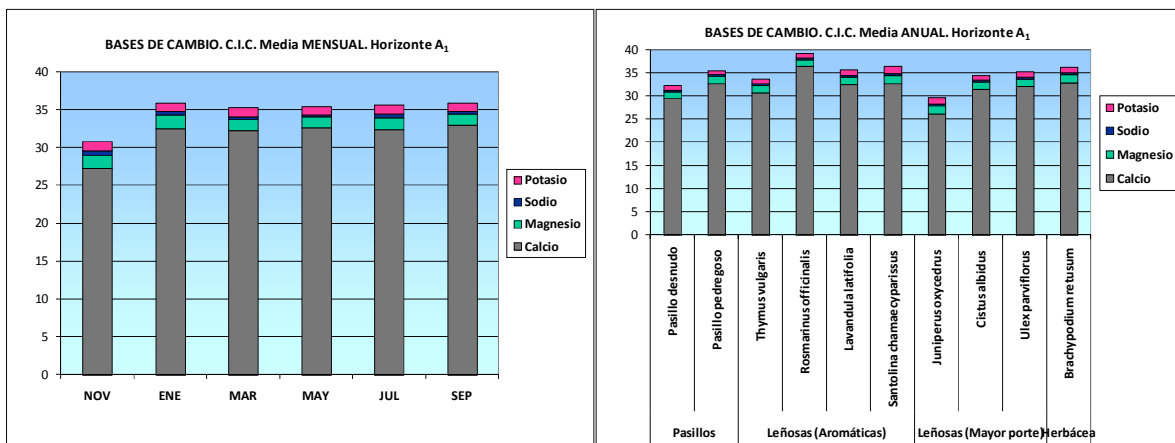
**Figura 4.41.** Evolución de los contenidos de potasio, sodio, magnesio, calcio y C.I.C. a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

En cuanto a los valores medios de **capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)** que presentan los suelos, éstos oscilan entre 23 y 46 cmol(+)/Kg. En el mes de enero en todos los suelos se observa un aumento generalizado de los valores de C.I.C., a excepción únicamente del suelo bajo *Rosmarinus officinalis* en el que desciende dicho valor. Posteriormente en el mes de marzo, los valores de C.I.C. continúan incrementándose en prácticamente todos los suelos, salvo en el pasillo desnudo y bajo las especies *Thymus*

*vulgaris*, *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus* donde estos valores disminuyen. En el siguiente mes de mayo, los suelos que presentan un descenso en los valores de C.I.C. son los correspondientes al pasillo pedregoso y bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*; sin embargo en este mes los valores de C.I.C. aumentan en los suelos del pasillo desnudo y bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia*, *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus*. A continuación en julio, los valores de C.I.C. se ven incrementados bruscamente en los suelos de ambos pasillos y bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus*, siendo en el resto de suelos donde los valores descienden. Finalmente en el mes de septiembre, la mayoría de los suelos experimentan un aumento de los valores de C.I.C., salvo en el pasillo desnudo y bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia*, en los que disminuyen dichos valores.

#### 4.1.2.3.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)

La figura 4.42 muestra los valores medios mensuales y anuales obtenidos en las bases de cambio ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$ ), de forma conjunta, y al mismo tiempo se representan también los valores obtenidos en la capacidad de cambio, para cada mes y para los diferentes suelos.



**Figura 4.42.** Valores medios mensuales y anuales de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y C.I.C. obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

En estos gráficos se distingue claramente que las bases intercambiables predominan en los suelos de la siguiente forma: **Calcio > Magnesio > Potasio > Sodio**

En la figura 4.43 se representan los valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en las bases intercambiables ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$ ) y en la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios de **potasio** obtenidos en los suelos, disminuyen en el mes de enero hasta 1,16 cmol(+)/Kg, seguidamente presentan un ligero incremento en marzo (1,24 cmol(+)/Kg), y a partir del mes de mayo hasta septiembre los contenidos de potasio se mantienen constantes con valores de 1,12 cmol(+)/Kg.



Los valores máximos de potasio se dan en el mes de noviembre (1,96 cmol(+)/Kg) y septiembre (1,67 cmol(+)/Kg), siendo también en dichos meses donde se observa una gran variabilidad. En cuanto a los valores mínimos, también se alcanzan en el mes de septiembre (0,65 cmol(+)/Kg).

Los suelos que presentan mayor contenido de potasio a lo largo del año corresponden a suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* (1,50 cmol(+)/Kg) y *Juniperus oxycedrus* (1,46 cmol(+)/Kg), mientras que los suelos de ambos pasillos, desnudo y pedregoso (0,99 y 0,89 cmol(+)/Kg, respectivamente), así como bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris* (1,08 cmol(+)/Kg) y *Rosmarinus officinalis* (1,05 cmol(+)/Kg), son los que contienen los valores medios más bajos de potasio.

Los valores anuales del contenido de potasio en los diferentes suelos, de forma generalizada, presentan muy baja variabilidad, siendo únicamente en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* y *Santolina chamaecyparissus* donde se observa un poco más de desviación respecto al resto de suelos.

Respecto a los valores medios de **sodio** obtenidos en los suelos superficiales, se observa que desde el mes de noviembre hasta mayo dichos valores van descendiendo mes tras mes, siendo en el mes de marzo donde disminuyen de forma más acusada. En este período los contenidos de sodio descienden de 0,53 cmol(+)/Kg obtenidos en noviembre hasta alcanzar 0,28 cmol(+)/Kg en mayo. Posteriormente en el mes de julio, los niveles de sodio se ven incrementados bruscamente, obteniéndose de nuevo valores similares a los alcanzados en el mes de noviembre (0,53 cmol(+)/Kg). En cambio en septiembre, los contenidos de sodio vuelven a descender de manera acusada hasta obtener valores de 0,29 cmol(+)/Kg.

Los valores máximos de sodio se observan en el mes de julio (0,72 cmol(+)/Kg) y noviembre (0,70 cmol(+)/Kg), meses que también presentan mayor variabilidad. Mientras que los valores mínimos de sodio se alcanzan en los meses de septiembre (0,21 cmol(+)/Kg) y mayo (0,23 cmol(+)/Kg).

El suelo bajo la especie aromática *Lavandula latifolia* es el que obtiene mayor contenido medio de sodio a lo largo del año, alcanzando un valor de 0,45 cmol(+)/Kg. El resto de suelos presentan niveles medios de sodio muy similares entre ellos, que oscilan entre 0,39 y 0,41 cmol(+)/Kg, siendo el suelo bajo la especie *Rosmarinus officinalis* el que alcanza el menor contenido medio de sodio con 0,38 cmol(+)/Kg.

En cuanto a los valores máximos anuales de sodio, éstos se registran en los suelos bajo *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia* y *Juniperus oxycedrus* (0,72, 0,70 y 0,69 cmol(+)/Kg, respectivamente), suelos que también presentan valores altos de desviación. Mientras que los valores mínimos anuales de sodio se obtienen en el suelo bajo *Rosmarinus officinalis* (0,21 cmol(+)/Kg).

Los valores medios de **magnesio** obtenidos en los suelos, aumentan en el mes de enero, observándose contenidos de 1,77 cmol(+)/Kg, siendo éstos los mayores niveles alcanzados a lo largo del año. Posteriormente, a partir de enero hasta el mes de mayo los contenidos de magnesio van disminuyendo, obteniéndose en este último mes niveles de 1,44 cmol(+)/Kg. En julio en cambio, dichos valores vuelven a incrementarse, presentando valores de 1,64 cmol(+)/Kg. Y en septiembre nuevamente sufren un descenso los contenidos de magnesio alcanzando 1,47 cmol(+)/Kg.

En cuanto a los valores máximos de magnesio, se registran en los meses de enero (2,07 cmol(+)/Kg) y noviembre (1,97 cmol(+)/Kg), siendo en estos meses donde también se presenta mayor variabilidad. En cambio, los valores mínimos se obtienen en el mes de septiembre (1,10 cmol(+)/Kg).

Las especies que aportan los mayores contenidos medios de magnesio al suelo a lo largo del año corresponden a *Brachypodium retusum* (1,75 cmol(+)/Kg), seguido de *Juniperus oxycedrus* (1,73 cmol(+)/Kg) y *Santolina chamaecyparissus* (1,71 cmol(+)/Kg), suelos en los que también se registran los valores máximos anuales de magnesio. Mientras que los valores medios más bajos de magnesio se obtienen en los suelos del pasillo desnudo (1,38 cmol(+)/Kg) y bajo la especie *Rosmarinus officinalis* (1,41 cmol(+)/Kg), donde también se alcanzan los valores mínimos anuales de magnesio.

Los valores anuales del contenido de magnesio en los diferentes suelos, en general, presentan baja variabilidad, sobretodo en los suelos correspondientes al pasillo pedregoso y bajo *Thymus vulgaris* donde se observa menor desviación respecto al resto de suelos.

Los valores medios de **calcio** obtenidos en los suelos, se ven incrementados en el mes de enero con respecto al mes de noviembre, siendo en este último donde se alcanzan los menores contenidos de calcio a lo largo del año con valores de 27,20 cmol(+)/Kg. A partir de enero hasta el mes de septiembre, los niveles medios de calcio de los suelos se mantienen bastante estables, obteniéndose valores muy similares en dicho período que oscilan entre 32,16 cmol(+)/Kg (en marzo) y 32,91 cmol(+)/Kg (en septiembre).

En cuanto a los valores máximos de calcio, se alcanzan en el mes de julio con valores de 42,66 cmol(+)/Kg, mientras que los contenidos mínimos de calcio se obtienen en noviembre (19,94 cmol(+)/Kg), siendo en ambos meses (julio y noviembre) donde se observa una gran variabilidad. En cambio el mes de enero, es el que presenta menor desviación.

El suelo bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis* es el que obtiene mayor contenido medio de calcio a lo largo del año, presentando un valor de 36,30 cmol(+)/Kg. Mientras que los menores niveles medios de calcio se alcanzan en suelos bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (26,03 cmol(+)/Kg) y *Thymus vulgaris* (30,56 cmol(+)/Kg), así como en el suelo correspondiente al pasillo desnudo (29,43 cmol(+)/Kg). El resto de suelos presentan valores medios de calcio muy parecidos entre ellos que oscilan entre 31,32 y 32,70 cmol(+)/Kg.

Los valores anuales de los niveles de calcio en los diferentes suelos en general presentan baja variabilidad, siendo solamente en los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* donde se observa una desviación mayor que en el resto de suelos.

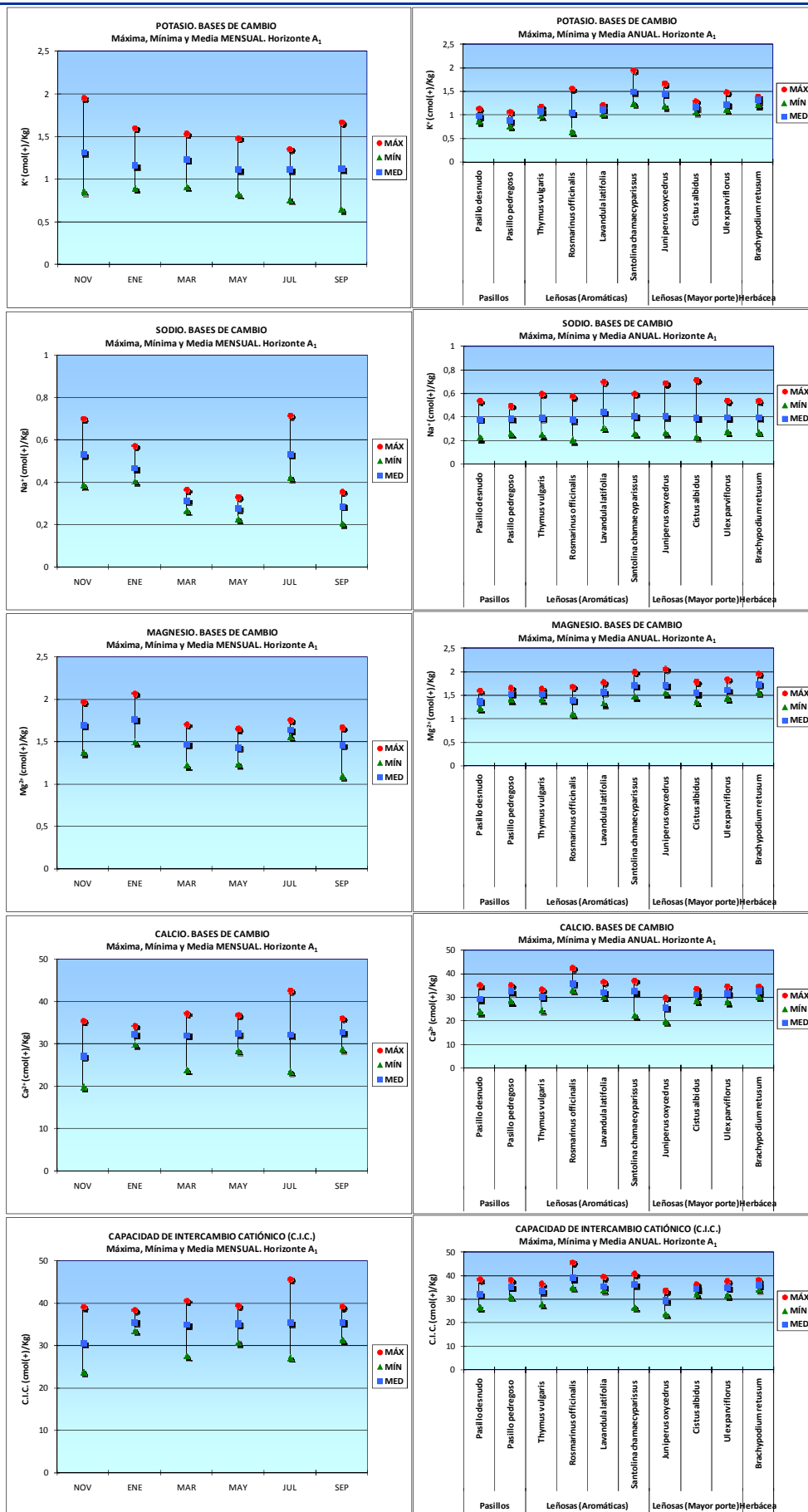


Figura 4.43. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de potasio, sodio, magnesio, calcio y C.I.C., obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios obtenidos de **capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)** en los suelos, al igual que lo observado anteriormente en los contenidos de calcio, aumentan en el mes de enero con respecto al mes de noviembre, obteniéndose los menores valores de C.I.C. a lo largo del año en este mes de noviembre (30,76 cmol(+)/Kg). Desde enero hasta el mes de septiembre, los valores medios de C.I.C. de los suelos se mantienen muy estables, alcanzándose valores prácticamente iguales en todos los meses de dicho período, pues varían de 35,19 cmol(+)/Kg (en marzo) a 35,83 cmol(+)/Kg (en enero).

Al igual que lo observado en el caso de los contenidos de calcio, los valores máximos de C.I.C. se obtienen en el mes de julio alcanzándose un valor de 45,79 cmol(+)/Kg, y los valores mínimos de C.I.C. son registrados también en noviembre (23,84 cmol(+)/Kg), siendo en estos dos meses (julio y noviembre) donde se presenta mayor variabilidad. El mes que obtiene una menor desviación también es enero, como en el caso de los niveles de calcio.

El suelo que alcanza el mayor valor medio de C.I.C. a lo largo del año es el suelo bajo la especie *Rosmarinus officinalis* (igual que lo observado en los niveles de calcio), obteniendo un valor de 39,14 cmol(+)/Kg. Mientras que los valores medios más bajos de C.I.C. se observan en el suelo bajo la especie *Juniperus oxycedrus* (29,63 cmol(+)/Kg). El resto de suelos presentan valores medios de C.I.C. con pocas diferencias entre ellos, con valores comprendidos entre 32,19 y 36,25 cmol(+)/Kg.

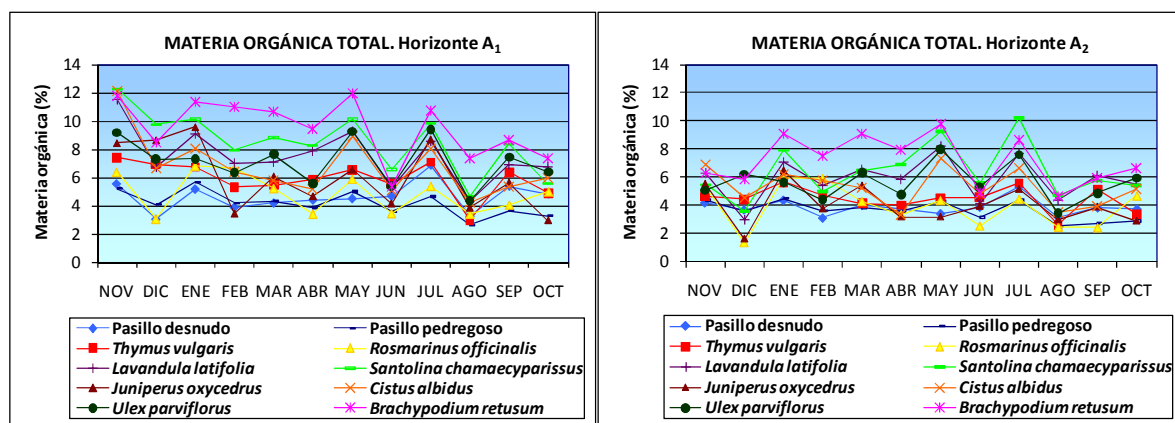
En general, los valores anuales de los valores de C.I.C. en los diferentes suelos presentan una variabilidad bastante baja, siendo únicamente en los suelos bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus* donde se observa una mayor desviación con respecto al resto de suelos.

#### 4.1.2.4. MATERIA ORGÁNICA TOTAL. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

##### 4.1.2.4.1. Variación anual de la materia orgánica total

Para estudiar la evolución temporal y espacial del contenido de materia orgánica total de los suelos de ambas parcelas, se ha llevado a cabo un seguimiento mensual, tanto de los horizontes superficiales ( $A_1$ ) como de los subsuperficiales ( $A_2$ ), con el fin de determinar cómo varía esta propiedad química a lo largo del año objeto de estudio.

En la figura 4.44 se muestran los valores medios de la materia orgánica total del suelo obtenidos entre ambas parcelas a lo largo del año, para las muestras de suelo superficiales (horizonte  $A_1$ ) y subsuperficiales (horizonte  $A_2$ ) de los diferentes puntos de muestreo.



**Figura 4.44.** Variación de los contenidos de materia orgánica total del suelo a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte  $A_1$ ) y subsuperficiales (horizonte  $A_2$ ).

Los valores medios obtenidos de la materia orgánica total de los diferentes suelos a lo largo del año de seguimiento, están comprendidos entre 2,62 y 12,27% para el caso de los horizontes superficiales ( $A_1$ ), mientras que los horizontes más profundos ( $A_2$ ) presentan una variación en los contenidos medios de materia orgánica que van desde 1,36 a 10,23%. Por lo tanto, se obtienen mayores porcentajes de materia orgánica en los horizontes superficiales que en los más profundos.

El contenido en materia orgánica total sigue una pauta similar en ambos horizontes. En el mes de diciembre se observa una disminución generalizada de los niveles de materia orgánica en prácticamente todos los suelos, salvo en los suelos bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (horizonte  $A_1$ ) y *Ulex parviflorus* (horizonte  $A_2$ ), donde los contenidos de materia orgánica se incrementan. Posteriormente en febrero, todos los suelos tanto superficiales como subsuperficiales ven disminuidos los niveles de materia orgánica. En el mes de marzo en la mayoría de los suelos se observa un aumento de dichos contenidos, a excepción de los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis* (horizonte  $A_1$  y  $A_2$ ), *Thymus vulgaris* (horizonte  $A_2$ ) y *Cistus albidus* (horizonte  $A_1$  y  $A_2$ ), en los que los niveles de materia orgánica descienden. Seguidamente en abril, los valores de materia orgánica vuelven a disminuir de forma generalizada en casi todos los suelos, salvo en los correspondientes a pasillo desnudo (horizonte  $A_1$ ), y bajo las especies aromáticas *Thymus vulgaris* y *Lavandula latifolia* (ambos en el horizonte  $A_1$ ), así como bajo *Santolina chamaecyparissus* en el horizonte  $A_2$ . En cambio en mayo, los contenidos de materia orgánica aumentan de manera acusada en prácticamente todos los suelos, siendo la única excepción el suelo del pasillo desnudo (horizonte  $A_1$ ) dado que dichos niveles disminuyen.

En junio se observa en general que la mayoría de los suelos experimentan una brusca disminución de los contenidos de materia orgánica, salvo los suelos del pasillo desnudo (horizonte A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>) y bajo las especies *Thymus vulgaris* y *Juniperus oxycedrus* (ambos en el horizonte A<sub>1</sub>), en los que se observa un ligero aumento de los niveles. Posteriormente en julio, vuelven a incrementarse de forma acusada los valores de materia orgánica en todos los suelos, tanto superficiales como subsuperficiales. En cambio a continuación en el mes de agosto, los niveles de materia orgánica sufren de nuevo un descenso muy brusco en todas las muestras de suelo superficiales y subsuperficiales. En septiembre se observa que los contenidos de materia orgánica se incrementan otra vez en prácticamente todos los suelos, siendo la única excepción el suelo bajo la especie *Rosmarinus officinalis* pues presenta un ligero descenso. Y finalmente en octubre, en casi todas las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) disminuyen los niveles de materia orgánica, a excepción de los suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*. Mientras que en las muestras de suelo subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>), se observa que los contenidos aumentan en los suelos correspondientes a pasillo pedregoso, así como bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, siendo en el resto de suelos donde los niveles descienden.

Tras analizar detenidamente los valores medios mensuales obtenidos de materia orgánica en los diferentes suelos, se observan unas oscilaciones continuas de aumentos y descensos en dichos contenidos a lo largo del año.

El efecto de la cobertura vegetal influye de forma importante en el contenido de materia orgánica de los suelos. Así los suelos de ambos pasillos (desprovistos de vegetación) son los que presentan menores contenidos de materia orgánica total en la mayoría de los meses, además del suelo bajo la especie *Rosmarinus officinalis* donde también se observan niveles más bajos. Mientras que los contenidos más elevados de materia orgánica total se obtienen en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*.

En la figura 4.45 se comparan los contenidos de materia orgánica total obtenidos mensualmente en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>) para cada punto de muestreo. En estos gráficos se distingue claramente que en la mayoría de los meses los niveles de materia orgánica total son superiores en los horizontes superficiales (A<sub>1</sub>) que en los subsuperficiales (A<sub>2</sub>), salvo en los siguientes casos en los que ocurre lo contrario, es decir, M.O. de horizonte A<sub>2</sub> > M.O. de horizonte A<sub>1</sub>:

- Pasillo desnudo: Mes de diciembre.
- *Lavandula latifolia*: Mes de agosto.
- *Santolina chamaecyparissus*: Mes de julio y agosto.
- *Juniperus oxycedrus*: Mes de febrero.

Por lo tanto, en el resto de los suelos como son en el pasillo pedregoso y bajo *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, los contenidos mensuales de materia orgánica total predominan de la siguiente manera M.O. de horizonte A<sub>1</sub> > M.O. de horizonte A<sub>2</sub>.

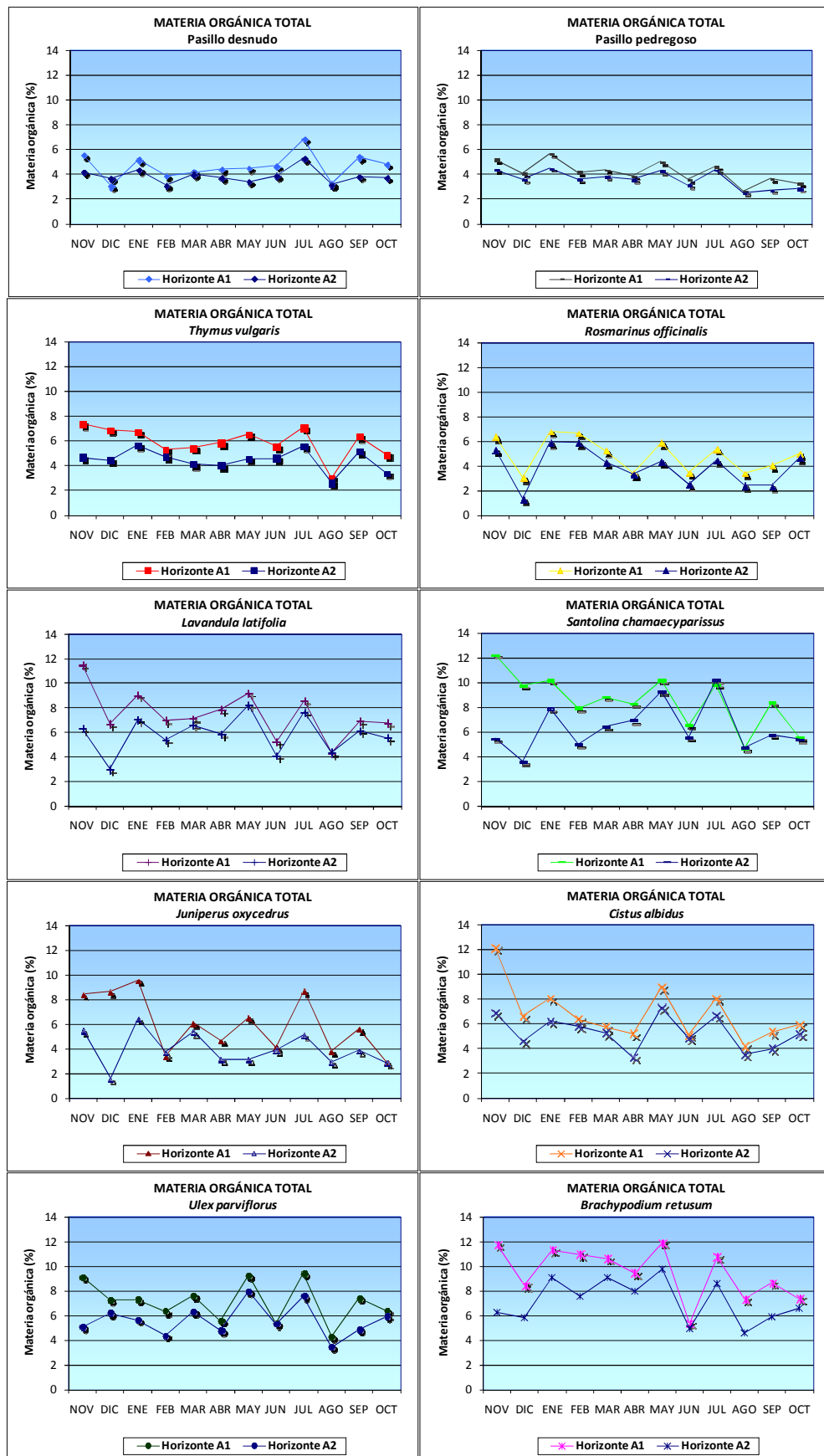
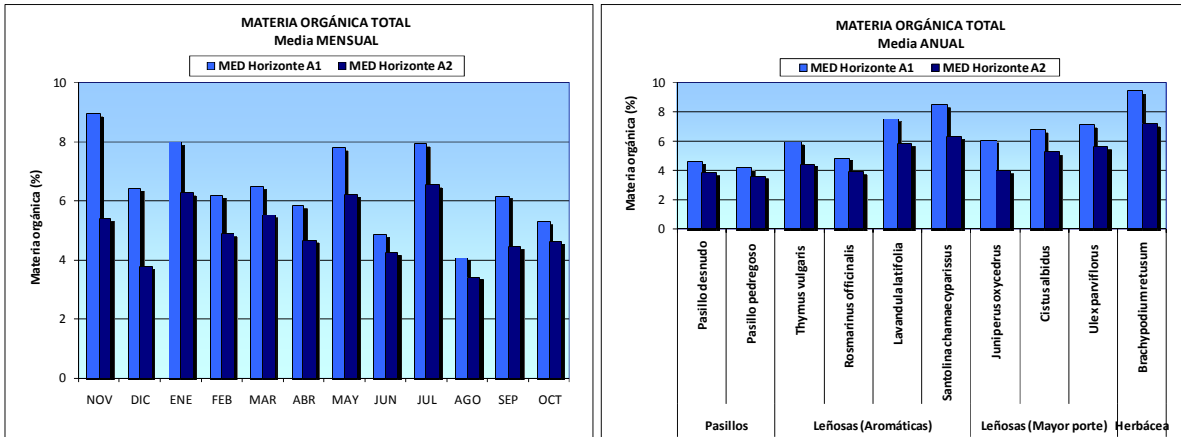


Figura 4.45. Evolución de la materia orgánica total del suelo a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>) de cada punto de muestreo.

### 4.1.2.4.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la materia orgánica total

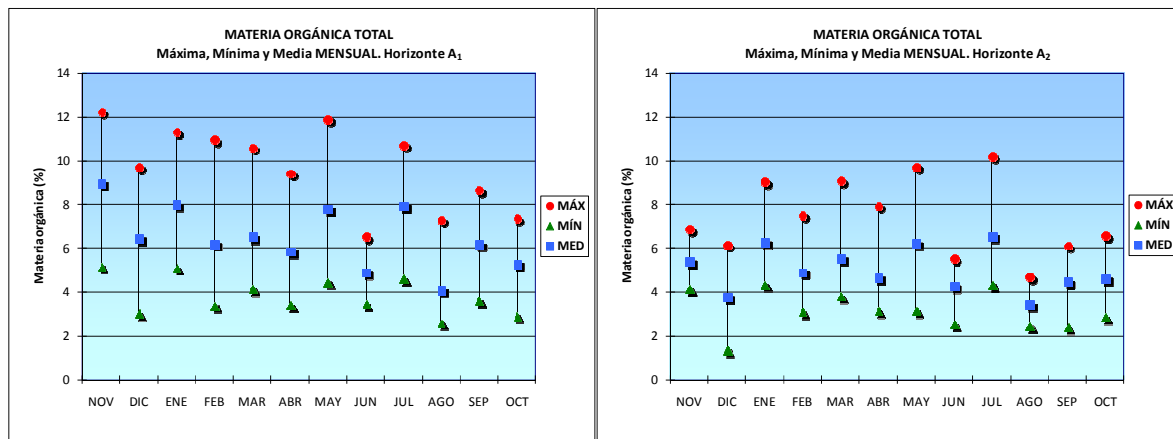
En la figura 4.46 se muestran los valores medios de materia orgánica total, mensuales y anuales, y se comparan los contenidos obtenidos entre ambos horizontes.



**Figura 4.46.** Valores medios mensuales y anuales de materia orgánica total obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

Tanto en los valores medios mensuales como anuales de materia orgánica total se observa claramente de forma generalizada, que en todos los meses del año y en todos los suelos los niveles de materia orgánica son más altos en los horizontes superficiales (A<sub>1</sub>) que en los más profundos (A<sub>2</sub>).

En las figuras 4.47 y 4.48 se representan los contenidos de materia orgánica total máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).



**Figura 4.47.** Valores máximos, mínimos y medios mensuales de materia orgánica total obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>).

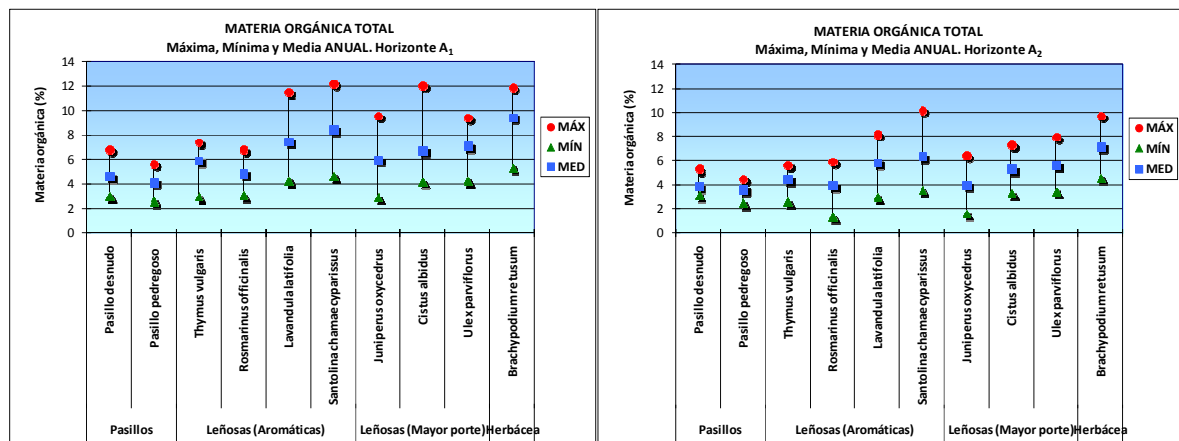
Los valores medios mensuales de materia orgánica total de los horizontes superficiales (A<sub>1</sub>), en general tienden a descender desde los meses fríos a los más calurosos, observándose el mayor contenido medio de materia orgánica en noviembre (8,98%) y en agosto (4,10%) el valor medio más bajo. No obstante, para los meses de mayo y julio se incrementan de forma generalizada estos valores medios en la mayoría de los puntos de



muestreo. En cuanto a los horizontes más profundos ( $A_2$ ), los valores medios obtenidos de materia orgánica total varían desde 3,44 hasta 6,56%.

Los valores mensuales de materia orgánica obtenidos para los horizontes superficiales ( $A_1$ ) presentan elevada variabilidad en todos los meses del año, excepto en junio donde se observa una desviación más baja que en el resto de meses. Para los horizontes más profundos ( $A_2$ ) la variabilidad es algo inferior que en los superficiales, así como el contenido de materia orgánica total, siendo en los meses de mayo y julio donde se presenta una mayor variabilidad.

Los valores máximos mensuales de materia orgánica total para los horizontes  $A_1$  se obtienen en los meses de noviembre (12,27%) y mayo (11,93%), siendo en el mes de agosto (2,62%) donde se observan los valores mínimos. Mientras que para los horizontes  $A_2$ , los contenidos máximos mensuales de materia orgánica total se alcanzan en los meses de julio (10,23%) y mayo (9,77%), observándose los valores mínimos en el mes de diciembre (1,36%).



**Figura 4.48.** Valores máximos, mínimos y medios anuales de materia orgánica obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte  $A_1$ ) y subsuperficiales (horizonte  $A_2$ ).

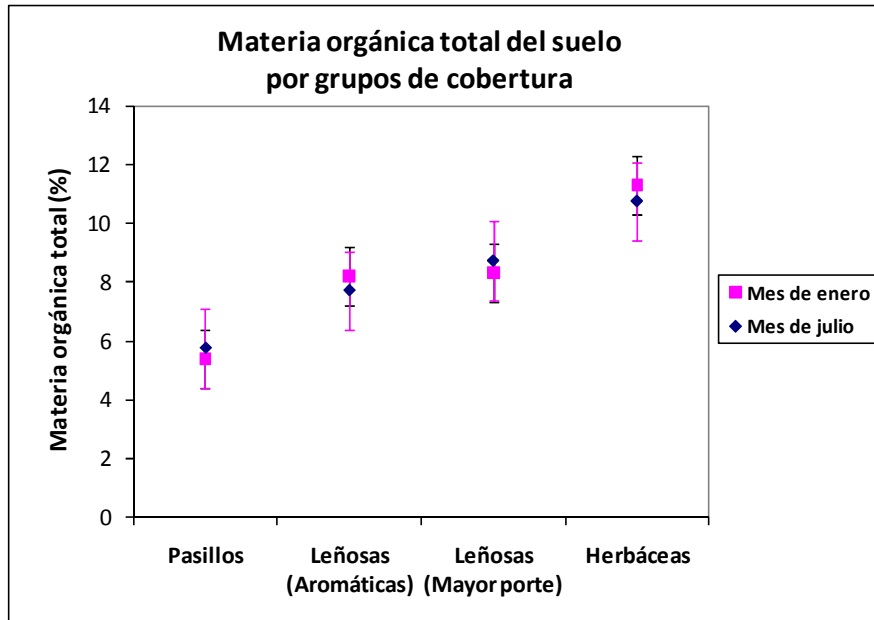
En cuanto a los valores medios anuales de materia orgánica total obtenidos en los horizontes superficiales ( $A_1$ ) y subsuperficiales ( $A_2$ ), los mayores contenidos se alcanzan en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* (9,51% en  $A_1$  y 7,19% en  $A_2$ ) y *Santolina chamaecyparissus* (8,53% en  $A_1$  y 6,36% en  $A_2$ ). Le siguen con valores medios intermedios de materia orgánica, los suelos bajo *Lavandula latifolia* (7,52% en  $A_1$  y 5,84% en  $A_2$ ), *Ulex parviflorus* (7,13% en  $A_1$  y 5,63% en  $A_2$ ) y *Cistus albidus* (6,80% en  $A_1$  y 5,29% en  $A_2$ ), mientras que los valores medios más bajos de materia orgánica se obtienen en los suelos de ambos pasillos, desnudo (4,64% en  $A_1$  y 3,87% en  $A_2$ ) y pedregoso (4,18% en  $A_1$  y 3,62% en  $A_2$ ), y bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis* (4,90% en  $A_1$  y 3,94% en  $A_2$ ).

Los valores anuales obtenidos de materia orgánica total presentan de forma generalizada una mayor variabilidad en los horizontes superficiales ( $A_1$ ) que en los más profundos ( $A_2$ ), siendo en los suelos correspondientes a los pasillos donde se observan unas desviaciones más bajas.

Los valores máximos anuales de materia orgánica total para los horizontes  $A_1$  se obtienen en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* (12,27%), *Cistus albidus* (12,12%) y *Brachypodium retusum* (11,93%) con valores bastante similares, observándose los valores mínimos en los suelos del pasillo pedregoso (2,62%) y bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (2,95%) y *Thymus vulgaris* (2,98%). Para los horizontes  $A_2$ , los niveles

máximos anuales de materia orgánica también se alcanzan en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* (10,23%) y *Brachypodium retusum* (9,77%), mientras que los valores mínimos se obtienen en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (1,36%) y *Juniperus oxycedrus* (1,60%).

El contenido de materia orgánica total de los suelos de la zona de estudio, depende del tipo de plantas que lo recubren y que aportan restos vegetales que se incorporan a él.



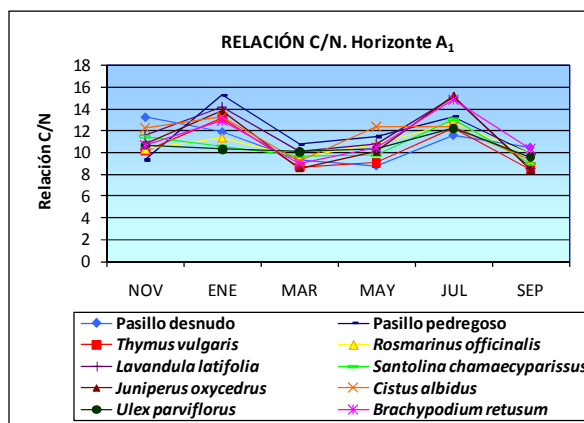
**Figura 4.49.** Contenidos medios de materia orgánica total del suelo por grupos de cobertura, obtenidos en las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en los meses de enero y julio.

La figura 4.49 muestra como al aumentar la cobertura vegetal del suelo también aumenta su contenido de materia orgánica total. No obstante, no se observan diferencias significativas entre los meses de enero (época invernal) y julio (época estival) en ninguno de los tipos de cobertura del suelo. En los espacios de suelo correspondientes a pasillos (desprovistos de vegetación) se obtienen los contenidos medios más bajos de materia orgánica entre estos dos meses (5,57%). Los contenidos intermedios de materia orgánica se observan en los espacios de suelo cubiertos por especies aromáticas subarborescentes (7,95%) y leñosas arbustivas de mayor porte (8,52%), grupos de cobertura que presentan menores diferencias significativas entre ellos. Mientras que los contenidos medios más altos se presentan en los suelos cubiertos con herbáceas (*Brachypodium retusum*), donde se obtienen contenidos de materia orgánica de 11,04%.

#### 4.1.2.5. RELACIÓN C/N. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

##### 4.1.2.5.1. Variación anual de la relación C/N

En el estudio de la variación temporal y espacial de la relación C/N en los distintos puntos de muestreo de ambas parcelas, se ha realizado un seguimiento bimensual en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>). Los valores medios de la relación C/N del suelo obtenidos entre ambas parcelas, son los que se muestran en la figura 4.50.



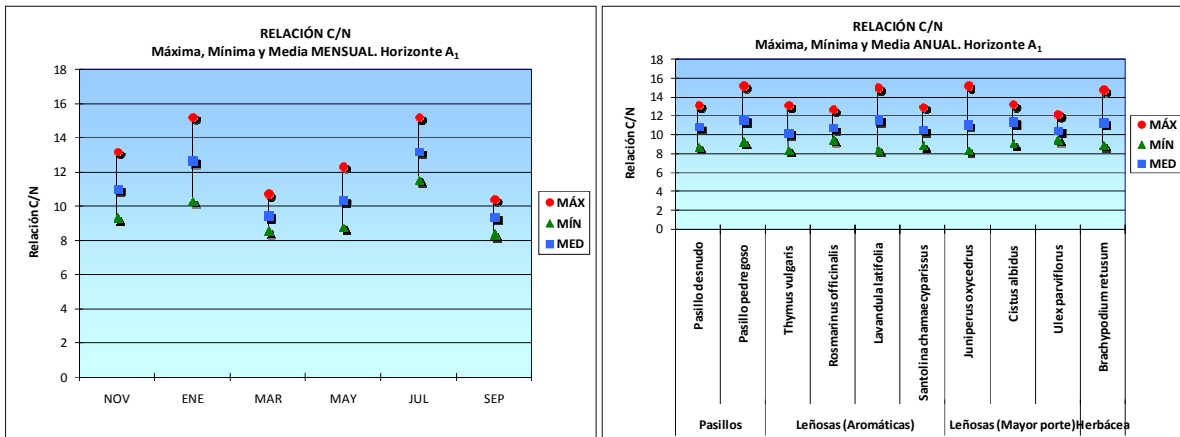
**Figura 4.50.** Evolución de la relación C/N a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios de la relación C/N obtenidos entre los horizontes superficiales de ambas parcelas, están comprendidos entre 8,38 y 15,27. En el mes de enero se observa un aumento generalizado de los valores de relación C/N, a excepción de los suelos correspondientes al pasillo desnudo y bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* y *Ulex parviflorus*, donde los valores en cambio disminuyen. Posteriormente en marzo, los valores de relación C/N experimentan un brusco descenso en todos los suelos, mientras que a partir del mes de marzo hasta julio se observa de forma generalizada un incremento de los valores de relación C/N. Finalmente en el mes de septiembre, los valores de relación C/N vuelven a descender de forma acusada en todos los suelos.

En general, se observa que este parámetro químico presenta grandes variaciones a lo largo del año, con bruscos aumentos en los meses de enero y julio, y pronunciados descensos en marzo y septiembre.

##### 4.1.2.5.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de la relación C/N

Los valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en la relación C/N de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) se muestran en la figura 4.51.



**Figura 4.51.** Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, obtenidos en la relación C/N de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios mensuales de la relación C/N de los horizontes superficiales se incrementan de forma considerable en el mes de enero, alcanzándose un valor medio de 12,68. Seguidamente en marzo, se observa una disminución acusada donde se obtiene un valor medio de 9,48 en la relación C/N de los suelos. En el período comprendido desde marzo a julio, los valores se van incrementando hasta alcanzar en el mes de julio un valor medio de 13,26, siendo éste el más alto obtenido a lo largo del año. Mientras que en septiembre, los valores experimentan de nuevo un brusco descenso donde se llega a observar un valor de 9,38, menor valor medio de la relación C/N obtenido durante el año en los suelos.

Los valores máximos mensuales de la relación C/N se alcanzan en los meses de enero (15,27) y julio (15,23), siendo también en dichos meses en los que se observa mayor variabilidad. En cambio, los valores mínimos se obtienen en los meses de marzo y septiembre, con valores muy similares de 8,56 y 8,38 respectivamente, meses que al mismo tiempo presentan las desviaciones más bajas.

En cuanto a los valores medios anuales obtenidos en la relación C/N, se observa poca variación entre los diferentes suelos dado que oscilan entre 10,28 (bajo *Thymus vulgaris*) y 11,71 (bajo *Lavandula latifolia*).

Los valores máximos anuales de la relación C/N se alcanzan en los suelos correspondientes al pasillo pedregoso (15,27), así como bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (15,23) y *Lavandula latifolia* (15,04), siendo en estos suelos donde también se presenta una mayor variabilidad. Los valores mínimos anuales de la relación C/N se observan también, al igual que lo obtenido en los máximos, en los suelos bajo las especies *Juniperus oxycedrus* (8,38) y *Lavandula latifolia* (8,47), así como en el suelo bajo *Thymus vulgaris* (8,43). Mientras que las desviaciones más bajas a lo largo del año se presentan en los suelos bajo las especies *Ulex parviflorus* y *Rosmarinus officinalis*.

#### 4.1.2.6. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO MEDIANTE OXIDACIÓN: ÁCIDOS HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS Y HUMINAS. ÍNDICES DE LA COMPOSICIÓN HÚMICA. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

##### 4.1.2.6.1. Variación anual de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas determinados mediante oxidación y de los índices de la composición húmica

Además de analizar la materia orgánica total que contiene cada una de las muestras de suelo de ambas parcelas, se han determinado mediante los correspondientes métodos analíticos (oxidación), los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y las huminas, es decir, la composición o fraccionamiento de la materia orgánica. A partir de dichos valores se han calculado los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación).

Cada una de estas fracciones e índices se ha estudiado bimensualmente, únicamente en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) de los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose los valores medios entre ambas parcelas que se muestran en la figura 4.52.

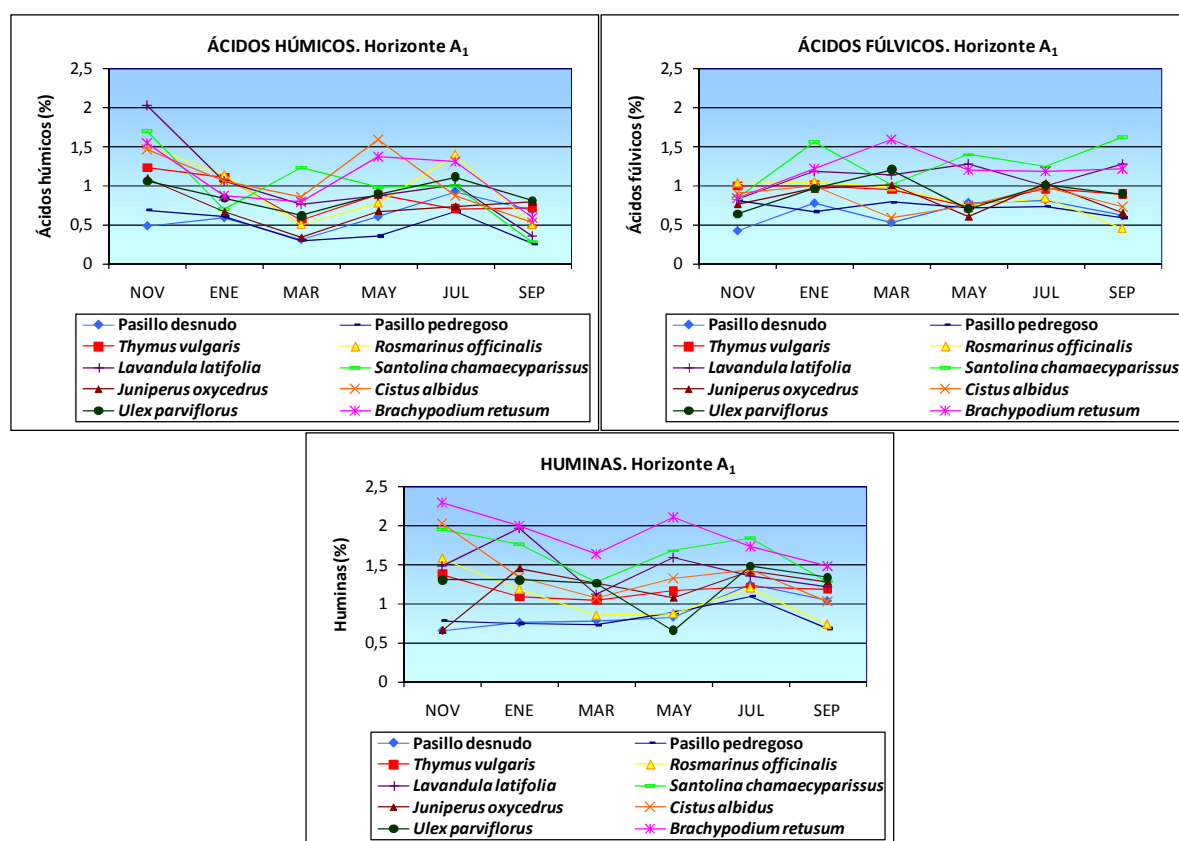


Figura 4.52. Variación de los contenidos de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

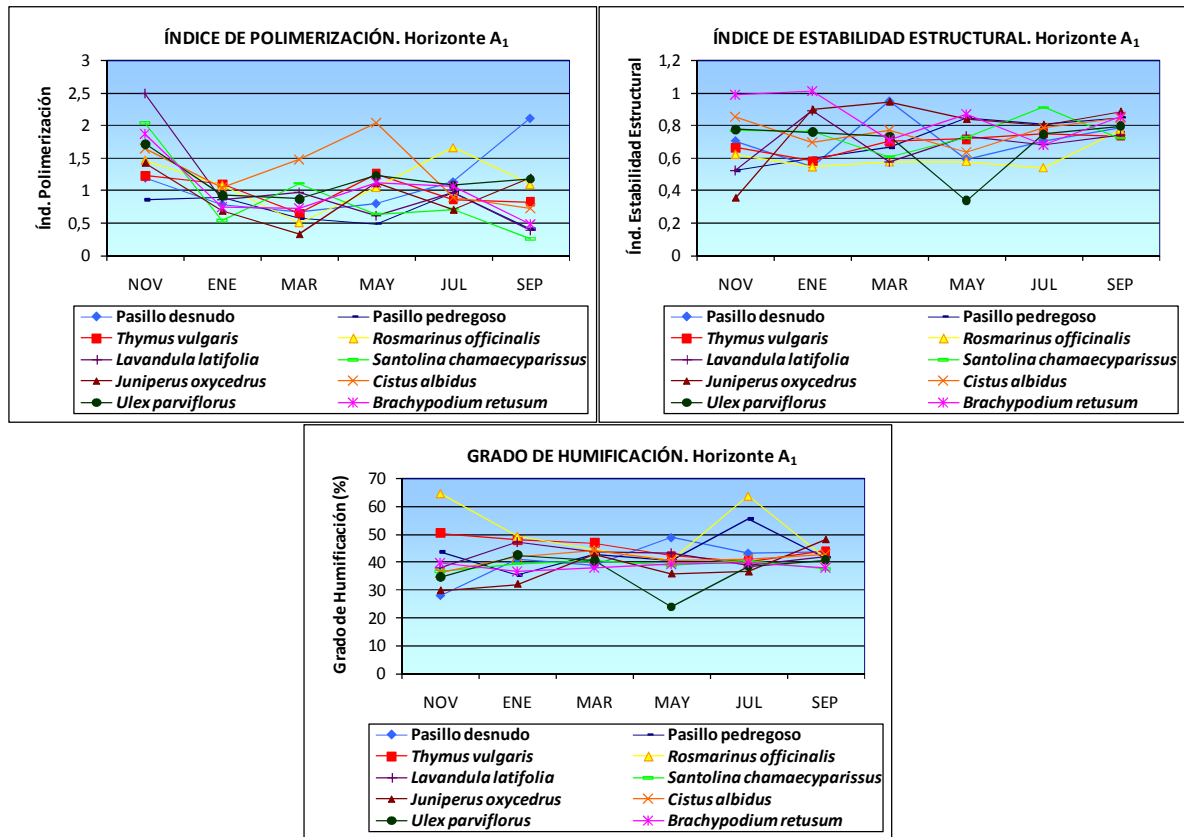
Los valores medios de **ácidos húmicos** en los suelos oscilan entre 0,25 y 2,03%. En el mes de enero se observa un descenso generalizado de los contenidos de ácidos húmicos, excepto en el suelo correspondiente al pasillo desnudo. Seguidamente en marzo los valores siguen disminuyendo, salvo en el suelo bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus*, donde los contenidos de ácidos húmicos se incrementan. Sin embargo en el siguiente mes de mayo, en prácticamente todos los suelos se observa un aumento

de dichos contenidos, siendo la única excepción también el suelo bajo *Santolina chamaecyparissus*. Posteriormente en julio, los valores de ácidos húmicos continúan incrementándose en la mayoría de los suelos, salvo en los suelos bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Cistus albidus* y *Brachypodium retusum*, en los que se observa una disminución. A continuación en el mes de septiembre, casi todos los suelos sufren un descenso en los contenidos de ácidos húmicos, excepto los suelos bajo *Thymus vulgaris* y *Juniperus oxycedrus* donde en cambio se obtiene un ligero aumento de dichos contenidos.

En cuanto a los contenidos medios de **ácidos fúlvicos** en los suelos, están comprendidos entre 0,42 y 1,62%. En enero los valores de ácidos fúlvicos se incrementan de forma generalizada en todos los suelos, salvo únicamente en el suelo correspondiente al pasillo pedregoso en el que dicho contenido disminuye. Posteriormente en el mes de marzo, la mayoría de los suelos experimentan un descenso en los valores de ácidos fúlvicos, a excepción de los suelos del pasillo pedregoso y bajo las especies *Juniperus oxycedrus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, donde sus contenidos aumentan. En el mes de mayo se observa también una disminución en los valores de ácidos fúlvicos en la mayoría de los suelos, salvo en los suelos del pasillo desnudo, así como bajo las especies *Lavandula latifolia*, *Santolina chamaecyparissus* y *Cistus albidus*. En cambio en julio, en prácticamente todos los suelos se obtiene un incremento en los contenidos de ácidos fúlvicos, siendo las excepciones los suelos bajo las especies *Lavandula latifolia*, *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, dado que sufren una disminución en dichos contenidos. Y finalmente en septiembre, los valores de ácidos fúlvicos vuelven a descender en casi todos los suelos, salvo en los suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, al igual que lo observado anteriormente para el mes de julio, donde dichos contenidos aumentan.

Los valores medios de **huminas** en los suelos varían desde 0,65 a 2,29%. En el mes de enero la mayoría de los suelos presentan una disminución en los contenidos de huminas, salvo los suelos del pasillo desnudo y bajo las especies *Lavandula latifolia* y *Juniperus oxycedrus* que sufren un incremento en dichos contenidos. A continuación en el mes de marzo, los valores de huminas continúan descendiendo en casi todos los suelos, siendo el suelo correspondiente al pasillo desnudo la única excepción al obtenerse un ligero aumento. En cambio en el mes de mayo, se experimenta un incremento en prácticamente todos los suelos, a excepción de los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus*. Posteriormente en julio, siguen aumentando los contenidos de huminas en casi todos los suelos, salvo los suelos bajo las especies *Lavandula latifolia* y *Brachypodium retusum* donde los valores disminuyen. En el mes de septiembre vuelven a disminuir los contenidos de huminas de forma generalizada en todos los suelos, sin ninguna excepción.

En la figura 4.53 se muestran los valores medios entre ambas parcelas obtenidos en los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación), en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).



**Figura 4.53.** Variación de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación) a lo largo del año en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios de **índice de polimerización** obtenidos en los suelos están comprendidos entre 0,25 y 2,50 a lo largo del año. En el mes de enero los suelos presentan un brusco descenso generalizado en todas las muestras, excepto en el suelo correspondiente al pasillo pedregoso en el que dicho índice aumenta ligeramente. En marzo los valores continúan disminuyendo en la mayoría de los suelos, salvo bajo las especies *Lavandula latifolia*, *Santolina chamaecyparissus* y *Cistus albidus* donde se incrementan. En cambio en el mes de mayo, en prácticamente todos los suelos el índice de polimerización obtenido para dicho mes se ve incrementado de forma considerable, siendo las excepciones los suelos del pasillo pedregoso y bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*. Posteriormente en julio, los índices de polimerización disminuyen en los suelos bajo *Thymus vulgaris*, *Juniperus oxycedrus*, *Cistus albidus*, *Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, mientras que en el resto de suelos los valores aumentan. En septiembre en la mayoría de los suelos se observa un descenso en los índices de polimerización, salvo en los suelos del pasillo desnudo, así como bajo *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus*.

En cuanto a los valores medios obtenidos de **índice de estabilidad estructural** en los suelos, varían desde 0,34 a 1,01. En enero los valores disminuyen ligeramente en los suelos del pasillo desnudo y bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, mientras que en el resto de suelos se incrementa dicho índice. Seguidamente en el mes de marzo, la mayoría de los suelos presentan un aumento de los valores de índice de estabilidad estructural, a excepción de los suelos bajo las especies *Lavandula latifolia*, *Santolina chamaecyparissus*,

*Ulex parviflorus* y *Brachypodium retusum*, donde dicho índice se ve disminuído. En mayo los valores se incrementan en los suelos correspondientes al pasillo pedregoso, bajo todas las especies aromáticas, así como bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, observándose en cambio en algunos suelos descensos bruscos en dicho índice, como es el caso del suelo del pasillo desnudo y bajo *Ulex parviflorus*. Posteriormente en el mes de julio, los valores de índice de estabilidad estructural aumentan en los suelos del pasillo desnudo, bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Santolina chamaecyparissus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, siendo en el resto de suelos donde se observa una disminución de dicho índice. Y finalmente en septiembre, los valores siguen incrementándose en casi todos los suelos, a excepción de los suelos bajo *Thymus vulgaris* y *Santolina chamaecyparissus*.

Los valores medios de **grado de humificación** que presentan los suelos a lo largo del año, oscilan entre 23,91 y 64,86%. En el mes de enero en la mayoría de los suelos se observa un aumento de los porcentajes de grado de humificación, salvo en los suelos del pasillo pedregoso y bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Brachypodium retusum*, donde dichos valores sufren un descenso. En marzo los porcentajes de grado de humificación disminuyen en los suelos del pasillo desnudo, así como bajo las especies *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Ulex parviflorus*, en el resto de suelos se incrementan los valores. A continuación en mayo, en casi todos los suelos se obtiene un descenso del grado de humificación, excepto en el suelo correspondiente al pasillo desnudo y bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, en los que se observa un aumento de los mismos. En cambio en julio, el grado de humificación se ve incrementado de forma generalizada en prácticamente todos los suelos, siendo las excepciones los suelos del pasillo pedregoso, bajo *Thymus vulgaris* y *Lavandula latifolia*, donde los valores disminuyen. Y en septiembre, también en la mayoría de los suelos se observa un aumento del grado de humificación, salvo en los suelos del pasillo pedregoso, así como bajo *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, en los que los porcentajes descienden.

#### 4.1.2.6.2. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas determinados mediante oxidación y de los índices de la composición húmica

En la figura 4.54 se representan los valores máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, de los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios mensuales de **ácidos húmicos** obtenidos en los suelos, disminuyen progresivamente desde el mes de noviembre con un valor de 1,28% hasta marzo en el que se obtiene 0,62%. En cambio, a partir del mes de marzo hasta julio los contenidos de ácidos húmicos en los suelos van aumentando en dicho período, alcanzándose en el mes de julio un valor de 0,97%. Mientras que en septiembre los contenidos de ácidos húmicos vuelven a descender, obteniéndose el valor medio mensual más bajo (0,55%).

Los valores máximos mensuales de ácidos húmicos se alcanzan en el mes de noviembre con un contenido de 2,03%, siendo en dicho mes también donde se observa una gran variabilidad. En cuanto a los valores mínimos, se registran en septiembre (0,25%) y además en este mes se presenta la menor desviación.



Los suelos que obtienen valores medios anuales más elevados de ácidos húmicos a lo largo del año, corresponden a suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* (1,08%), *Cistus albidus* (1,06%) y *Lavandula latifolia* (1,01%). Mientras que en los suelos de ambos pasillos, desnudo (0,60%) y pedregoso (0,48%), se observan los contenidos medios anuales más bajos de ácidos húmicos.

Los valores máximos anuales de ácidos húmicos se alcanzan en los suelos bajo las especies *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*, donde se presenta también la mayor variabilidad. Respecto a los valores mínimos, se obtienen en los suelos de ambos pasillos y bajo *Santolina chamaecyparissus*. Las menores desviaciones se observan también en los suelos de los pasillos, así como en el suelo bajo la especie *Ulex parviflorus*.

En cuanto a los valores medios mensuales de **ácidos fúlvicos**, se obtiene en los suelos un incremento en el mes de enero (1,04%) respecto al mes de noviembre, siendo en noviembre donde se alcanza el contenido medio más bajo a lo largo del año con un valor de 0,81%. Seguidamente a partir de enero hasta el mes de mayo, los valores de ácidos fúlvicos experimentan un ligero descenso, obteniéndose un contenido de 0,89% en mayo. En cambio en julio los valores vuelven a aumentar al observarse un valor de 0,98%, y en septiembre los contenidos de ácidos fúlvicos disminuyen de nuevo hasta alcanzar un valor de 0,89%, obteniéndose los mismos contenidos que los observados en el mes de mayo.

Los valores máximos mensuales de ácidos fúlvicos se alcanzan en los meses de septiembre (1,62%) y marzo (1,59%), meses que también presentan mayor variabilidad. Mientras que los valores mínimos mensuales se obtienen en noviembre y septiembre, con contenidos de 0,42 y 0,45%, respectivamente. Los valores más bajos de desviación se presentan en el mes de julio.

Los mayores contenidos medios anuales de ácidos fúlvicos se alcanzan en los suelos bajo las especies aromáticas *Santolina chamaecyparissus* (1,28%) y *Lavandula latifolia* (1,11%), así como bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (1,21%). En cambio, los valores medios anuales más bajos de ácidos fúlvicos se obtienen en los suelos correspondientes a ambos pasillos, desnudo y pedregoso, en los que se observan contenidos de 0,66 y 0,72%, respectivamente.

Respecto a los valores máximos anuales de ácidos fúlvicos, se registran en los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, suelos en los que se observan mayores desviaciones. Sin embargo, los valores mínimos anuales son alcanzados en los suelos del pasillo desnudo y bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis*. Los suelos que presentan menor variabilidad a lo largo del año son los suelos del pasillo pedregoso y bajo la especie *Thymus vulgaris*.

Los valores medios mensuales de **huminas** obtenidos en los suelos, varían a lo largo del año de manera muy similar a lo analizado anteriormente en los ácidos húmicos. Los contenidos de huminas van disminuyendo de forma progresiva desde el mes de noviembre que contiene un 1,41% hasta marzo donde los valores descienden a 1,10%, menor contenido observado a lo largo del año. Seguidamente a partir del mes de marzo hasta julio, los valores de huminas que presentan los suelos se van incrementando, obteniéndose un contenido en el mes de julio de 1,40%. En cambio en septiembre, vuelven a disminuir los valores de huminas al observarse un contenido de 1,13%.

En cuanto a los valores máximos mensuales de huminas, se registran en los meses de noviembre y mayo con contenidos de 2,29 y 2,11%, respectivamente. De igual forma, los

valores mínimos se alcanzan también en los mismos meses, noviembre y mayo, obteniéndose en ambos casos un contenido de huminas de 0,65%. En dichos meses se presenta también la mayor variabilidad.

Los suelos que contienen los valores medios anuales más altos de huminas, corresponden a suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* (1,88%) y *Santolina chamaecyparissus* (1,63%), siendo en los suelos de ambos pasillos, desnudo (0,88%) y pedregoso (0,82%), donde se alcanzan los menores valores medios anuales de huminas.

Los valores máximos anuales de huminas se obtienen en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* y *Cistus albidus*, mientras que los contenidos mínimos anuales se registran en los suelos de ambos pasillos, así como bajo las especies *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus*. Los valores más bajos de variabilidad se presentan en el suelo bajo la especie aromática *Thymus vulgaris*.

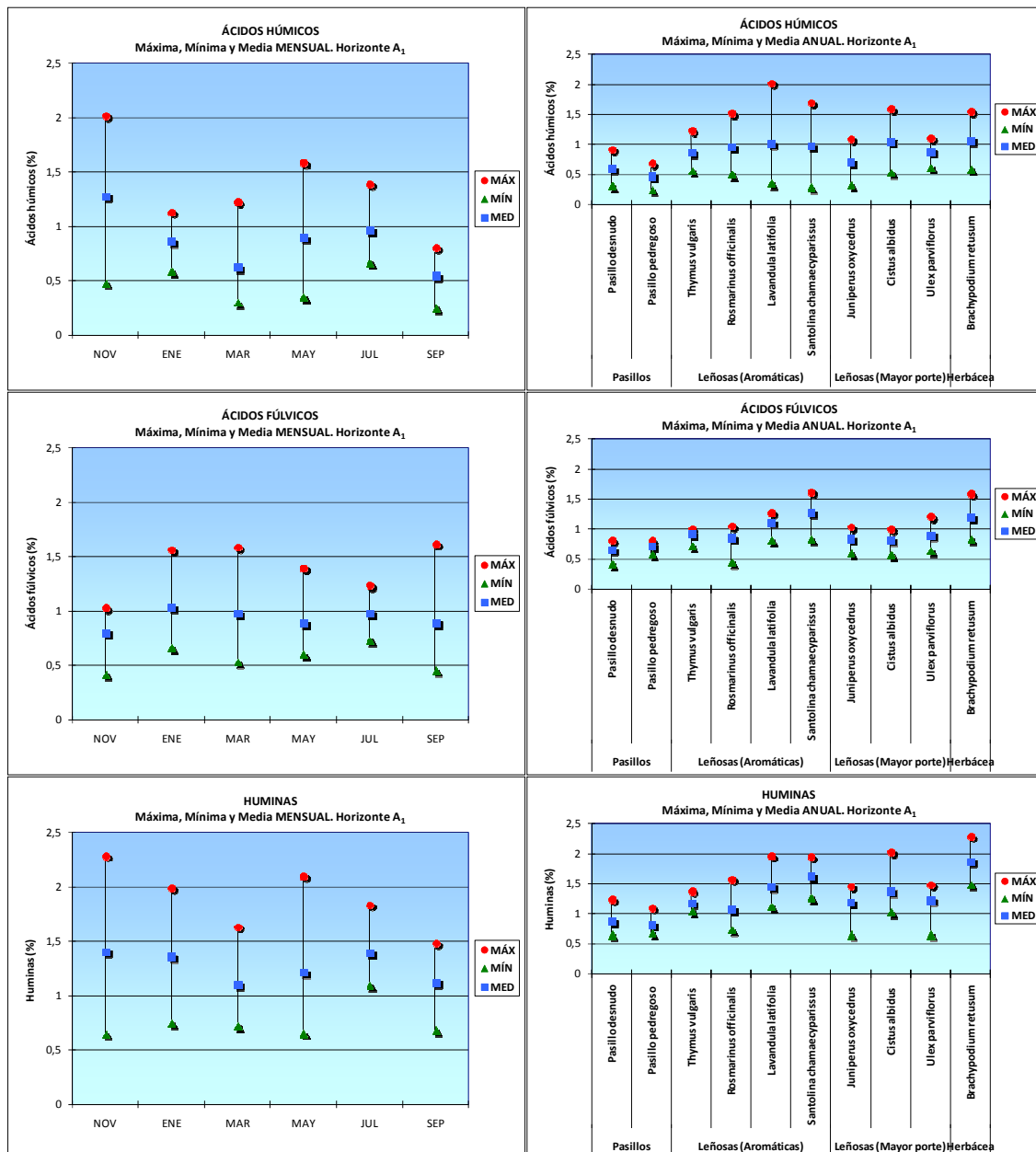
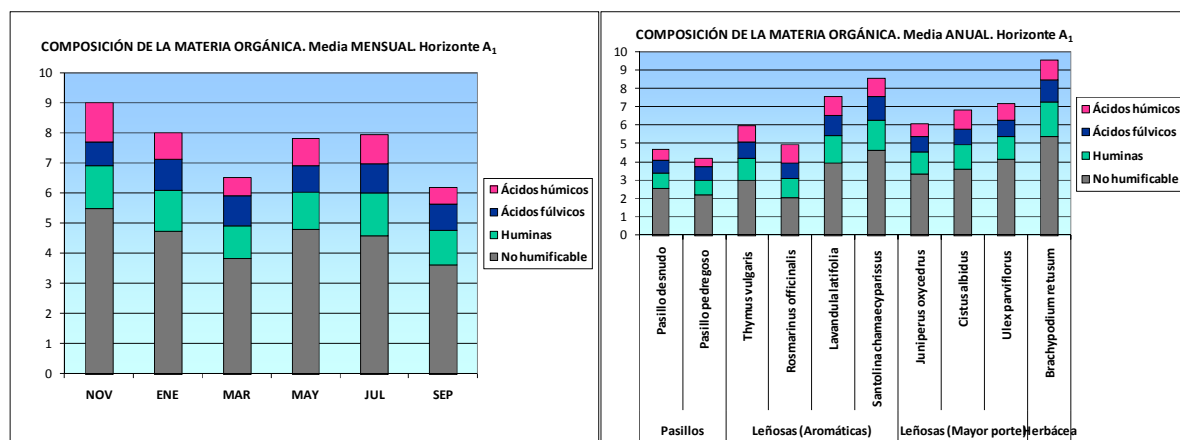


Figura 4.54. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

En la figura 4.55 se muestran los valores medios mensuales y anuales, obtenidos en los parámetros químicos que forman la composición de la materia orgánica total de los suelos, como son los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, las huminas y la materia orgánica no humificable.



**Figura 4.55.** Valores medios mensuales y anuales, de la composición de la materia orgánica total (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y no humificable) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

En estos gráficos se observa que la parte correspondiente a la materia orgánica no humificable es la que presenta mayores porcentajes en todos los meses del año y en todos los suelos superficiales, y a continuación le siguen los contenidos de huminas. En cuanto a los valores de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, se obtiene de forma generalizada que los ácidos fúlvicos alcanzan contenidos más altos que los ácidos húmicos en la mayoría de los casos, salvo en los meses de noviembre y mayo, y en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*, donde los valores de ácidos húmicos superan a los contenidos en ácidos fúlvicos.

Los valores medios mensuales de la materia orgánica total de los suelos, disminuyen progresivamente desde el mes de noviembre (valor medio más alto con 8,98%) a marzo, siendo a partir de marzo hasta el mes de julio donde los contenidos de materia orgánica total se ven incrementados. En septiembre en cambio los valores vuelven a descender, alcanzándose el menor valor medio a lo largo del año con 6,18%.

En cuanto a los valores medios anuales de la materia orgánica total, los mayores contenidos se presentan en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* (9,51%) y *Santolina chamaecyparissus* (8,53%), mientras que los contenidos más bajos de materia orgánica total se encuentran en los suelos de ambos pasillos, desnudo y pedregoso con valores de 4,64 y 4,18%, respectivamente, así como bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis* (4,90%).

A continuación se representan en la figura 4.56 los valores máximos, mínimos y medios, tanto mensuales como anuales, de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

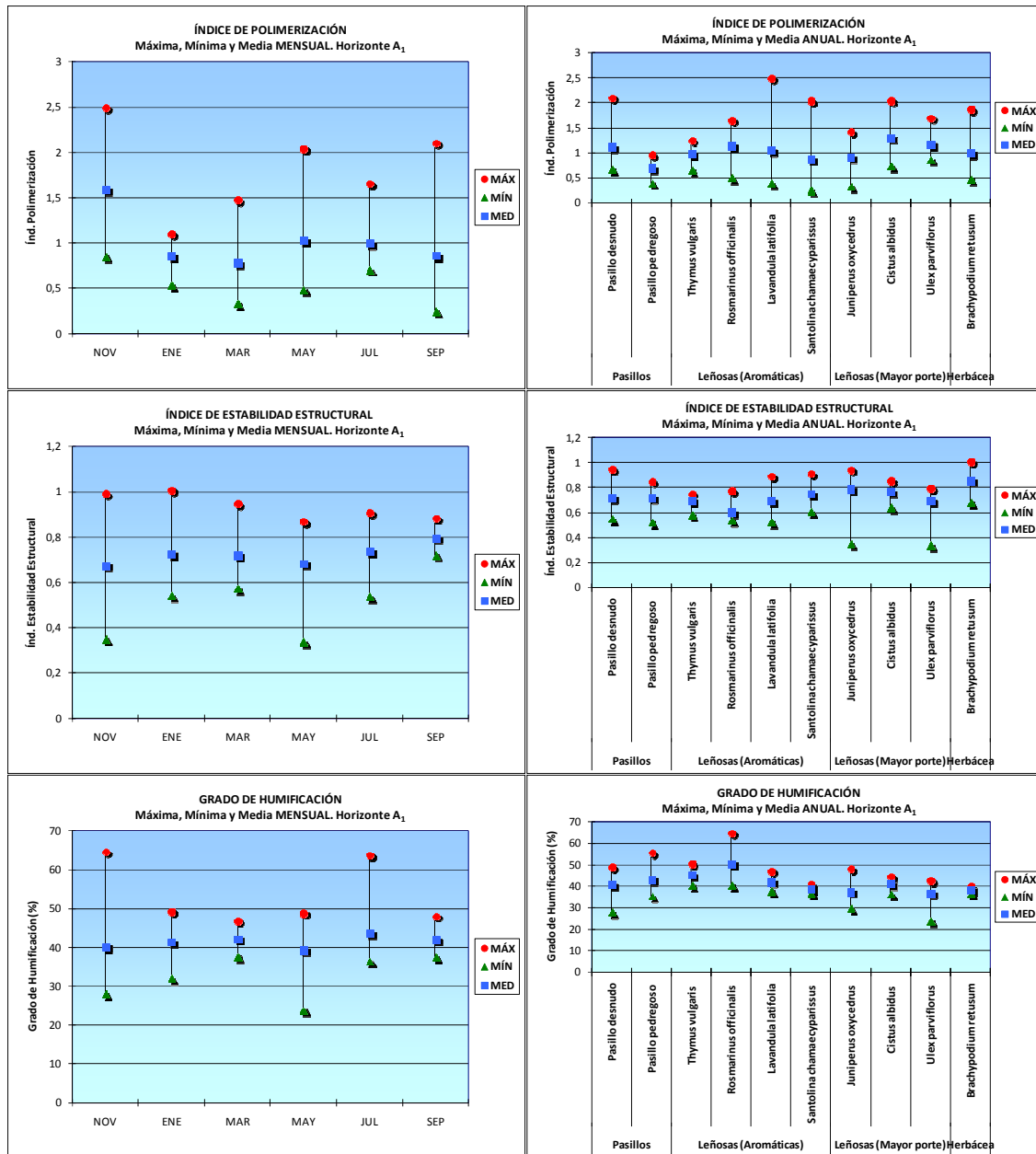


Figura 4.56. Valores máximos, mínimos y medios, mensuales y anuales, de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación) obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores medios mensuales de **índice de polimerización**, disminuyen de forma progresiva desde noviembre (1,59) hasta el mes de marzo (0,79) donde se alcanza el menor valor a lo largo del año. Posteriormente en mayo dicho índice se incrementa obteniéndose un valor de 1,04, y a partir de este mes los valores van descendiendo poco a poco hasta el mes de septiembre en el que se registra un valor de 0,87.

En cuanto a los valores máximos mensuales obtenidos de índice de polimerización, se alcanzan en el mes de noviembre con un valor de 2,50, le siguen los meses de septiembre (2,11) y mayo (2,05), siendo en dichos meses donde las desviaciones son mayores. Los valores mínimos mensuales se obtienen en septiembre y marzo con valores de 0,25 y 0,33, respectivamente. La menor variabilidad se observa en el mes de enero.

Los mayores valores medios anuales de índice de polimerización, se presentan en los suelos bajo las especies *Cistus albidus* (1,31) y *Ulex parviflorus* (1,17), observándose los valores medios anuales más bajos en dicho índice en el suelo correspondiente al pasillo pedregoso (0,70).

Respecto a los valores máximos anuales de índice de polimerización, se alcanzan en el suelo bajo *Lavandula latifolia* donde también se observa la mayor variabilidad. En cambio, los valores mínimos anuales se registran en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* y *Juniperus oxycedrus*. Los suelos que presentan los valores más bajos de desviación son los suelos del pasillo pedregoso y bajo la especie *Thymus vulgaris*.

Los valores medios mensuales de **índice de estabilidad estructural** de los suelos, aumentan ligeramente en el mes de enero obteniéndose un valor de 0,73. Seguidamente en marzo dicho índice se mantiene con un valor de 0,72, y en mayo los suelos vuelven a descender un poco donde se registra un valor de 0,69. Mientras que a partir de mayo hasta el mes de septiembre los suelos experimentan un incremento en este período, alcanzándose en septiembre un índice de 0,80, siendo éste el valor más alto obtenido a lo largo del año.

Los valores máximos mensuales obtenidos en dicho índice se registran en los meses de enero (1,01) y noviembre (0,99), observándose en este último mes los mayores valores de desviación. Respecto a los valores mínimos, se alcanzan en los meses de mayo (0,34) y noviembre (0,35). La menor variabilidad se obtiene en el mes de septiembre.

Los suelos que a lo largo del año presentan los valores medios anuales más altos de índice de estabilidad estructural, corresponden a suelos bajo la especie *Brachypodium retusum* (0,85), y le siguen los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* (0,79) y *Cistus albidus* (0,77). En cambio, los valores medios anuales más bajos se observan en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (0,60).

En cuanto a los valores máximos anuales de índice de estabilidad estructural, se registran en los suelos bajo la especie *Brachypodium retusum*. Mientras que los valores mínimos se alcanzan en los suelos bajo *Ulex parviflorus* y *Juniperus oxycedrus*, siendo en estos suelos donde se presenta la mayor variabilidad. Los valores más bajos de desviación se observan, en cambio, en el suelo bajo *Thymus vulgaris*.

Los valores medios mensuales obtenidos en el **grado de humificación** de los suelos, se incrementan muy ligeramente desde el mes de noviembre con un valor de 40,21% hasta marzo donde dicho índice pasa a tener un valor de 42,31%. Posteriormente en mayo, los suelos experimentan un descenso en los valores de grado de humificación, obteniéndose un valor de 39,40%. En julio dicho índice vuelve a aumentar, presentando el valor medio más alto a lo largo del año de 43,80%. Y en septiembre, los valores descienden levemente alcanzando un valor de 42,02%.

Respecto a los valores máximos mensuales de grado de humificación, se observan en los meses de noviembre (64,86%) y julio (63,89%), meses que también presentan mayores desviaciones. En cambio, los valores mínimos se obtienen en el mes de mayo con un valor de 23,91%. Los meses de marzo y septiembre son los que presentan menor variabilidad.

Los valores medios anuales más elevados de grado de humificación se alcanzan en los suelos bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* (50,81%) y *Thymus vulgaris*

(45,33%), mientras que los menores valores medios anuales de grado de humificación se observan en los suelos bajo *Ulex parviflorus* (36,81%) y *Juniperus oxycedrus* (37,54%).

En cuanto a los valores máximos anuales de grado de humificación, se obtienen en los suelos bajo la especie *Rosmarinus officinalis* (suelo que presenta mayor variabilidad) y en el suelo correspondiente al pasillo pedregoso. En cambio, los valores mínimos anuales se registran en los suelos bajo *Ulex parviflorus* y *Juniperus oxycedrus*, así como en el suelo del pasillo pedregoso. Los valores más bajos de desviación se presentan en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*.

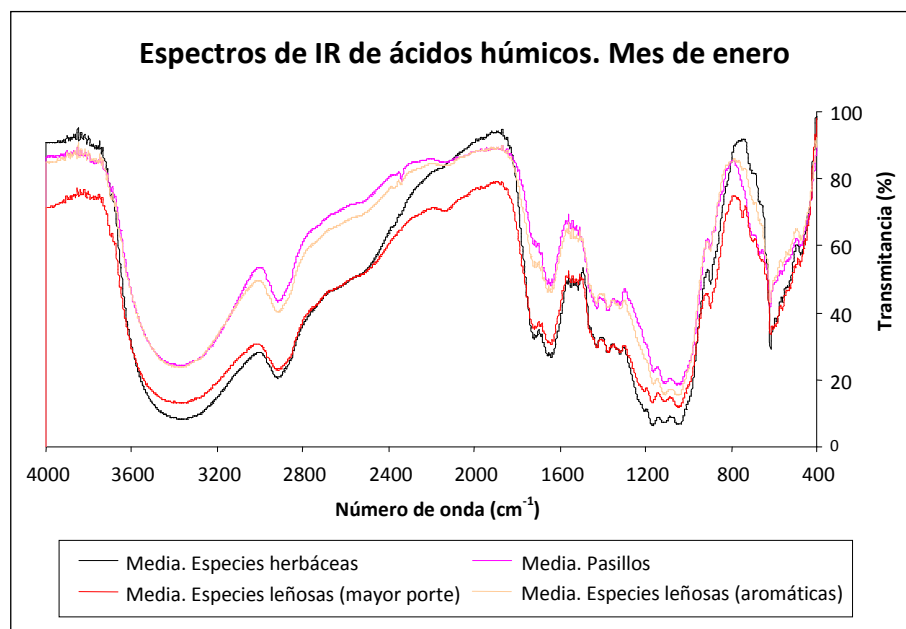
Los resultados obtenidos en los diferentes índices de composición húmica, indican que el índice de polimerización se considera dentro de los valores normales en los suelos bajo la mayoría de las especies, aunque para los suelos de los pasillos y bajo *Juniperus oxycedrus* y *Santolina chamaecyparissus* descienden ligeramente de los valores normales, indicando que la humificación podría frenarse en las primeras etapas del proceso de transformación.

El índice de estabilidad estructural pone en evidencia un predominio de las huminas, fracción húmica con mejor actividad estructurante. Aunque los valores obtenidos de este índice no son elevados en los suelos de los distintos puntos de muestreo, estos van acompañados de niveles correctos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

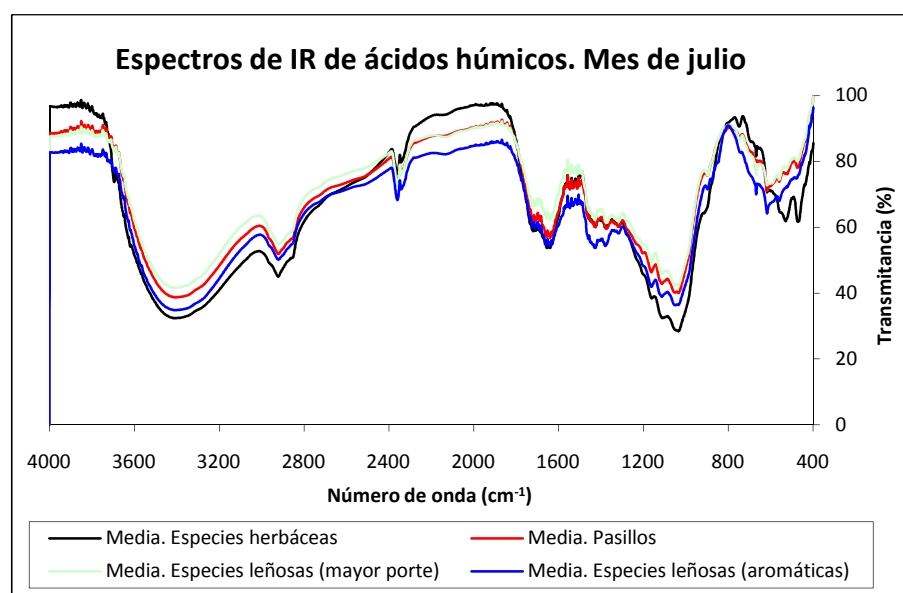
Los rangos del grado de humificación son ligeramente inferiores a los valores medios normales de suelos agrícolas, indicando una cierta acumulación de materia orgánica fresca aportada por la vegetación que podría producir una deficiente evolución orgánica en estos suelos.

#### 4.1.2.7. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS: ÁCIDOS HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS Y HUMINAS. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

En las figuras 4.57 y 4.58 se muestran los espectros medios de IR de los ácidos húmicos del suelo obtenidos en los meses de enero y julio, respectivamente, para los cuatro grupos de cobertura de suelo considerados en el estudio. La interpretación de estos grupos funcionales se ha realizado según la bibliografía especializada (Kononova, 1982).



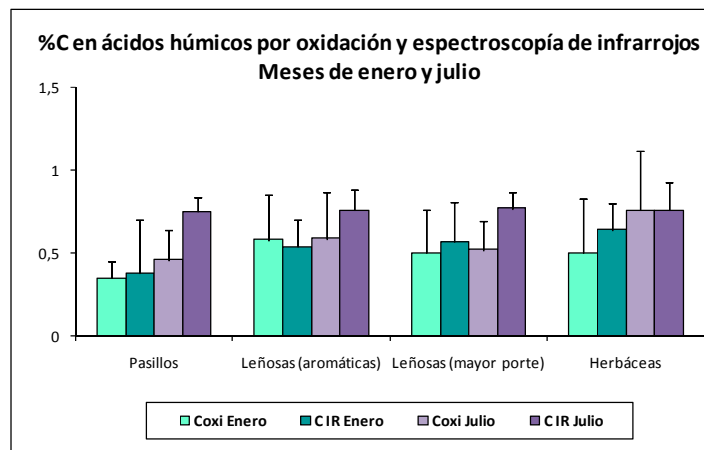
**Figura 4.57.** Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos húmicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de enero bajo distintas coberturas.



**Figura 4.58.** Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos húmicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de julio bajo distintas coberturas.

Los espectros de IR correspondientes a los ácidos húmicos del suelo bajo las distintas coberturas, indican una composición similar con variaciones en las proporciones de los distintos grupos funcionales que componen este tipo de sustancias húmicas. Los grupos más abundantes, es decir, aquellos con una intensidad mayor de la banda de absorción en el IR (menor valor de transmitancia), son los correspondientes a los OH y NH ( $3400\text{ cm}^{-1}$ ) y una amplia banda centrada a  $1050\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a los grupos C-O-C característicos de los polisacáridos. También destacan por su intensidad la banda característica de los ácidos carboxílicos ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ), probablemente unidos a grupos C=C aromáticos ( $1720\text{ cm}^{-1}$ ), los grupos C-C en cadenas alifáticas ( $2920\text{ cm}^{-1}$ ), los grupos COO correspondientes a los carbonatos ( $2370\text{ cm}^{-1}$ ) y las señales secundarias de algunos de estos grupos funcionales en la región entre  $800$  y  $400\text{ cm}^{-1}$ . Una de las mayores diferencias de los espectros en las épocas de enero y julio es la abundancia de grupos COO pertenecientes a carbonatos en julio, mientras que apenas aparece diferenciada en enero, excepto en el suelo de los pasillos (aunque en menor proporción que en julio). Otra diferencia destacable es que el suelo de los pasillos (desprovistos de vegetación) y el suelo correspondiente a las aromáticas en enero se comportan de forma similar entre sí y, además, sus espectros difieren de los otros dos grupos. En cambio, en julio los espectros de los ácidos húmicos del suelo con las distintas coberturas tienen un comportamiento más homogéneo y similar entre ellos.

En estos espectros se ha determinado el total de C respecto de los grupos que no contienen C (banda a  $3400\text{ cm}^{-1}$ ). Este tipo de cuantificación se ha realizado por medida del área relativa de cada banda respecto del total en cada espectro obtenido. También se ha obtenido la desviación estándar del % de C correspondiente a cada grupo de cobertura. Estas determinaciones se han realizado también mediante valoración del C oxidable en los ácidos húmicos correspondientes a cada muestra, y también se han obtenido las desviaciones estándar por grupo de cobertura. Sus resultados se indican en la figura 4.59.

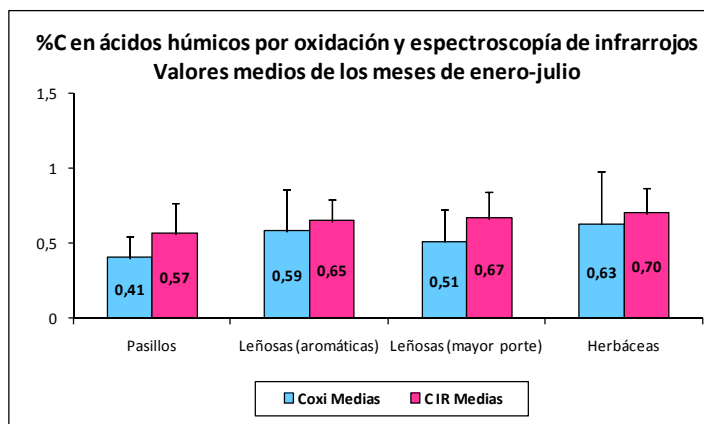


**Figura 4.59.** Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos húmicos de las muestras superficiales (horizonte  $A_1$ ) correspondientes a los meses de enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

Los resultados de la figura 4.59 muestran que los valores medios de la concentración de carbono en ácidos húmicos determinados en enero por los dos métodos, son inferiores a los obtenidos en el mes de julio. Este resultado sugiere que la época del año influye en los resultados, y que la variabilidad dentro de cada grupo se reduce en la época estival para los datos obtenidos por espectroscopía de infrarrojos.



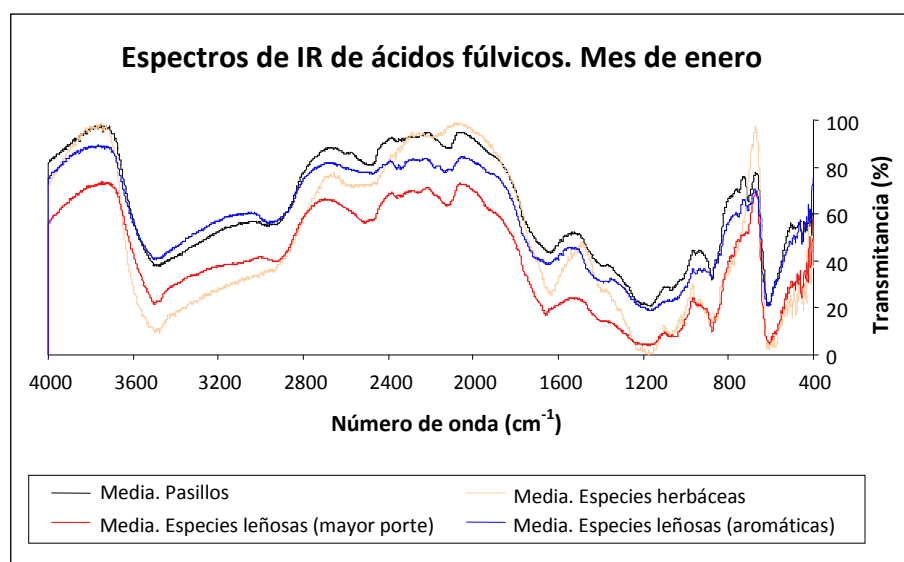
Al comparar los valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio por ambos métodos (oxidación y espectroscopía de infrarrojos), se observa que la concentración de C determinada en los espectros de IR mediante cuantificación de las bandas de los distintos grupos funcionales que contienen C, tiende a ser ligeramente mayor que la obtenida mediante el método de valoración del C en ácidos húmicos por oxidación (figura 4.60).



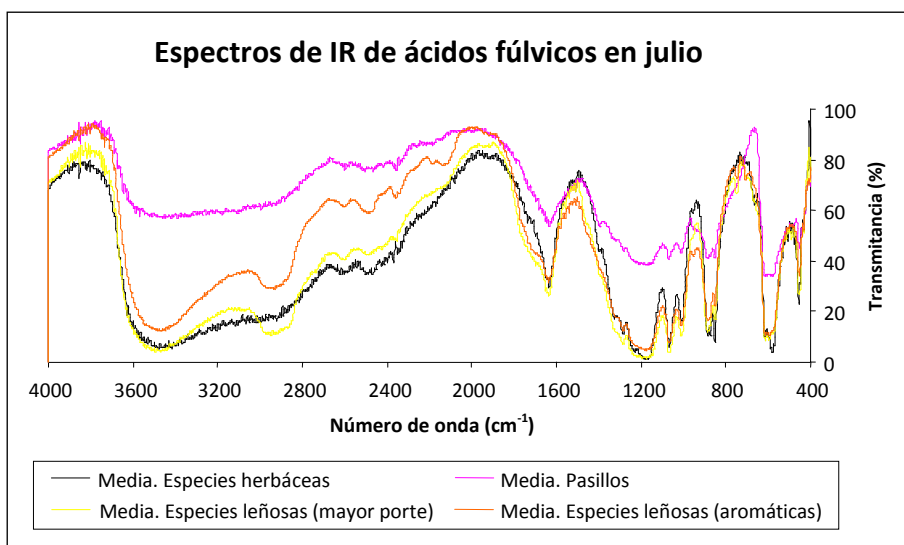
**Figura 4.60.** Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos húmicos de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

Además en la figura 4.60 se observa que los menores % de C en ácidos húmicos se obtienen para ambos métodos en los suelos de los pasillos (0,41% por oxidación y 0,57% por IR), mientras que los valores más altos de % de C se determinan en los suelos bajo especies herbáceas (0,63% por oxidación y 0,70% por IR).

En las figuras 4.61 y 4.62 se representan los espectros medios de IR de los ácidos fúlvicos del suelo obtenidos en los meses de enero y julio, respectivamente, para los cuatro grupos de cobertura de suelo considerados.



**Figura 4.61.** Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos fúlvicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de enero bajo distintas coberturas.

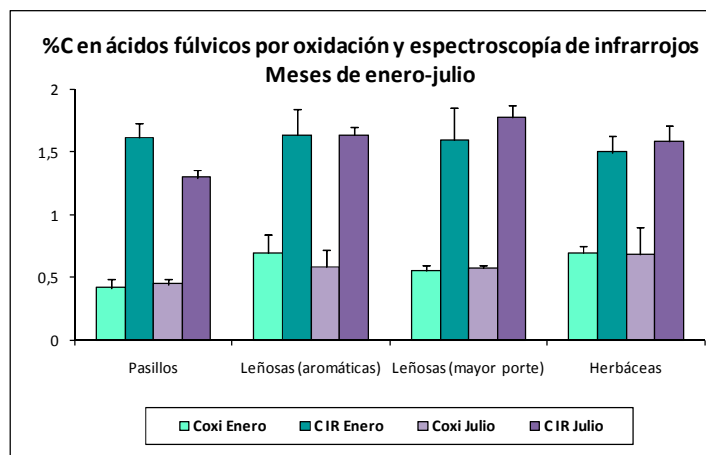


**Figura 4.62.** Espectros de IR (medias) correspondientes a los ácidos fúlvicos del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de julio bajo distintas coberturas.

Los espectros de las figuras 4.61 y 4.62 indican que los grupos funcionales más abundantes en este tipo de sustancias húmicas solubles son los grupos funcionales con señales de absorción en la región centrada a 3400 cm<sup>-1</sup> (OH y NH) que, a diferencia de lo que ocurre con los ácidos húmicos (ver figuras 4.56 y 4.57), aparece muy distorsionada y desplazada hacia números de onda mayores que 3400 cm<sup>-1</sup>, lo que probablemente se debe a la presencia de moléculas de agua en su composición. La señal más intensa aparece a 1200 cm<sup>-1</sup> y puede interpretarse como debida a ésteres alifáticos y aromáticos. La presencia de grupos C=O carbonilo de los ácidos y ésteres alifáticos y aromáticos se confirma con la señal a 1700 cm<sup>-1</sup>. Esta señal aparece con mayor intensidad en los ácidos fúlvicos del suelo con especies leñosas de mayor porte y herbáceas, y distingue a este tipo de sustancias húmicas del resto de coberturas en la época de enero.

Si se observa la figura 4.62 correspondiente a los espectros de IR en julio, el espectro de los ácidos fúlvicos que se diferencia del resto es el correspondiente al suelo desprovisto de vegetación (pasillos). En los espectros correspondientes al mes de julio, una diferencia respecto a los del mes de enero es la gran deformación en la región de 4000 a 2000 cm<sup>-1</sup>, que podrían atribuirse a la combinación de procesos de precipitación de sustancias simples debida al secado de las muestras en su preparación, pero también a la formación de otras sustancias orgánicas a partir de sustancias simples que impliquen a los grupos OH y NH con polisacáridos (señal a 2920 cm<sup>-1</sup>) y grupos C=O carbonilo de los ácidos y ésteres alifáticos, cuya señal a 1700 cm<sup>-1</sup> aparece mucho más intensa y definida en los espectros correspondientes a julio. Además de la deformación en la región centrada a 3400 cm<sup>-1</sup>, los espectros de infrarrojos correspondientes a los ácidos fúlvicos difieren de los espectros de los ácidos húmicos en la intensidad de la banda a 2920 cm<sup>-1</sup> correspondiente a los enlaces CH en cadenas alifáticas, que es mucho más abundante en los ácidos húmicos, así como en la intensidad y diferenciación de picos característicos en la región de 1200 cm<sup>-1</sup> a 900 cm<sup>-1</sup> atribuida a compuestos con grupos aromáticos, que también se observan mejor definidos en los ácidos húmicos. Este resultado sugiere distinta composición de los ácidos fúlvicos y húmicos, probablemente estos últimos con estructuras más complejas formadas por una mayor proporción de núcleos aromáticos y de cadenas alifáticas enlazadas a los anteriores.

En estos espectros se ha determinado el total de C respecto de los grupos que no contienen C (banda a  $3400\text{ cm}^{-1}$ ), y se ha obtenido también la desviación estándar del % de C correspondiente a cada grupo de cobertura. Estas determinaciones se han realizado también mediante valoración del C oxidable en los ácidos fúlvicos correspondientes a cada muestra, y también se han obtenido las desviaciones estándar por grupo de cobertura. Sus resultados se muestran en la figura 4.63.

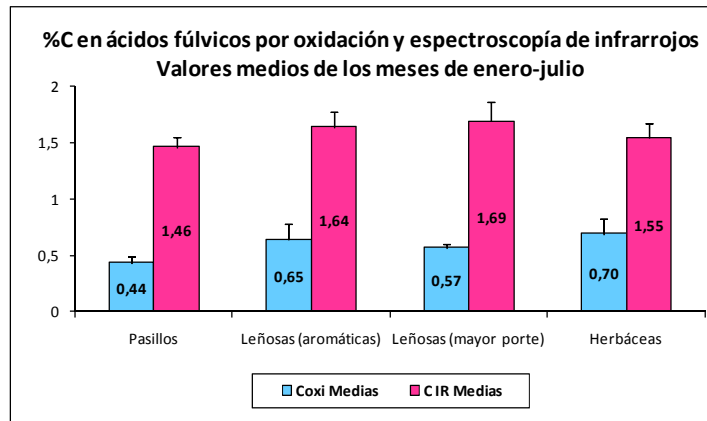


**Figura 4.63.** Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos fúlvicos de las muestras superficiales (horizonte  $A_1$ ) correspondientes a los meses enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y para los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

En la figura 4.63 se observa que por el método de oxidación en ambos meses (enero y julio), la concentración de C en ácidos fúlvicos en el suelo de los pasillos (desprovistos de vegetación) tiende a ser menor que en el resto de grupos de cobertura. Comparando los resultados obtenidos en los dos meses mediante el método de oxidación, se observa que el % de C en ácidos fúlvicos aumenta ligeramente en julio respecto a enero en los suelos de los pasillos y en los suelos bajo especies leñosas de mayor porte, mientras que se aprecia una disminución de estos valores en los suelos cubiertos con plantas aromáticas. En el caso de los espacios con especies herbáceas, los % de C prácticamente se mantienen en los meses de enero y julio, siendo estos suelos los que alcanzan los mayores valores en comparación con las otras coberturas.

En cuanto a los valores obtenidos por espectroscopía de infrarrojos, el análisis de las tendencias en los meses de enero y julio para los distintos grupos de cobertura, permite concluir que los % de C en los ácidos fúlvicos del suelo de los pasillos son mayores en el mes de enero que en julio, obteniéndose a la inversa (valores más altos en julio que en enero) en los suelos cubiertos con especies herbáceas y leñosas de mayor porte. En los suelos bajo especies aromáticas se observan los mismos % de C en ácidos fúlvicos en ambos meses.

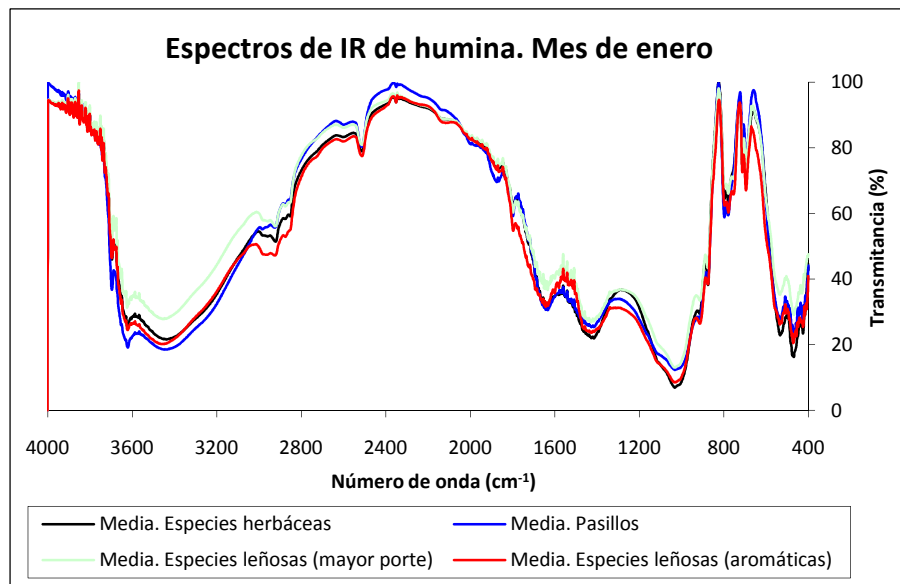
En la figura 4.64 se comparan los valores medios obtenidos entre ambos meses (enero y julio) por ambos métodos (oxidación y espectroscopía de infrarrojos), observándose que la concentración de C determinada en los espectros de IR, mediante cuantificación de las bandas de los distintos grupos funcionales que contienen C, es mucho mayor que la obtenida mediante el método de valoración del C en ácidos fúlvicos por oxidación.



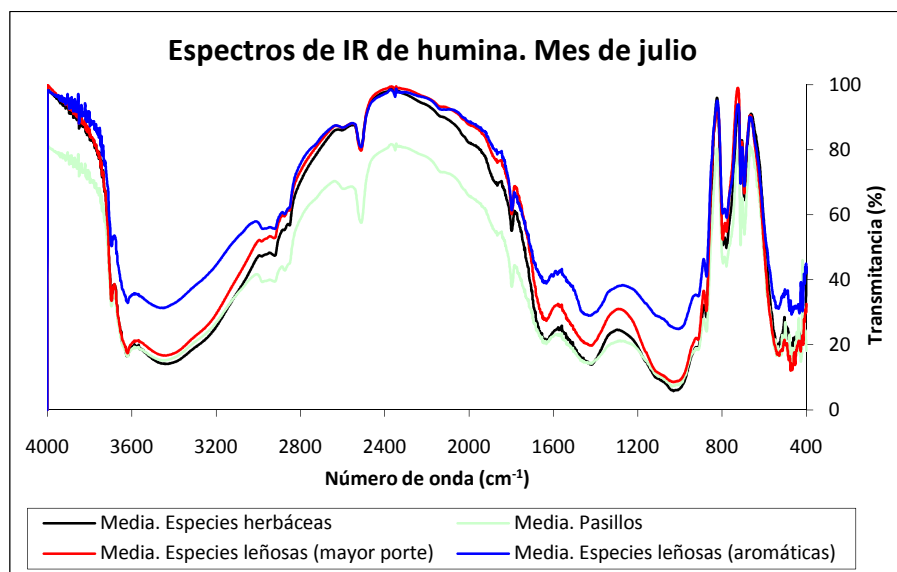
**Figura 4.64.** Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en ácidos fúlvicos de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

En la figura 4.64 se concluye, al igual que lo observado con anterioridad en los % de C en ácidos húmicos, que en los suelos de los pasillos se obtienen los valores más bajos de % de C en ácidos fúlvicos, tanto por el método de oxidación (0,44%) como por espectroscopía de infrarrojos (1,46%). En cambio, los mayores % de C se observan en los suelos cubiertos con especies herbáceas (0,70%) en el caso del método por oxidación, y en los suelos bajo especies leñosas de mayor porte (1,69%) por el método de espectroscopía de infrarrojos.

Las figuras 4.65 y 4.66 muestran los espectros de IR correspondientes a las huminas del suelo en enero (figura 4.65) y julio (figura 4.66). A diferencia de los espectros de ácidos húmicos, en las huminas parece haber más homogeneidad entre grupos de cobertura en enero que en julio.



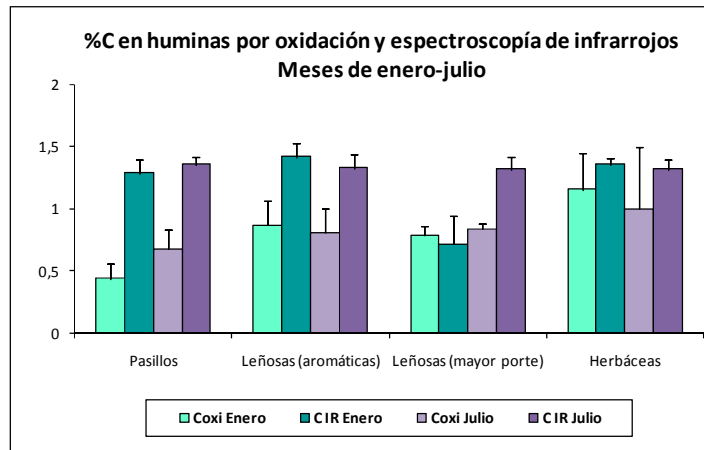
**Figura 4.65.** Espectros de IR (medias) correspondientes a las huminas del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de enero bajo distintas coberturas.



**Figura 4.66.** Espectros de IR (medias) correspondientes a las huminas del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en el mes de julio bajo distintas coberturas.

Los grupos funcionales más característicos de las huminas del suelo son similares a los detectados en la composición de los ácidos húmicos, aunque con distintas proporciones y abundancia relativa sobre todo en la región de 1700 a 800 cm<sup>-1</sup>, y en la región entre 800 y 400 cm<sup>-1</sup>. Además se detectan otros nuevos picos que junto a los cambios anteriores, sugieren distinta concentración de C total y distinta composición en cuanto a la abundancia de algunas formas de C. La amplia banda entre 4000 y 3000 cm<sup>-1</sup> no es simétrica, sino que se detectan picos intensos a 3696 y 3625 cm<sup>-1</sup>. Estos picos se interpretan como correspondientes a enlaces OH característicos de las arcillas, mientras que la banda centrada a 3400 cm<sup>-1</sup> correspondería a los enlaces OH y NH de la materia orgánica. La mayor proporción relativa de la banda a 1050 cm<sup>-1</sup> característica de los grupos C-O-C de los polisacáridos respecto de la banda centrada a 3400 cm<sup>-1</sup>, indica un enriquecimiento de este tipo de compuestos orgánicos en las huminas, probablemente como resultado de la actividad microbiana de descomposición y transformación de la materia orgánica del suelo y su unión a los coloides inorgánicos (arcillas). También destaca un pico a 1800 cm<sup>-1</sup> que puede corresponder a compuestos complejos como ésteres unidos a núcleos aromáticos y cadenas alifáticas (Fleming y Williams, 1974). Esta banda, junto con la intensidad y la abundancia de señales en la región 800-600 cm<sup>-1</sup>, puede estar indicando complejidad estructural de la materia orgánica de las huminas, o lo que es lo mismo, un alto grado de estabilización de la materia orgánica del suelo. Su abundancia es mayor en los espectros de las huminas del suelo en julio que en enero.

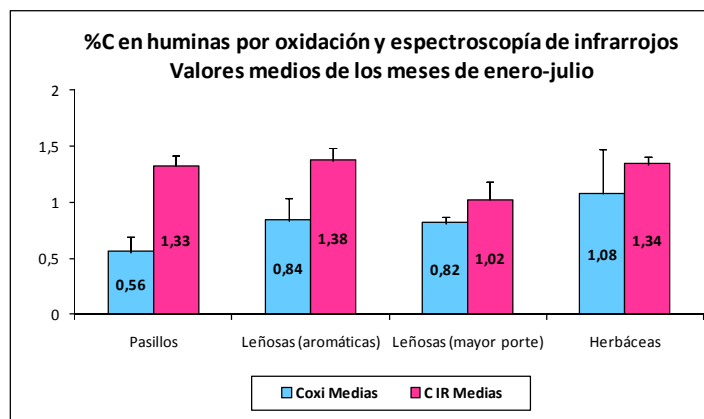
De la misma forma que para los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos del suelo, también en los espectros de infrarrojos de las huminas se ha determinado el total de C respecto de los grupos que no contienen C (banda a 3400 cm<sup>-1</sup>), y se ha obtenido la desviación estándar del % de C correspondiente a cada grupo de cobertura. Estas determinaciones se han realizado también mediante valoración del C oxidable en las huminas correspondientes a cada muestra, y también se han obtenido las desviaciones estándar por grupo de cobertura. Sus resultados se muestran en la figura 4.67.



**Figura 4.67.** Valores medios y desviaciones estándar de la concentración de C en huminas de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) correspondientes a los meses de enero y julio, para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

En la figura 4.67 se observa que para ambos métodos utilizados, tanto en los suelos de los pasillos (desprovistos de vegetación) como en los cubiertos por especies leñosas de mayor porte, se obtienen mayores valores medios de C en las huminas del suelo en el mes de julio (época estival) que en enero. En cambio, ocurre a la inversa en los suelos con cobertura de especies herbáceas y aromáticas, donde también mediante ambos métodos los % de C en huminas son más altos en la época invernal (mes de enero) que en julio. Este resultado sugiere que el proceso de humificación, en un sentido amplio de la palabra, sigue pautas estacionales inversas dependiendo del tipo de cobertura.

Al comparar los valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio mediante los dos métodos empleados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos), se observa que la concentración de C en huminas del suelo determinada en los espectros de infrarrojo es bastante mayor que la obtenida por el método de oxidación (figura 4.68).



**Figura 4.68.** Valores medios obtenidos entre los meses de enero y julio y desviaciones estándar de la concentración de C en huminas de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), para los distintos grupos de cobertura del suelo y los dos métodos de cuantificación utilizados (oxidación y espectroscopía de infrarrojos).

En la figura 4.68 se observa que los % de C en huminas determinados en los suelos de los pasillos son los que presentan mayores diferencias entre métodos, siendo en dichos suelos donde se obtienen los valores medios más bajos de huminas (0,56%) por el método de oxidación. Mientras que mediante este método de oxidación se observan las concentraciones de huminas más elevadas en los suelos bajo especies herbáceas (1,08%).

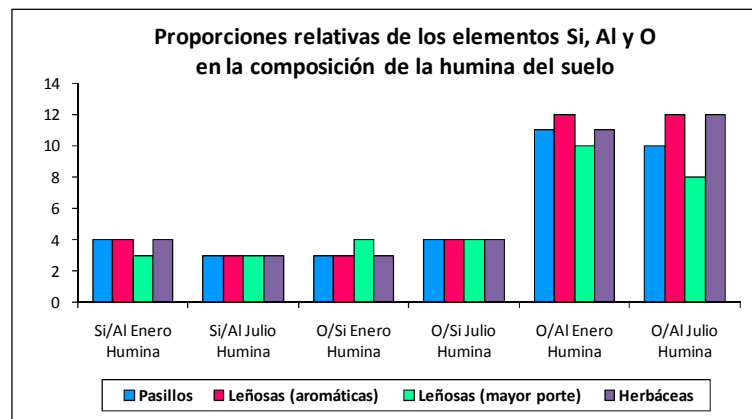
En cuanto al método de espectroscopía de infrarrojos, se determinan los menores % de C en huminas en los suelos cubiertos de especies leñosas de mayor porte (1,02%), obteniéndose valores muy similares en el resto de coberturas, siendo en el suelo bajo especies aromáticas donde se observan las concentraciones de huminas más altas (1,38%).

#### **4.1.2.8. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y RAYOS X: ÁCIDOS HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS Y HUMINAS. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL**

Mediante la técnica de microscopía electrónica y rayos X se estudia en cada muestra de suelo superficial (horizonte A<sub>1</sub>) de los diferentes puntos de muestreo considerados en ambas parcelas, por una parte los diferentes elementos que la componen, calculando el porcentaje de peso atómico de cada uno de ellos. En las distintas fracciones orgánicas del suelo obtenidas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), se estudia como varían en función del tipo de cobertura y de las épocas de muestreo del suelo (meses de enero y julio). Por otra parte, se analiza las fotografías correspondientes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) y una serie de gráficas, en las que se muestra el número de rayos X (número de cuentas) que lee el microscopio dependiendo de la energía que recibe en ese preciso momento.

Tomando como ejemplo de datos que se pueden estudiar por microscopía electrónica/RX los correspondientes a las fracciones orgánicas del suelo (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), para los dos meses estudiados por este método y bajo las diferentes coberturas, se puede observar que los elementos más abundantes del suelo son O, C, Si y Al. De estos elementos, Si, Al y O forman parte de la estructura de las arcillas, mientras que C y O son los elementos principales que componen la materia orgánica. Otros elementos destacables son los cationes Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> que actúan como elementos enlazantes, o dicho de otra forma, como cationes de cambio, unidos a las posiciones con carga negativa de las arcillas o de la materia orgánica, y como puente de enlace catiónico entre los coloides inorgánicos (arcillas) y los coloides orgánicos (materia orgánica). En proporciones muy bajas se encuentra metales como Fe, Cu y Mn. En este estudio este tipo de minerales no se ha considerado, sino que el estudio se ha realizado orientado a las relaciones entre la arcilla y la materia orgánica a través de los cationes enlazantes entre ambos, que son los divalentes Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, y el catión monovalente K<sup>+</sup>. Aunque también el Na<sup>+</sup> forma parte de estos cationes cambiables, no se ha considerado en el estudio debido a que se ha utilizado una sal de Na<sup>+</sup> (pirofosfato sódico) para la separación de las sustancias húmicas (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) solubles en bases fuertes, de la fracción humina (insoluble) y, por tanto, la presencia de este catión en el análisis puede deberse al reactivo utilizado. De la misma forma, en el caso de las fracciones de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, además de la presencia de Na<sup>+</sup> debida al reactivo, también se detecta una proporción considerable de S debido a que se ha utilizado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) para la separación de las dos mencionadas fracciones húmicas.

En la figura 4.69 se muestran las relaciones obtenidas entre los elementos Si, Al y O en la fracción humina del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>). En dicha figura se observa, a partir de los valores medios obtenidos en todas las coberturas de suelo y épocas del año, que en la fracción humina cada Si se rodea de 4 O y 3 Al, y cada Al con 10-12 O, lo que indica la estructura típica de las arcillas con grupos O<sup>2-</sup> que se enlazan con los grupos de la materia orgánica a través de los cationes divalentes. Así mismo, se observa que las huminas en julio tienden a tener mayor proporción de estos grupos O<sup>2-</sup> lo que se interpreta, a priori, como la existencia de mayor proporción de materia orgánica unida a las arcillas a través de cationes de cambio. Esta hipótesis se corroborará mediante el estudio del contenido de C y de los cationes enlazantes, derivado del análisis y el tratamiento de los datos de microscopía/RX.



**Figura 4.69.** Proporciones relativas de los elementos Si, Al y O en la fracción humina del suelo de las muestras superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

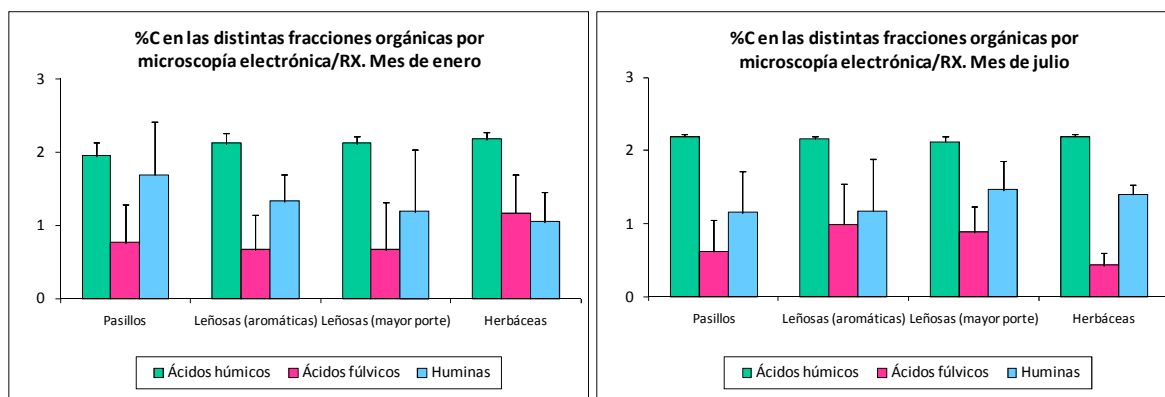
En cuanto a los cationes de cambio (tablas de 4.4 a 4.9), se observan variaciones sobre todo en el catión Ca<sup>2+</sup> cuyas proporciones, en la época estival, aumentan respecto a las de los cationes Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en el suelo de los pasillos y en los suelos con coberturas de especies leñosas de mayor porte. En el caso de los suelos cubiertos con herbáceas, en verano el complejo de cambio se enriquece en K<sup>+</sup>, mientras que en invierno las proporciones de los cationes Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> se igualan. En cuanto a los suelos con coberturas de especies aromáticas y leñosas de mayor porte, en invierno la proporción de K<sup>+</sup> en el complejo de cambio es mucho más baja que en el suelo de los otros dos tipos de cobertura.

#### 4.1.2.8.1. Estudio del contenido y la naturaleza del C en las fracciones orgánicas mediante microscopía electrónica/RX

Los valores de % de C para las distintas fracciones orgánicas obtenidos a partir de los datos del análisis elemental, por división del % de C en peso por su número atómico, se indican en la figura 4.70. En dicha figura se observa de forma generalizada que el % de C en los ácidos húmicos del suelo es mayor que en las huminas, y ambos mayores que en los ácidos fúlvicos, siendo la única excepción el suelo cubierto de herbáceas en el mes de enero, dado que el % de C en ácidos fúlvicos supera al % de C en huminas. La concentración de C en ácidos húmicos no varía entre las dos épocas y alcanza valores similares para el suelo con los cuatro tipos de cobertura. Sin embargo, la proporción de C en ácidos fúlvicos y huminas del suelo de los pasillos en verano es bastante menor que en invierno. En el caso de las herbáceas, la proporción de C en ácidos húmicos es similar en las dos épocas, pero el descenso de la proporción de C en huminas que se produce en

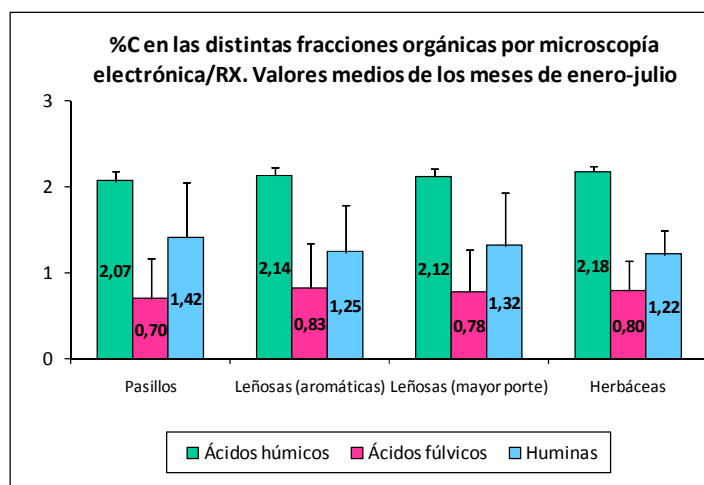


invierno se compensa con un aumento significativo de C en ácidos fúlvicos. Las menores desviaciones se observan en ambas épocas en los valores obtenidos en ácidos húmicos, mientras que en ácidos fúlvicos y huminas se dan los valores más altos de desviaciones.



**Figura 4.70.** Contenidos de C en las distintas fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en los meses de enero y julio mediante el análisis de microscopía/RX.

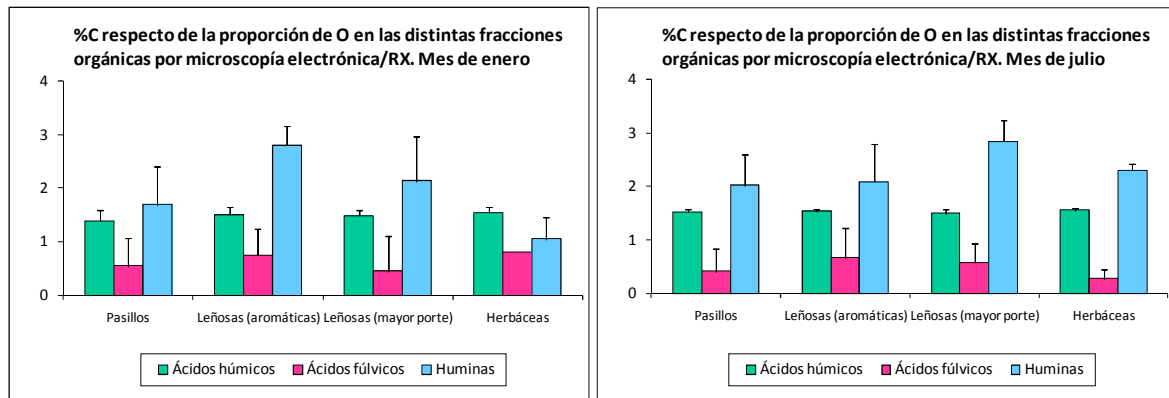
Los valores medios de % de C obtenidos en las distintas fracciones orgánicas mediante microscopía electrónica/RX, a partir de los contenidos de los meses de enero y julio, se muestran en la figura 4.71.



**Figura 4.71.** Contenidos medios de C (meses de enero y julio) en las distintas fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) mediante el análisis de microscopía/RX.

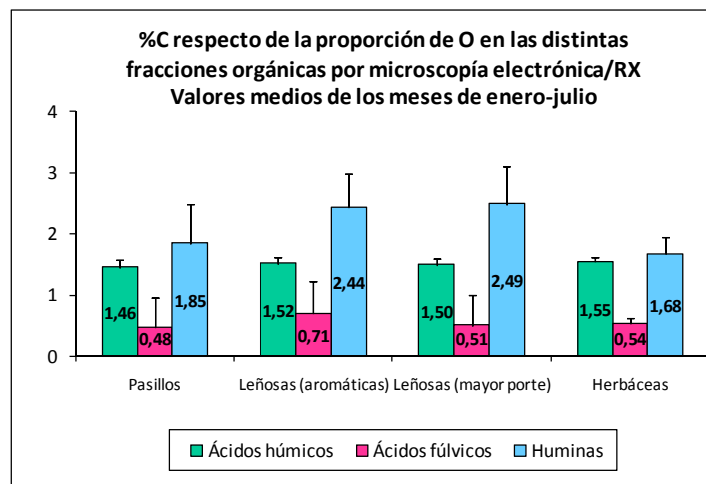
En la figura 4.71 se observa que los % de C medios obtenidos en ácidos húmicos son bastante similares en las distintas coberturas, obteniéndose el valor más bajo en los suelos de los pasillos (2,07%), valores intermedios en los suelos cubiertos con especies leñosas de mayor porte (2,12%) y aromáticas (2,14%), siendo en los suelos bajo herbáceas donde se observa un valor algo superior (2,18%). En cuanto a los % de C en huminas, ocurre a la inversa, valores más altos en los suelos de los pasillos (1,42%) y menores valores en los suelos con cobertura de especies herbáceas (1,22%). Respecto a los % de C en ácidos fúlvicos, al igual que lo observado en ácidos húmicos, los valores más bajos se obtienen en los suelos de los pasillos desprovistos de vegetación (0,70%). No obstante, los mayores porcentajes en ácidos fúlvicos se observan en los suelos cubiertos con especies aromáticas (0,83%).

En las figuras 4.72 y 4.73 se representan los valores de las figuras 4.70 y 4.71 corregidos respecto de la proporción de O determinada en el análisis elemental. Al realizar este tipo de corrección, los valores de C en huminas aumentan tanto en verano como en invierno, los valores de los ácidos húmicos disminuyen y los de los ácidos fúlvicos varían poco. Este resultado indica que en el caso del C en huminas, la integración del C en forma del complejo arcillo-húmico aumenta la polaridad de la materia orgánica y, por tanto, su capacidad para intercambiar cationes y su capacidad para retener agua. En el caso de los ácidos húmicos puede haber una alta proporción de C (probablemente aromático, muy polimerizado) poco unido a grupos O y, por tanto, al corregir el contenido de C con la proporción de O de la muestra el valor desciende. Este tipo de materia orgánica sería poco polar (hidrófoba). En el caso del C en ácidos fúlvicos, éste parece estar unido a grupos ricos en O y, por tanto, de naturaleza hidrófila.



**Figura 4.72.** Contenidos de C respecto de la proporción de O determinados en el análisis de las fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) en los meses de enero y julio mediante microscopía electrónica/RX.

Los valores medios de % de C obtenidos respecto de la proporción de O en las distintas fracciones orgánicas mediante microscopía electrónica/RX, a partir de los contenidos determinados en los meses de enero y julio, se muestran en la figura 4.73.



**Figura 4.73.** Contenidos medios de C (meses de enero y julio) respecto de la proporción de O, determinados en el análisis de las fracciones orgánicas de las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) mediante microscopía electrónica/RX.

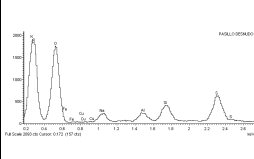
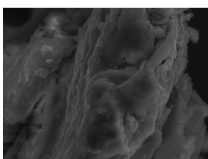
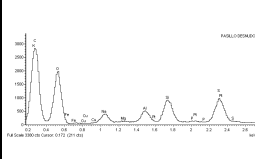
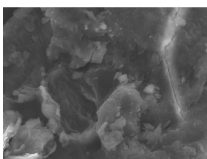
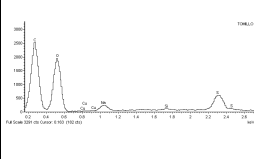
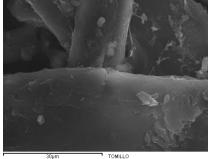
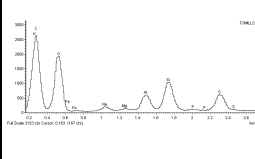
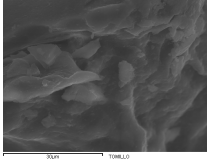
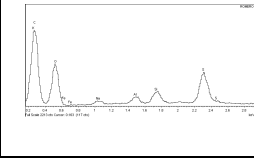
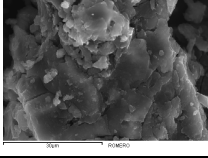
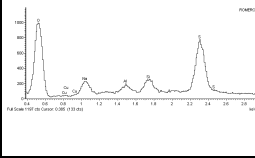
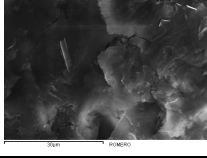
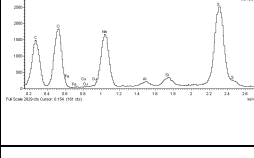
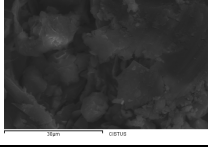
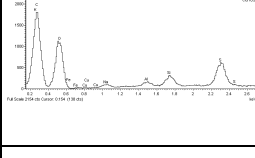
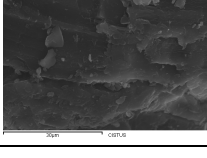
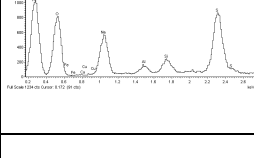
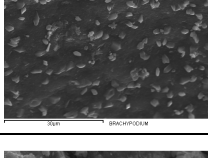
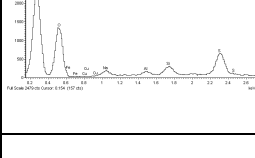
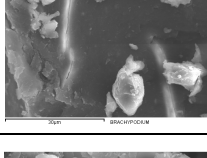
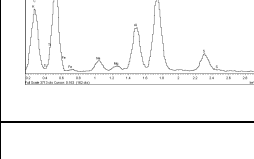
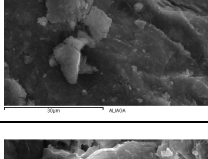
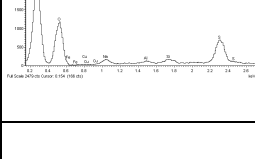
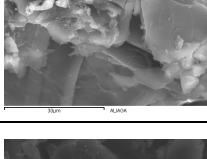
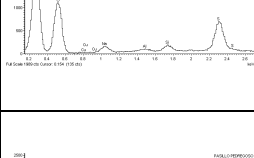
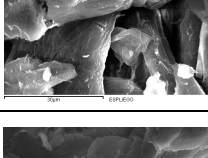
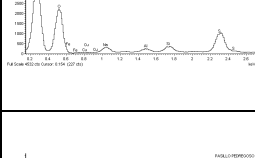
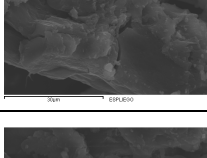
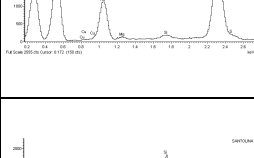
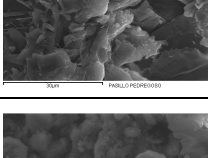
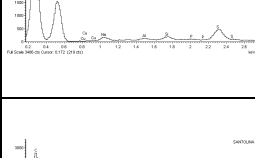
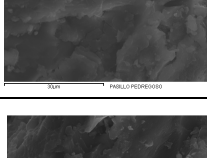
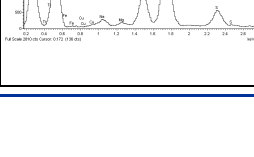

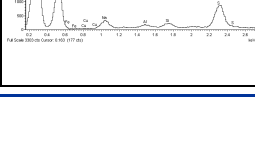

En la figura 4.73 se observa en general que los % de C medios respecto de la proporción de O más elevados se determinan en las huminas del suelo, le siguen los % de C en ácidos húmicos con valores intermedios, obteniéndose los menores % de C en ácidos fúlvicos. En cuanto a los % de C en ácidos húmicos, al igual que lo observado anteriormente en la figura 4.71, se han determinado contenidos muy similares en las diferentes coberturas, el valor más bajo se obtiene en los suelos de los pasillos (1,46%), contenidos intermedios en los suelos bajo especies leñosas de mayor porte (1,50%) y aromáticas (1,52%), siendo en el suelo cubierto con herbáceas donde se observa un valor ligeramente superior (1,55%). En el caso del % de C en ácidos fúlvicos, también se obtienen los menores contenidos en los suelos desprovistos de vegetación (0,48%), mientras que los valores más altos se determinan en los suelos con coberturas de aromáticas (0,71%). Los contenidos intermedios de ácidos fúlvicos se observan en suelos cubiertos con especies leñosas de mayor porte (0,51%) y herbáceas (0,54%), con porcentajes similares en estas coberturas. Respecto al % de C en huminas del suelo, se obtienen los mayores contenidos en los suelos bajo leñosas de mayor porte (2,49%) y aromáticas (2,44%), observándose valores muy parecidos en ambas coberturas. En cambio, los contenidos más bajos se determinan en los suelos cubiertos con herbáceas (1,68%).

#### **4.1.2.8.2. Representación gráfica y fotográfica de las distintas fracciones orgánicas obtenidas mediante microscopía electrónica/RX para los puntos de muestreo de ambas parcelas estudiadas**

Mediante el microscopio electrónico se representa una gráfica (tablas de 4.4 a 4.9) de cada muestra de suelo superficial de los diferentes puntos de muestreo considerados en ambas parcelas, para las distintas fracciones orgánicas del suelo obtenidas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), en la que se indica el número de rayos X (número de cuentas) que lee el microscopio dependiendo de la energía que recibe en ese preciso momento, la cual se mide en kiloelectronvoltios (keV). Finalmente el microscopio realiza también una fotografía (tablas de 4.4. a 4.9) de las diferentes muestras de suelo superficiales de ambas parcelas estudiadas en la cuenca, para las fracciones de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

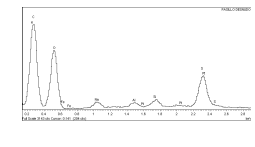
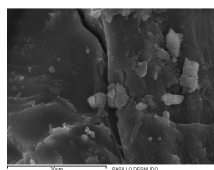
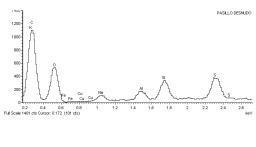
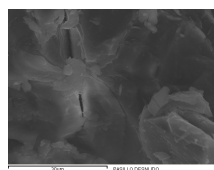
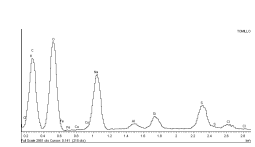
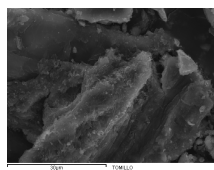
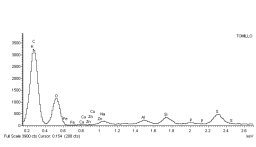
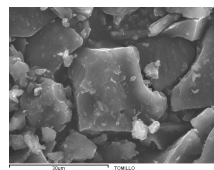
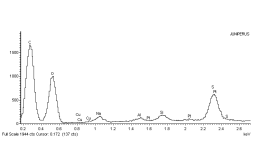
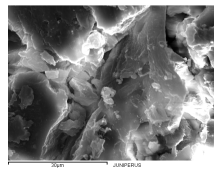
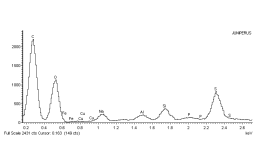
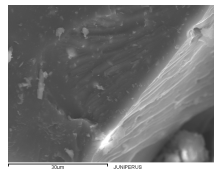
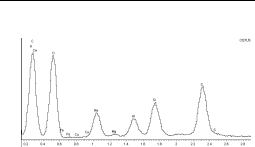
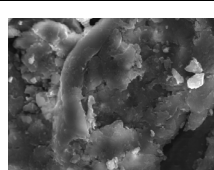
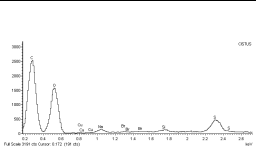
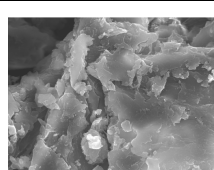
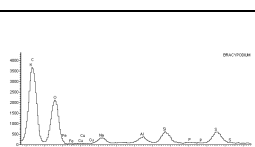
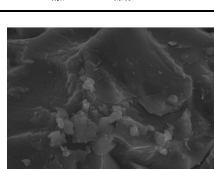
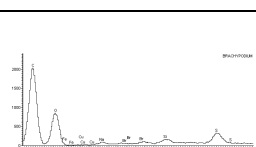
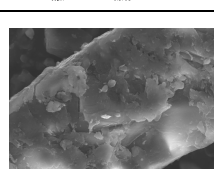
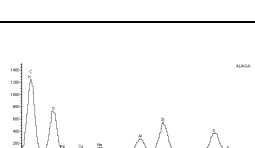
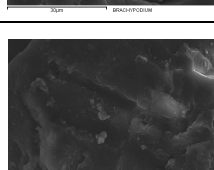
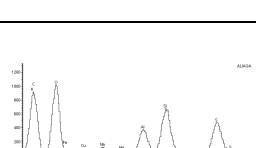
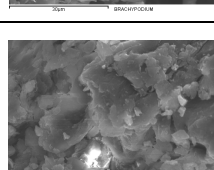
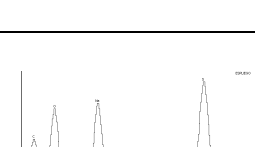
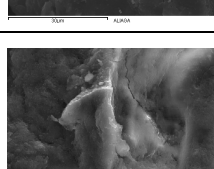

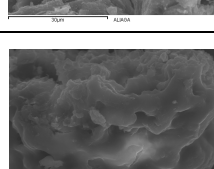
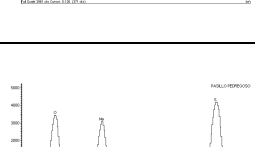
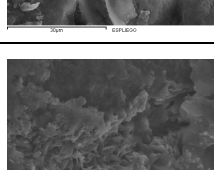

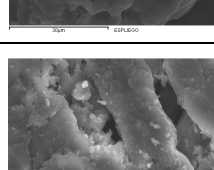
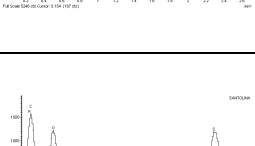
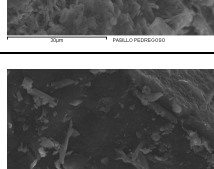

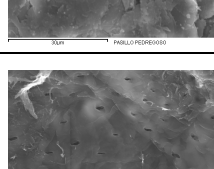
**4.1.2.8.2.1. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba**

**Tabla 4.4.** Microscopía electrónica/RX de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (0.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (0.2.)</b>				
<b>Rosmarinus officinalis (0.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (0.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (0.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (0.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (0.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (0.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (0.9.)</b>				

**4.1.2.8.2.2. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo**

Tabla 4.5. Microscopía electrónica/RX de ácidos húmicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (1.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (1.2.)</b>				
<b>Juniperus oxycedrus (1.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (1.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (1.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (1.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (1.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (1.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (1.9.)</b>				

**4.1.2.8.2.3. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba**

**Tabla 4.6.** Microscopía electrónica/RX de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (0.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (0.2.)</b>				
<b>Rosmarinus officinalis (0.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (0.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (0.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (0.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (0.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (0.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (0.9.)</b>				

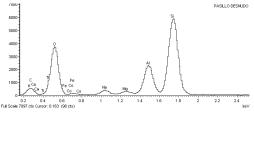
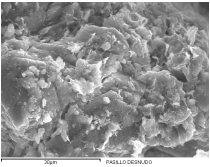
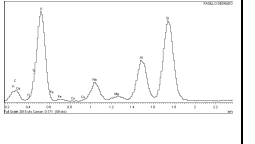
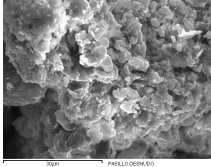
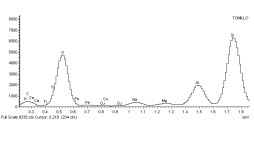
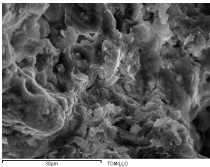
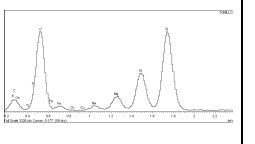
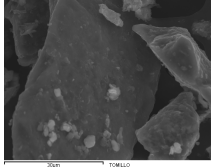
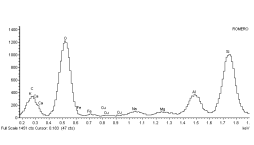
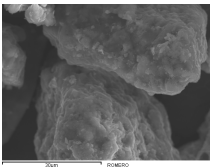
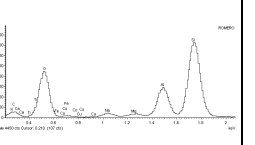
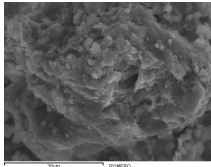
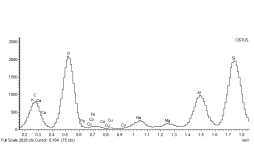
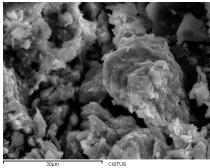
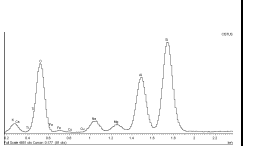
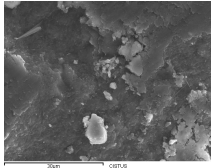
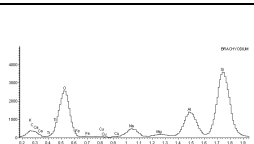
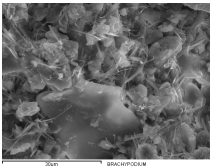
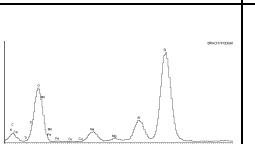
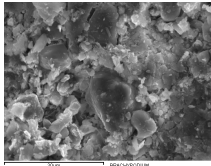
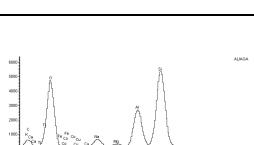
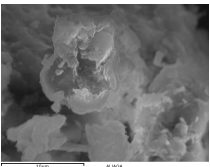
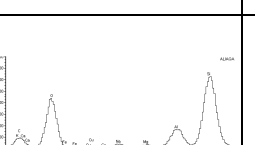
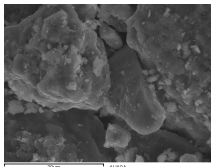
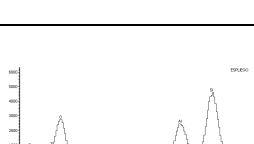
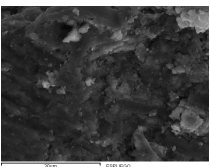
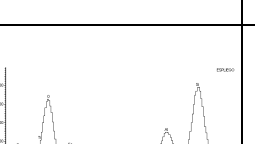
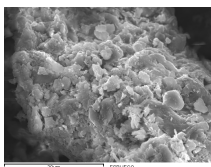
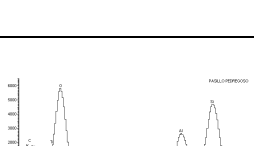
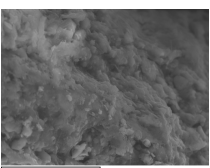
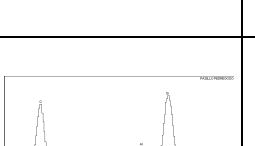
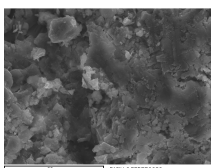

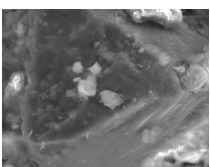
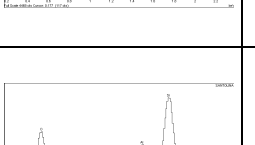
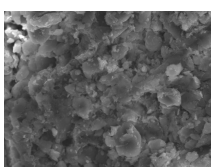
### 4.1.2.8.2.4. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo

Tabla 4.7. Microscopía electrónica/RX de ácidos fúlvicos. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (1.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (1.2.)</b>				
<b>Juniperus oxycedrus (1.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (1.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (1.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (1.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (1.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (1.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (1.9.)</b>				

4.1.2.8.2.5. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba

Tabla 4.8. Microscopía electrónica/RX de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Arriba.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (0.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (0.2.)</b>				
<b>Rosmarinus officinalis (0.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (0.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (0.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (0.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (0.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (0.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (0.9.)</b>				



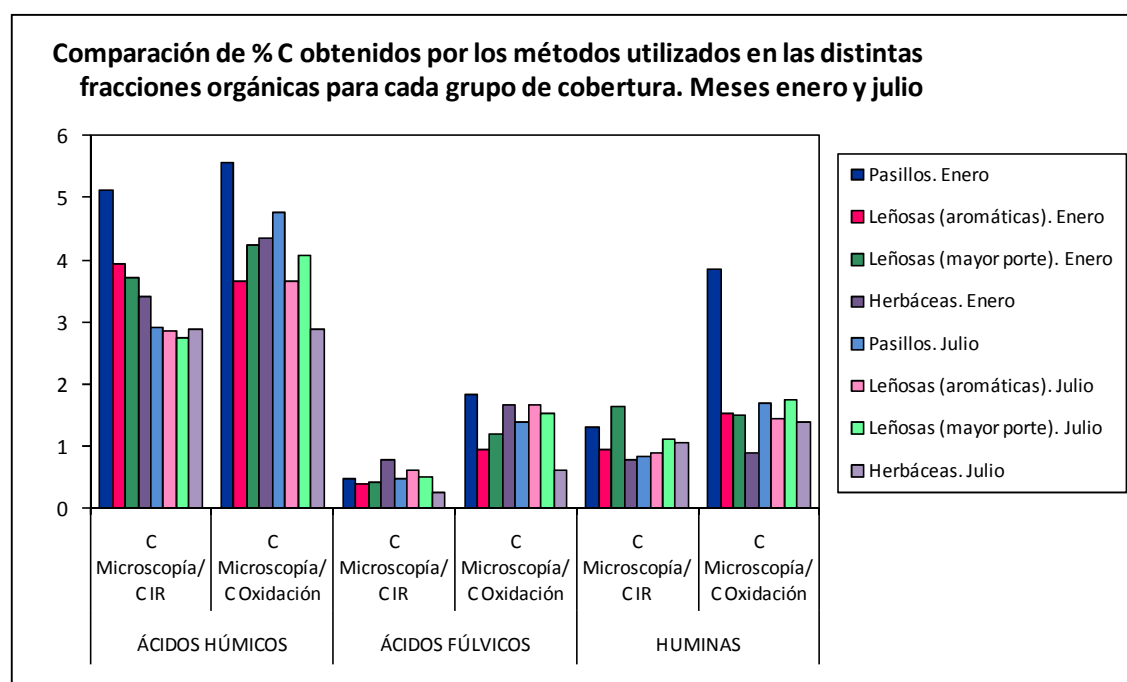
**4.1.2.8.2.6. Representación gráfica y fotográfica (microscopía electrónica/RX) de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo**

**Tabla 4.9.** Microscopía electrónica/RX de huminas. Puntos de muestreo de la parcela Campo Abajo.

Muestra	Mes: ENERO		Mes: JULIO	
<b>Pasillo desnudo (1.1.)</b>				
<b>Thymus vulgaris (1.2.)</b>				
<b>Juniperus oxycedrus (1.3.)</b>				
<b>Cistus albidus (1.4.)</b>				
<b>Brachypodium retusum (1.5.)</b>				
<b>Ulex parviflorus (1.6.)</b>				
<b>Lavandula latifolia (1.7.)</b>				
<b>Pasillo pedregoso (1.8.)</b>				
<b>Santolina chamaecyparissus (1.9.)</b>				

#### 4.1.2.9. COMPARACIÓN DE CONTENIDOS DE C EN LAS FRACCIONES ORGÁNICAS DETERMINADOS POR LOS DISTINTOS MÉTODOS UTILIZADOS: MICROSCOPIA ELECTRÓNICA/RX, ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS Y OXIDACIÓN. VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL

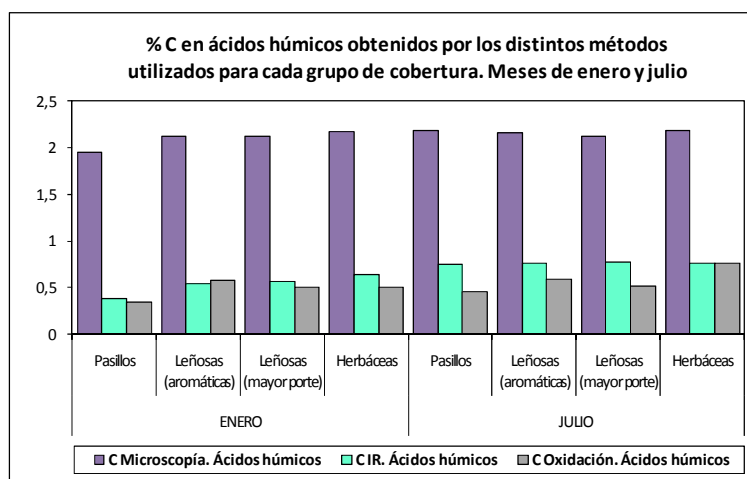
Para obtener una idea de la correspondencia de los contenidos de C determinados en cada fracción orgánica analizada por los distintos métodos utilizados (microscopía electrónica/RX, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), se ha trabajado con los valores medios obtenidos para cada grupo de cobertura del suelo (4 tipos de cobertura) en las dos épocas de muestreo (enero y julio), y se han realizado los cocientes entre el C obtenido por microscopía y el C determinado por los otros dos métodos (espectroscopía de infrarrojos y oxidación). Los resultados para el C en las distintas fracciones se muestran en la figura 4.74.



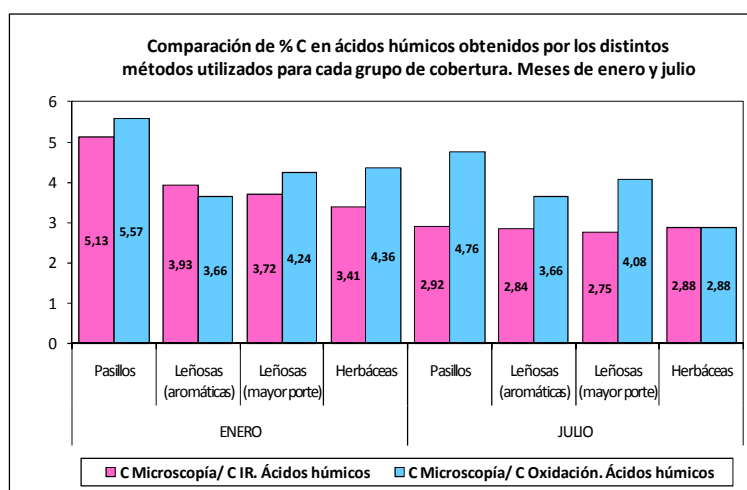
**Figura 4.74.** Comparación de % de C en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales (A<sub>1</sub>), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

En la figura 4.74 se observa de forma generalizada, que la fracción de los ácidos húmicos es la que presenta los valores más elevados de los cocientes entre el C determinado por microscopía y el C obtenido por los otros dos métodos (IR y oxidación). Los valores intermedios de dichos cocientes se obtienen en la fracción de las huminas, mientras que los menores cocientes se detectan en la fracción de los ácidos fúlvicos.

La medida del % de C en **ácidos húmicos** por microscopía es mayor que por los otros dos métodos y, entre ellos, la medida mediante oxidación es la menor en la mayoría de las coberturas (figura 4.75), salvo en los suelos cubiertos con especies aromáticas en el mes de enero donde los menores % de C se obtienen mediante IR, y en julio en los suelos con cobertura de herbáceas los contenidos de C se mantienen (0,76%) tanto en IR como en oxidación.



**Figura 4.75.** Contenidos de C en ácidos húmicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

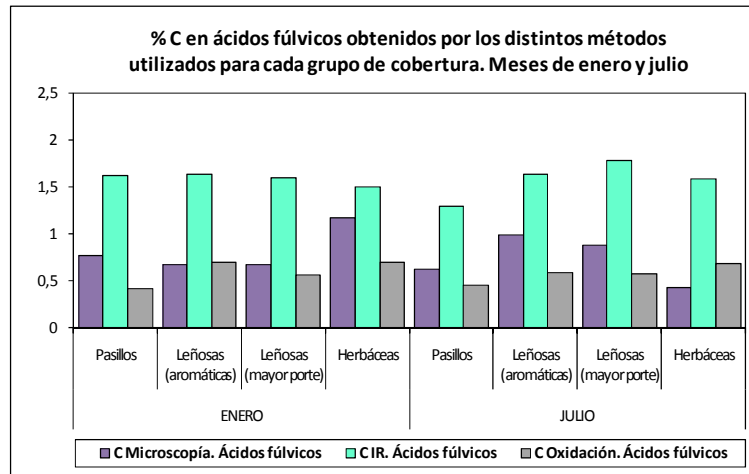


**Figura 4.76.** Comparación de % de C en ácidos húmicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

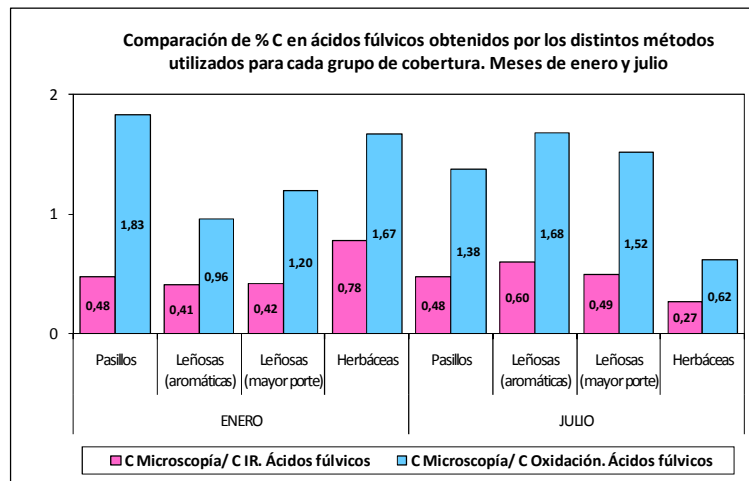
En la figura 4.76 se comparan los % de C en ácidos húmicos del suelo determinados mediante los tres métodos utilizados, para analizar las variaciones que pueden haber entre las diferentes coberturas en los dos meses de muestreo (enero y julio). Los valores más extremos de ambos cocientes se presentan en los suelos de los pasillos en el mes de enero, y en los espacios cubiertos por herbáceas en julio. En los suelos de los pasillos se observan en enero los valores más altos, 5,13 (C microscopía/C IR) y 5,57 (C microscopía/C oxidación), dado que se han obtenido los menores % de C en ácidos húmicos mediante IR (0,38%) y oxidación (0,35%) (figura 4.75). En cambio en julio, en los suelos con cobertura de herbáceas se determinan los valores más bajos en el cociente entre el C microscopía/C oxidación (2,88), obteniéndose los mismos valores entre el C microscopía/C IR. Mientras que los menores valores entre el C microscopía/C IR en julio se detectan en los espacios cubiertos por leñosas de mayor porte (2,75), no habiendo apenas diferencias entre los valores obtenidos en el resto de coberturas para el mes de julio. Los resultados nuevamente destacan el comportamiento diferencial y estacionalmente opuesto de los suelos con valores de materia orgánica y cobertura extremos, aunque no podemos dar

una explicación al hecho de que se determine más % de C por microscopía. Una hipótesis a comprobar sería si estos resultados se deben a que una alta proporción de C respecto de O en los ácidos húmicos magnifique el contenido de C en las muestras con menor contenido de C en esta fracción, y determine por defecto esta concentración en las muestras con mayor contenido de C pero con menor proporción de C respecto de O.

El % de C en **ácidos fúlvicos** por IR es mayor que por los otros dos métodos y, entre ellos, la medida por oxidación es la menor en casi todas las coberturas (figura 4.77), excepto en los suelos con cobertura de aromáticas en el mes de enero, y en julio en los suelos cubiertos por herbáceas, dado que en ambas coberturas se obtienen los menores % de C mediante microscopía.



**Figura 4.77.** Contenidos de C en ácidos fúlvicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

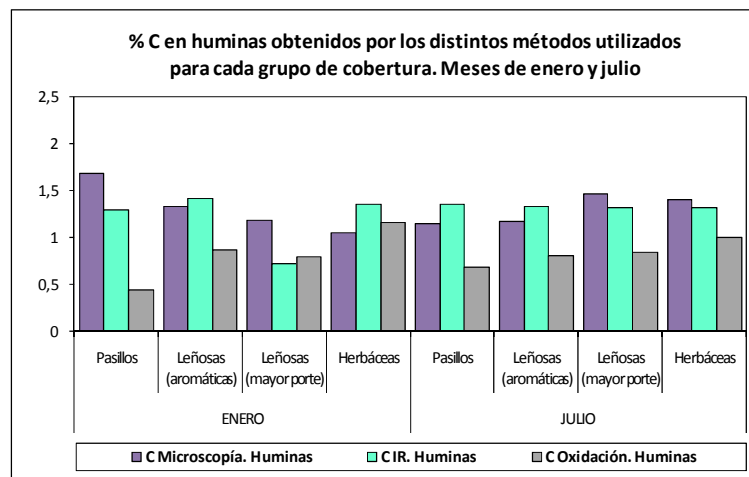


**Figura 4.78.** Comparación de % de C en ácidos fúlvicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

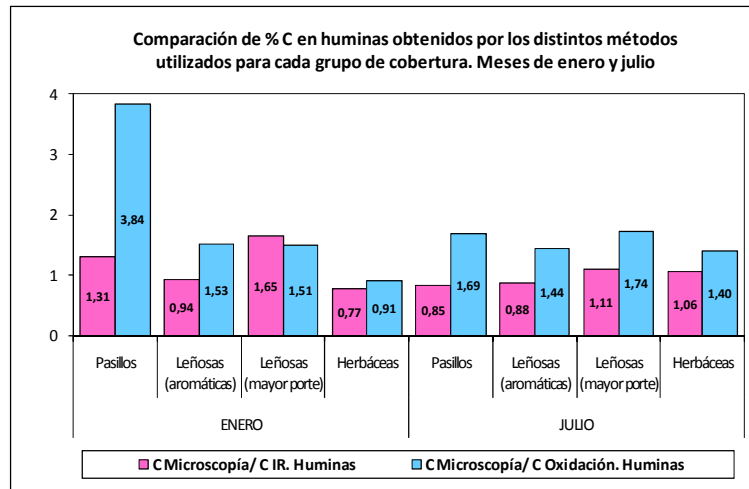
Al comparar los % de C en ácidos fúlvicos del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (figura 4.78), se analizan las diferencias existentes entre las coberturas, así como en las dos épocas de muestreo (enero y julio). Tanto los valores extremos por exceso como por defecto entre el C microscopía/C IR, corresponden a los suelos cubiertos con herbáceas, siendo el mayor valor obtenido de 0,78 en el mes de enero y el valor más bajo

de 0,27 en julio. En cuanto al cociente entre el C microscopía/C oxidación, los valores extremos por exceso corresponden a los suelos de pasillos (1,83) en enero, mientras que los valores extremos por defecto de este cociente se determinan en los suelos con cobertura de herbáceas (0,62) en julio. Este resultado sugiere que en general, los valores por microscopía son ligeramente mayores que por oxidación aunque correlacionados, excepto en el caso de los dos tipos de cobertura extremos con contenidos de materia orgánica y funcionamiento estacional opuestos. Una posible hipótesis para explicar dichas variaciones es que la composición de los ácidos fúlvicos de estos espacios varíe en las diferentes épocas, con alta proporción de grupos C respecto de O en el suelo de los pasillos en enero (C poco oxidable y, por tanto, poco valorable por oxidación) y, opuestamente, alta proporción de O respecto de C en los ácidos fúlvicos con herbáceas en julio y, por tanto, C más fácilmente oxidable. Estas diferencias de composición en los ácidos fúlvicos resultarían en una magnificación de la concentración de C por microscopía para el suelo de los pasillos en enero y una concentración por defecto para las herbáceas en julio. Finalmente, se sugiere también como posible explicación a la alta concentración de C en ácidos fúlvicos determinada por IR, una sobreestimación del C debido a que la intensidad de cada pico de absorción atribuida a formas de C puede deberse también a formas de N y, por tanto, estamos sobreestimando la concentración de C en los espectros de IR.

Los % de C en **huminas** del suelo (figura 4.79) determinados por los métodos de microscopía y por infrarrojos, de forma generalizada son los contenidos más elevados que obtienen y son bastante similares entre ellos en algunas coberturas, como ocurre en los suelos cubiertos con aromáticas (meses de enero y julio) con contenidos ligeramente superiores de C en IR que de C en microscopía, así como en los suelos cubiertos por leñosas de mayor porte y herbáceas (solamente mes de julio), en los que en cambio los contenidos son un poco más altos de C en microscopía que de C en IR. Sin embargo, los % de C obtenidos por oxidación son inferiores en la mayoría de las coberturas, salvo en el mes de enero en los suelos cubiertos con especies leñosas de mayor porte (% de C en IR más bajo) y en los suelos con herbáceas (% de C en microscopía menor valor).



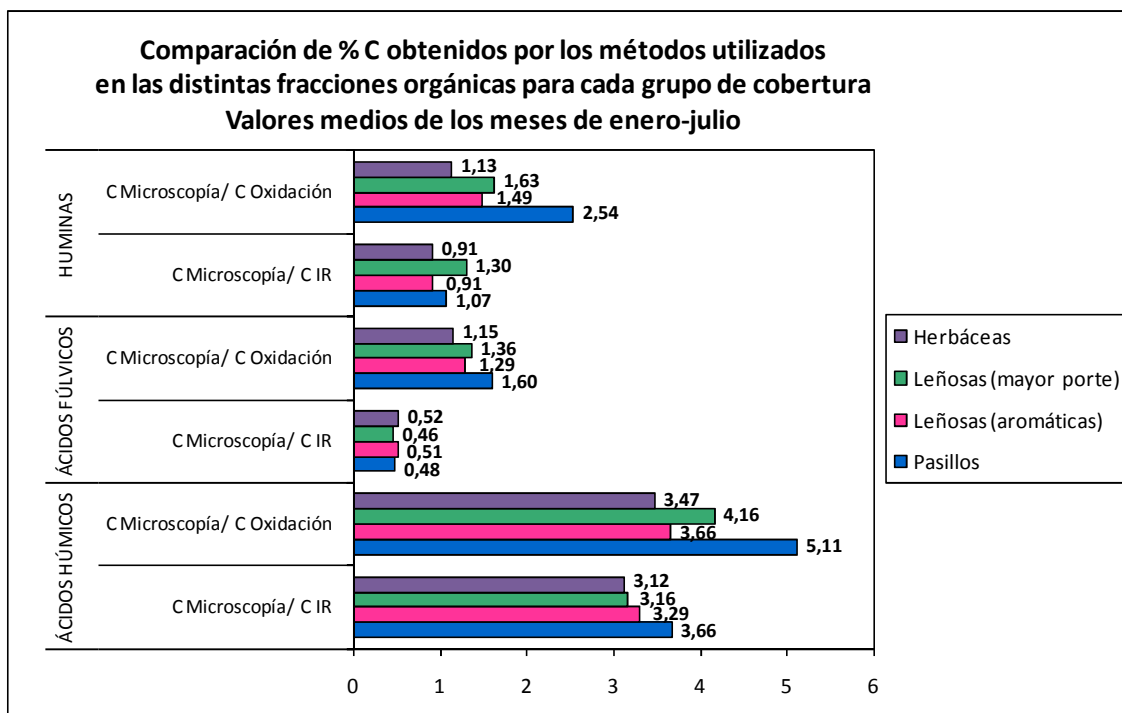
**Figura 4.79.** Contenidos de C en huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).



**Figura 4.80.** Comparación de % de C en huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ), para los distintos grupos de cobertura en las dos épocas de muestreo (enero y julio).

En la figura 4.80 se comparan los % de C en huminas del suelo obtenidos mediante los tres métodos utilizados, con el fin de analizar las variaciones que se presentan entre las distintas coberturas en los dos meses de muestreo (enero y julio). Los valores extremos por exceso entre el C microscopía/C IR, corresponden a los suelos cubiertos por leñosas de mayor porte (1,65) en el mes de enero, observándose los valores extremos por defecto en suelos con herbáceas (0,77) también en enero. Respecto a los valores extremos por exceso entre el C microscopía/C oxidación, se obtienen en los suelos de los pasillos (3,84) en enero, valor que se diferencia bastante de los determinados en el resto de coberturas. En cambio, los valores extremos por defecto se determinan en los suelos con coberturas de herbáceas (0,91) pero también en el mes de enero. En general, se observa que los valores que se obtienen en el cociente entre el C microscopía/C oxidación son superiores a los valores resultantes del cociente entre el C microscopía/C IR, a excepción del suelo cubierto con especies leñosas de mayor porte en el mes de enero, dado que ocurre a la inversa. Estos valores extremos ocurren para los dos espacios de suelo con valores extremos de contenido de materia orgánica y funcionamiento edáfico, el de los espacios de suelo cubiertos con herbáceas que es el suelo con contenidos de materia orgánica altos, cuyos valores serían equivalentes a los determinados por los tres métodos; y el de los espacios correspondientes a los pasillos con contenidos de materia orgánica bajos, para los cuales el método de oxidación determina contenidos de C en huminas muy bajos en enero. Este resultado podría explicarse debido a la gran variabilidad dentro de este grupo y también debido a que, posiblemente, el tipo de C en las huminas sea poco oxidable en el caso del suelo de los pasillos en enero, y muy oxidable en los espacios cubiertos por herbáceas. Los resultados también sugieren que existen contenidos de C, formas del C en las huminas del suelo y, en general, procesos de interacción suelo-materia orgánica estacionales, para los que el método de oxidación parece ser más erróneo que la determinación por técnicas instrumentales como la de espectroscopía de infrarrojos y la de microscopía electrónica/RX.

En la figura 4.81 se representan los valores medios entre los meses de enero y julio, obtenidos de dividir el C determinado por microscopía con el obtenido por los otros dos métodos (espectroscopía de infrarrojos y oxidación).



**Figura 4.81.** Comparación de % de C medios (entre los meses de enero y julio) en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas del suelo obtenidos por los tres métodos utilizados (microscopía electrónica, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) en las muestras superficiales ( $A_1$ ) para los distintos grupos de cobertura.

En la figura 4.81 se observa que en la fracción de los **ácidos húmicos** se obtienen los cocientes más altos, tanto entre el C microscopía/C IR (varían de 3,12 a 3,66) como entre el C microscopía/C oxidación (oscilan de 3,47 a 5,11). En ambos casos destacan los suelos de los pasillos donde se observan los mayores cocientes, mientras que los valores más bajos se obtienen en los suelos cubiertos por herbáceas. En cuanto a la fracción de las **huminas**, los suelos presentan valores intermedios en los cocientes entre el C microscopía/C IR (oscilan de 0,91 a 1,30) y entre el C microscopía/C oxidación (varían de 1,13 a 2,54). Los valores obtenidos entre el C microscopía/C IR indican los valores más elevados en los suelos cubiertos por especies leñosas de mayor porte, mientras que los menores valores se observan tanto en los suelos de los pasillos como en los cubiertos con aromáticas, obteniéndose en ambos casos los mismos valores (0,91). Respecto a los valores determinados entre el C microscopía/C oxidación para la fracción de huminas, al igual que lo observado anteriormente en la fracción de los ácidos húmicos, se obtienen los cocientes más altos en los suelos de los pasillos y los menores en los cubiertos por herbáceas. Finalmente, la fracción de los **ácidos fúlvicos** es la que obtiene los cocientes más bajos, tanto entre el C microscopía/C IR (oscilan de 0,46 a 0,52) como entre el C microscopía/C oxidación (varían de 1,15 a 1,60). Los valores entre el C microscopía/C IR se observan muy similares entre las diferentes coberturas, siendo ligeramente mayores en los suelos cubiertos por herbáceas e inferiores en los cubiertos por especies leñosas de mayor porte. En cuanto a los valores obtenidos entre el C microscopía/C oxidación, de igual forma que lo observado con anterioridad en la fracción de los ácidos húmicos y de las huminas, se detectan los valores más elevados en los suelos de los pasillos y los más bajos en los cubiertos por herbáceas.

### 4.1.3. ARTRÓPODOS COMO INDICADORES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

#### 4.1.3.1. FAUNA EDÁFICA. VARIABILIDAD ESPACIAL

La fauna edáfica es un factor importante que influye directamente sobre la fertilidad de los suelos. Los organismos realizan básicamente las siguientes 3 funciones: mecánica, química y biológica.

- 1) **Acción mecánica:** Se produce una formación de agregados estables y una mejora de la porosidad. Los animales del suelo fragmentan y distribuyen la materia orgánica, y con sus movimientos construyen pequeñas galerías. Todo esto en conjunto, produce una mayor aireación y mejor circulación del agua y el aire en el suelo.
- 2) **Acción química:** Se produce una mejora en la lixiviación y un enriquecimiento en minerales asimilables, así como una degradación de los compuestos orgánicos a moléculas más sencillas. La mineralización de componentes orgánicos a formas inorgánicas origina la liberación de nutrientes para las plantas. Los animales del suelo producen una síntesis y excreción de productos orgánicos en el suelo, intervienen en el ciclo de numerosos elementos como C, N, P, Ca, Fe y Mn entre otros, y además, producen compuestos biorreguladores, sustancias alelopáticas, así como de acción bactericida y fungicida entre otras.
- 3) **Acción biológica:** Se produce una estimulación de la flora microbiana del suelo.

La diversidad de artrópodos es un factor importante, ya que según vayan aumentando la cantidad de factores limitantes ésta irá disminuyendo. Es una medida relacionada con la calidad del suelo, pues cuanta más diversidad tenga, en mejores condiciones se encontrará un suelo.

La cantidad de población es otro factor a valorar que podemos encontrar dentro de un determinado taxón. Las sustancias contaminantes tóxicas para los individuos y la limitación de alimento afectan al número de individuos o tamaño de las poblaciones, siendo otro de los indicadores.

La fauna del suelo está íntimamente relacionada con las condiciones ambientales (tª, humedad, luz, etc.), por lo que la evolución de cada individuo varía a lo largo del año. Se consideran factores favorables un régimen de humedad del suelo, así como un mayor contenido de materia orgánica, siendo factores relacionados con la mayor abundancia de artrópodos.

Tradicionalmente los seres vivos del suelo se han clasificado tróficamente, según el tipo de alimentación o la función que ocupan en el suelo. Así, hay descomponedores, detritívoros, saprófagos, bacteriófagos, fungívoros, fitófagos o carnívoros.

Los artrópodos en los diferentes niveles del suelo realizan unas funciones parecidas a las de las lombrices. Actúan como trituradores en partículas finas de la materia orgánica, haciéndola más asimilable para la planta.

Entre los grupos de artrópodos no fitopatógenos dominantes de la mesofauna edáfica de los ecosistemas (Balogh, 1972; Adison et al., 2003) tenemos que los colémbolos y ácaros del suelo pueden ser usados como indicadores biológicos, refiriéndonos a organismos vivos que nos indican el estado o la situación de un medio en concreto. Los oribátidos también entre los principales indicadores de calidad del suelo, son consumidores de residuos vegetales y de la microflora edáfica, intervienen en el ciclo de los nutrientes,



formación de suelo fértil y son, por tanto, indicadores de la salud biológica y sostenibilidad del suelo (Novo et al., 2014; Arroyo et al., 2006; Bejda et al., 2000; Brussaard et al., 2007).

Los colémbolos constituyen un componente principal de la entomofauna del suelo, y juegan un papel importante en la degradación de los productos orgánicos y en la fabricación del humus, de ahí que su cantidad y calidad en un determinado biotipo sean utilizadas como indicadores biológicos. En general son lucífogos y habituales de lugares húmedos, sombríos y ricos en materia orgánica. Suelen ser muy abundantes entre la hojarasca.

Los ácaros oribátidos juegan varios papeles importantes en la fertilidad del suelo, pues intervienen en el ciclo de los minerales, en la descomposición de la materia orgánica y en la síntesis del humus, y facilitan la aireación y circulación del agua por los poros, mejorando la estructura del suelo. Su actividad edáfica contribuye a la restauración de los suelos degradados, acortando notablemente el tiempo necesario para que ésta se dé, especialmente si el suelo se cubre de vegetación adecuada, que facilite su actuación tras el abandono de los cultivos. Al habitar en la capa superficial del suelo, reaccionan rápido a las variaciones ambientales, por lo que si se dan cambios en su entorno pueden aparecer comunidades muy diferentes a las que existían inicialmente, en cuanto a especies y número de individuos. Por ello, se les trata de utilizar como indicadores de tipos de suelos.

Los ácaros gamásidos se desarrollan en un amplio rango de hábitats, se trata de depredadores en suelos y hojarasca que se desarrollan tanto en la superficie del suelo como sobre las plantas, siendo algunos capaces de dispersarse rápidamente en suelos forestales. En los agrosistemas la fauna edáfica del suborden *gamasida* es un importante depredador de nematodos, colémbolos y larvas de insectos, y su presencia constituye un importante bioindicador. Algunas especies pueden tener una alimentación mixta e ingerir también polen, hongos, etc., lo que ofrece gran interés de cara a su utilización en la lucha biológica, ya que pueden sobrevivir sobre las plantas aún cuando exista poca cantidad de presas.

En las parcelas de estudio se ha analizado la diversidad de fauna edáfica que habita en cada uno de los puntos de muestreo seleccionados en ambas parcelas, para tener una visión del tipo de organismos presentes. Para ello se han tomado muestras de suelo tanto superficiales (horizonte  $A_1$ ) como subsuperficiales (horizonte  $A_2$ ) en diferentes microambientes, en pasillos (desnudo y pedregoso) y bajo especies vegetales (aromáticas, leñosas de mayor porte y herbáceas), con el fin de obtener valores representativos de cada punto de muestreo.

En la figura 4.82 se representa el número de individuos encontrados por  $m^2$  en cada horizonte y en ambos horizontes, de forma generalizada, sin diferenciar los diferentes microambientes. Considerando la totalidad de puntos de muestreo de las parcelas estudiadas en la cuenca, se han encontrado en total 113.341 individuos/ $m^2$ , observando diferencias a nivel de horizonte, existiendo en la mayor parte de las muestras mayor abundancia de individuos en el horizonte  $A_1$  (78.667 individuos/ $m^2$ ) frente al horizonte  $A_2$  (34.674 individuos/ $m^2$ ). Al calcular los porcentajes de individuos totales, se obtiene un 75% de individuos en el horizonte superficial ( $A_1$ ) y un 25% de individuos encontrados en el horizonte a mayor profundidad ( $A_2$ ).

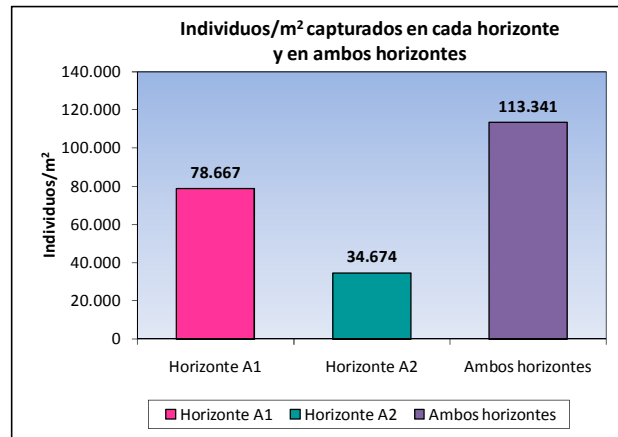


Figura 4.82. Individuos por m<sup>2</sup> capturados en cada horizonte A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>, así como en ambos horizontes.

En la figura 4.83 se observa que en todos los suelos se han encontrado más individuos en el horizonte superficial (A<sub>1</sub>) que en el subsuperficial (A<sub>2</sub>), especialmente bajo las especies *Thymus vulgaris* (13.003 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 2.601 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), *Juniperus oxycedrus* (13.978 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 1.300 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), *Ulex parviflorus* (11.052 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 2.167 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>) y *Brachypodium retusum* (8.127 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 867 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), salvo en los suelos del pasillo desnudo (1.625 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 3.467 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>) y bajo la especie *Santolina chamaecyparissus* (4.226 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 5.201 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), en los que ocurre lo contrario.

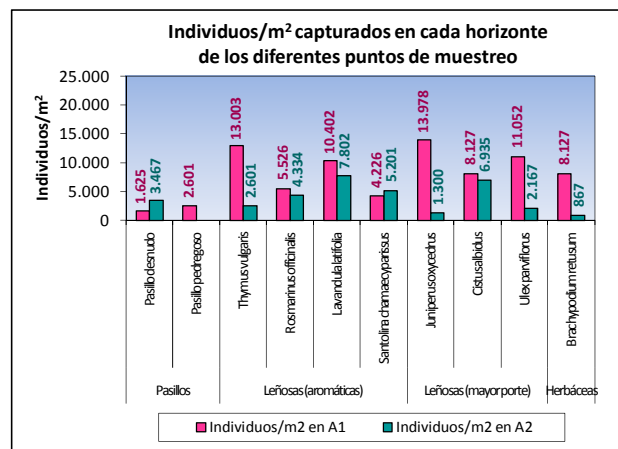
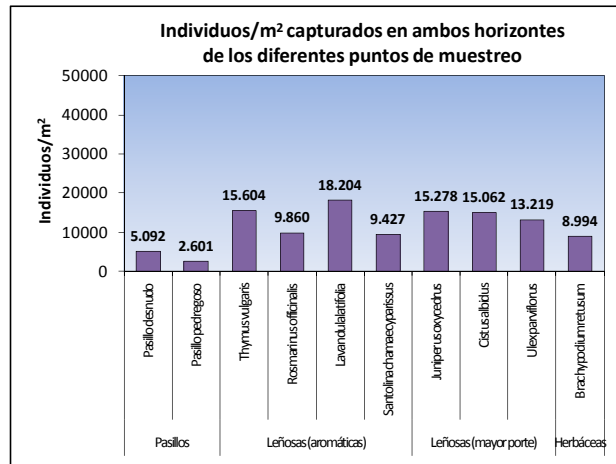


Figura 4.83. Individuos por m<sup>2</sup> capturados en los horizontes A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> de cada punto de muestreo.

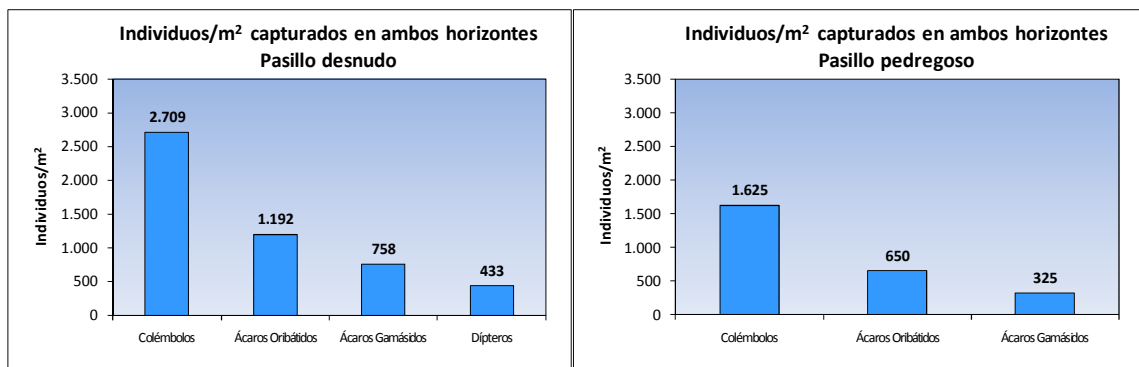
El mayor número de individuos aparecen en los suelos bajo especies aromáticas y leñosas de mayor porte (figura 4.84), entre los que destacan los suelos cubiertos con *Lavandula latifolia* (18.204 individuos/m<sup>2</sup>), *Thymus vulgaris* (15.604 individuos/m<sup>2</sup>), *Juniperus oxycedrus* (15.278 individuos/m<sup>2</sup>, *Cistus albidus* (15.062 individuos/m<sup>2</sup>) y *Ulex parviflorus* (13.219 individuos/m<sup>2</sup>), posteriormente bajo *Rosmarinus officinalis* (9.860 individuos/m<sup>2</sup>), *Santolina chamaecyparissus* (9.427 individuos/m<sup>2</sup>) y *Brachypodium retusum* (8.994 individuos/m<sup>2</sup>), y por último en los suelos de ambos pasillos (5.092 individuos/m<sup>2</sup> en el desnudo y 2.601 individuos/m<sup>2</sup> en el pedregoso).



**Figura 4.84.** Individuos por m<sup>2</sup> capturados en ambos horizontes de cada punto de muestreo.

Para analizar y comparar el número y tipo de artrópodos capturados en los distintos puntos de muestreo, sin diferenciar horizontes, se han contabilizado los individuos encontrados en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>) de las parcelas para cada punto de muestreo considerado (figuras de 4.85 a 4.88).

En los suelos de ambos pasillos (figura 4.85) se han detectado colémbolos (2.709 individuos/m<sup>2</sup> en el desnudo y 1.625 individuos/m<sup>2</sup> en el pedregoso), ácaros oribátidos (1.192 individuos/m<sup>2</sup> en el desnudo y 650 individuos/m<sup>2</sup> en el pedregoso) y ácaros gamásidos (758 individuos/m<sup>2</sup> en el desnudo y 325 individuos/m<sup>2</sup> en el pedregoso), en este orden de abundancia. En general, se observa mayor número de individuos en el pasillo desnudo que en el pedregoso, y los dípteros se han capturado únicamente en el pasillo desnudo pero en pequeñas cantidades (433 individuos/m<sup>2</sup>).



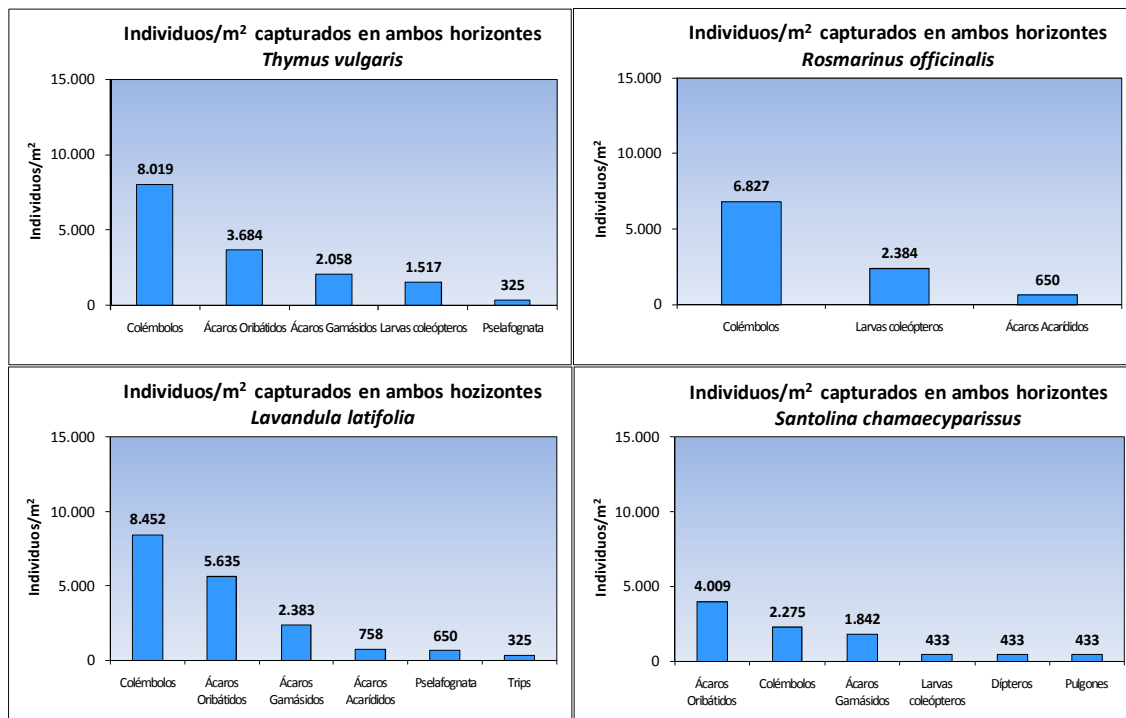
**Figura 4.85.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso) en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>), ordenados de mayor a menor abundancia.

En los suelos bajo aromáticas (figura 4.86) los organismos que se encuentran en común en todos ellos son los colémbolos, siendo estos individuos predominantes en los suelos cubiertos por las especies *Lavandula latifolia* (8.452 individuos/m<sup>2</sup>), *Thymus vulgaris* (8.019 individuos/m<sup>2</sup>), y *Rosmarinus officinalis* (6.827 individuos/m<sup>2</sup>). En el caso de los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus*, los colémbolos ocupan el segundo lugar por orden de abundancia, encontrándose en bastante menor cantidad respecto al resto de suelos (2.275 individuos/m<sup>2</sup>).

Así mismo se han capturado individuos como ácaros oribátidos y ácaros gamásidos, que se han detectado en mayor cantidad en los suelos bajo *Lavandula latifolia* (5.635 y 2.383 individuos/m<sup>2</sup>, respectivamente), así como bajo *Thymus vulgaris* (3.684 y 2.058 individuos/m<sup>2</sup>, respectivamente) y *Santolina chamaecyparissus* (4.009 y 1.842 individuos/m<sup>2</sup>, respectivamente). En cambio, no se han capturado estos organismos en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*.

Le siguen por abundancia las larvas de coleópteros, individuos que se encuentran en casi todos los suelos bajo aromáticas en este orden de abundancia *Rosmarinus officinalis* (2.384 individuos/m<sup>2</sup>), *Thymus vulgaris* (1.517 individuos/m<sup>2</sup>) y *Santolina chamaecyparissus* (433 individuos/m<sup>2</sup>), siendo la excepción los suelos cubiertos con *Lavandula latifolia* donde no se ha detectado este tipo de organismo.

Por último, indicar que los artrópodos que han sido capturados en menores cantidades bajo las especies aromáticas son los ácaros acarídidos (758 individuos/m<sup>2</sup> bajo *Lavandula latifolia* y 650 individuos/m<sup>2</sup> bajo *Rosmarinus officinalis*), Pselafognata (650 individuos/m<sup>2</sup> en *Lavandula latifolia* y 325 individuos/m<sup>2</sup> en *Thymus vulgaris*), así como otros organismos menos abundantes como son los trips (325 individuos/m<sup>2</sup> únicamente en suelos cubiertos de *Lavandula latifolia*), dípteros y pulgones (estos últimos encontrados sólo en suelos bajo *Santolina chamaecyparissus*, observándose en ambos casos 433 individuos/m<sup>2</sup>).



**Figura 4.86.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en los suelos bajo especies aromáticas (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*) en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>), ordenados de mayor a menor abundancia.

En cuanto a los suelos bajo las especies leñosas de mayor porte (figura 4.87), los cubiertos con *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus* son los suelos en los que se ha capturado mayor diversidad de organismos.

Los colémbolos predominan en los suelos bajo *Cistus albidus* (6.610 individuos/m<sup>2</sup>), en el caso de los suelos con cobertura de *Juniperus oxycedrus* estos individuos ocupan el

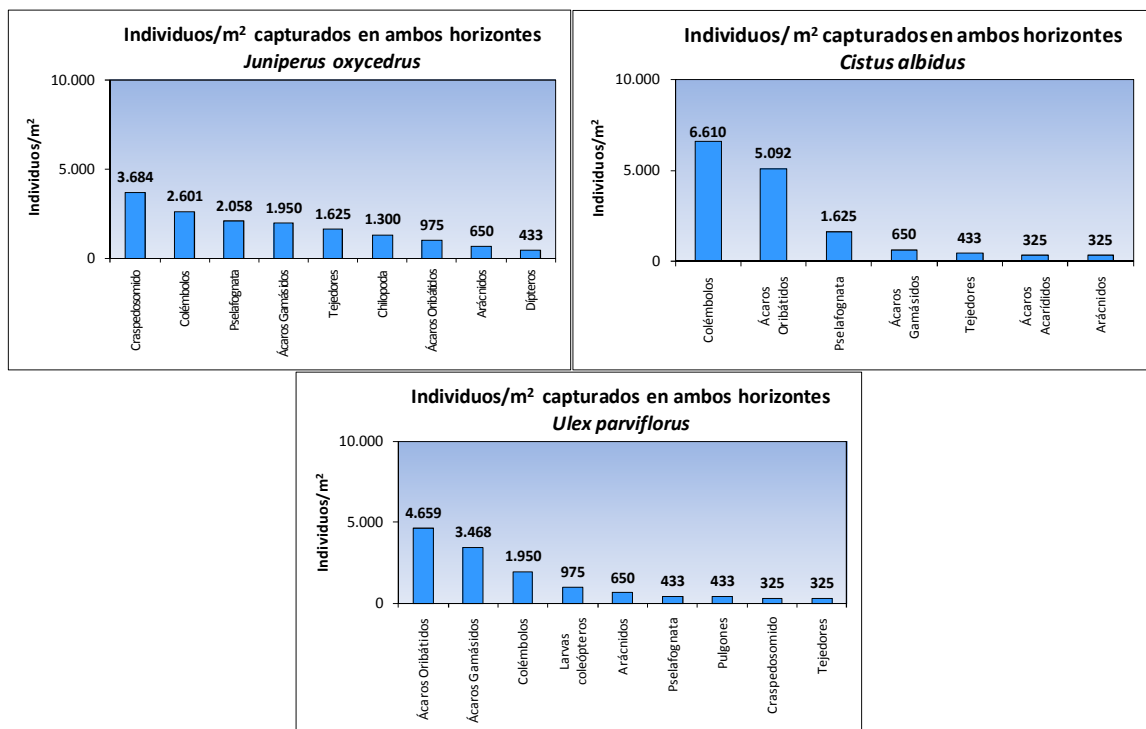
segundo lugar por orden de abundancia (2.601 individuos/m<sup>2</sup>), y en los suelos bajo *Ulex parviflorus* se encuentran en tercer lugar (1.950 individuos/m<sup>2</sup>).

En los suelos bajo *Juniperus oxycedrus*, los organismos que se han detectado en mayor cantidad son los craspedosomidos (3.684 individuos/m<sup>2</sup>), mientras que bajo *Ulex parviflorus* abundan los ácaros oribátidos (4.659 individuos/m<sup>2</sup>), encontrándose también estos últimos individuos en cantidades importantes bajo *Cistus albidus* (5.092 individuos/m<sup>2</sup>). En cambio, en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus*, los oribátidos se detectan en pequeñas cantidades (975 individuos/m<sup>2</sup>).

Respecto a los ácaros gamásidos, su presencia abunda en los suelos cubiertos con *Ulex parviflorus* (3.468 individuos/m<sup>2</sup>), no obstante en los suelos bajo las demás leñosas se capturan en menor cantidad, 1.950 individuos/m<sup>2</sup> bajo *Juniperus oxycedrus* y 650 individuos/m<sup>2</sup> bajo *Cistus albidus*.

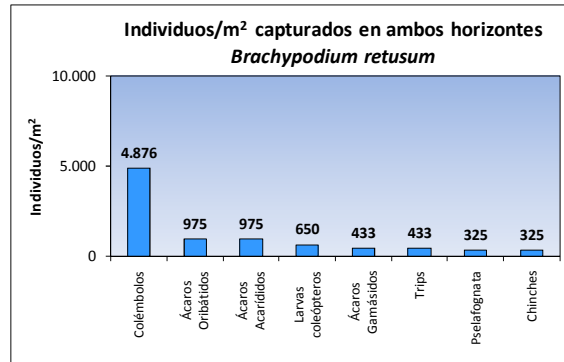
Otros organismos que se han detectado en cantidades considerables son los pselafognatas, en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* (2.058 individuos/m<sup>2</sup>) y *Cistus albidus* (1.625 individuos/m<sup>2</sup>), mientras que en los suelos cubiertos con *Ulex parviflorus* se encuentran en bastante menor cantidad (433 individuos/m<sup>2</sup>).

El resto de artrópodos capturados en los suelos cubiertos con *Juniperus oxycedrus* por orden de abundancia son tejedores (1.625 individuos/m<sup>2</sup>), chilopodas (1.300 individuos/m<sup>2</sup>), arácnidos (650 individuos/m<sup>2</sup>) y dípteros (433 individuos/m<sup>2</sup>). En cuanto a los suelos bajo *Cistus albidus*, también se detectan tejedores y arácnidos en pequeñas cantidades (433 y 325 individuos/m<sup>2</sup>, respectivamente), y bajo *Ulex parviflorus* se encuentran larvas de coleópteros (975 individuos/m<sup>2</sup>), arácnidos (650 individuos/m<sup>2</sup>), y otros individuos como pselafognatas y pulgones (433 individuos/m<sup>2</sup>), craspedosomidos y tejedores encontrados en cantidades inferiores (325 individuos/m<sup>2</sup>).



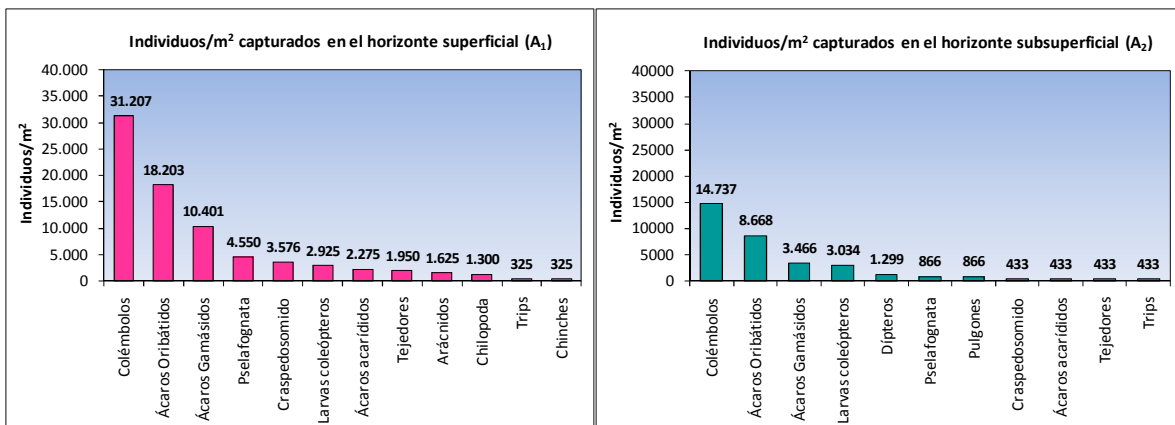
**Figura 4.87.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en los suelos bajo especies leñosas de mayor porte (*Juniperus oxycedrus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*) en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>), ordenados de mayor a menor abundancia.

Respecto a los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (figura 4.88), los organismos que se han capturado con mayor abundancia son los colémbolos (4.876 individuos/m<sup>2</sup>), le siguen los ácaros oribátidos y ácaros acarídidos encontrándose cantidades similares de ambos individuos (975 individuos/m<sup>2</sup>), a continuación se encuentran larvas de coleópteros (650 individuos/m<sup>2</sup>), ácaros gamásidos y trips (433 individuos/m<sup>2</sup> en ambos casos), y finalmente en menor proporción (325 individuos/m<sup>2</sup>) los pselafognatas y chinches.



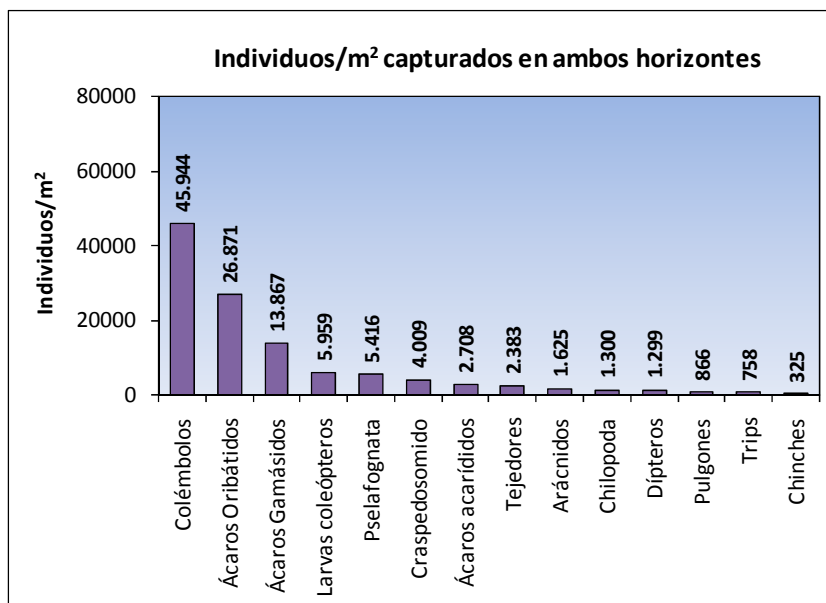
**Figura 4.88.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* en ambos horizontes (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>), ordenados de mayor a menor abundancia.

En la figura 4.89 se observa que tanto en el horizonte superficial (A<sub>1</sub>) como en el subsuperficial (A<sub>2</sub>), los artrópodos que predominan son principalmente colémbolos (31.207 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 14.737 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), ácaros oribátidos (18.203 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 8.668 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>) y ácaros gamásidos (10.401 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>1</sub> y 3.466 individuos/m<sup>2</sup> en A<sub>2</sub>), siendo capturados en mayores cantidades en el horizonte superficial que en el subsuperficial, al igual que se ha analizado anteriormente. Otros artrópodos detectados en cantidades inferiores en ambos horizontes son pselafognatas, craspedosomidos, larvas de coleópteros, ácaros acarídidos, tejedores y trips, observándose más abundancia de los mismos en el horizonte superficial (A<sub>1</sub>). El resto de individuos capturados en pequeñas cantidades son los arácnidos, chilopodas y chinches (detectados únicamente en el horizonte más superficial A<sub>1</sub>), así como los dípteros y pulgones (capturados sólo en el horizonte subsuperficial A<sub>2</sub>).



**Figura 4.89.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en los suelos superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) y subsuperficiales (horizonte A<sub>2</sub>), sin especificar el punto de muestreo, ordenados de mayor a menor abundancia.

En la figura 4.90 se observa, de forma generalizada, que los artrópodos capturados con mayor abundancia en ambos horizontes de las parcelas estudiadas son los colémbolos (45.944 individuos/m<sup>2</sup>), ácaros oribátidos (26.871 individuos/m<sup>2</sup>) y ácaros gamásidos (13.867 individuos/m<sup>2</sup> individuos), siguiendo en orden descendente de abundancia en los suelos las larvas de coleópteros (5.959 individuos/m<sup>2</sup>), pselafognatas (5.416 individuos/m<sup>2</sup>), craspedosomidos (4.009 individuos/m<sup>2</sup>), ácaros acarídidos (2.708 individuos/m<sup>2</sup>) y tejedores (2.383 individuos/m<sup>2</sup>), y en mucha menor frecuencia se han detectado organismos como son los arácnidos (1.625 individuos/m<sup>2</sup>), chilopodas (1.300 individuos/m<sup>2</sup>), dípteros (1.299 individuos/m<sup>2</sup>), pulgones (866 individuos/m<sup>2</sup>), trips (758 individuos/m<sup>2</sup>) y chinches (325 individuos/m<sup>2</sup>).



**Figura 4.90.** Tipos de artrópodos y cantidad de individuos capturados por m<sup>2</sup> en ambos horizontes, sin especificar el punto de muestreo, ordenados de mayor a menor abundancia.

▪ **Colémbolos** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **45.944**):

Los colémbolos son detectados en todos los suelos, siendo capturados con mayor abundancia principalmente bajo aromáticas como *Lavandula latifolia* (8.452 individuos/m<sup>2</sup>) y *Thymus vulgaris* (8.019 individuos/m<sup>2</sup>), le siguen los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* (6.827 individuos/m<sup>2</sup>), *Cistus albidus* (6.610 individuos/m<sup>2</sup>) y la herbácea *Brachypodium retusum* (4.876 individuos/m<sup>2</sup>). Mientras que los suelos con menor cantidad de colémbolos encontrados son los correspondientes a ambos pasillos (pedregoso 1.625 individuos/m<sup>2</sup> y desnudo 2.709 individuos/m<sup>2</sup>), así como los suelos bajo las leñosas de mayor porte *Ulex parviflorus* (1.950 individuos/m<sup>2</sup>) y *Juniperus oxycedrus* (2.601 individuos/m<sup>2</sup>), y los suelos cubiertos con la especie aromática *Santolina chamaecyparissus* (2.275 individuos/m<sup>2</sup>).

▪ **Ácaros oribátidos** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **26.871**):

Los ácaros oribátidos se han capturado en todos los puntos de muestreo, salvo en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, siendo abundantes en los suelos con cobertura de aromáticas especialmente bajo *Lavandula latifolia* (5.635 individuos/m<sup>2</sup>), *Santolina chamaecyparissus* (4.009 individuos/m<sup>2</sup>) y *Thymus vulgaris* (3.684 individuos/m<sup>2</sup>), destacando también los suelos bajo las especies leñosas de mayor porte *Cistus albidus* (5.092 individuos/m<sup>2</sup>) y *Ulex parviflorus* (4.659 individuos/m<sup>2</sup>). En cambio, se detectan

pocas cantidades de ácaros oribátidos en los suelos correspondientes a ambos pasillos, pedregoso (650 individuos/m<sup>2</sup>) y desnudo (1.192 individuos/m<sup>2</sup>), así como bajo *Juniperus oxycedrus* y la especie herbácea *Brachypodium retusum*, encontrándose en ambos casos únicamente 975 individuos/m<sup>2</sup>.

▪ **Ácaros gamásidos** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **13.867**):

Los ácaros gamásidos se han encontrado en casi todos los suelos, siendo la única excepción los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, al igual que lo observado en los ácaros oribátidos. Estos organismos han sido detectados con mayor abundancia en los suelos cubiertos con la especie leñosa *Ulex parviflorus* (3.468 individuos/m<sup>2</sup>), le siguen los suelos bajo *Lavandula latifolia* (2.383 individuos/m<sup>2</sup>), *Thymus vulgaris* (2.058 individuos/m<sup>2</sup>), *Juniperus oxycedrus* (1.950 individuos/m<sup>2</sup>) y *Santolina chamaecyparissus* (1.842 individuos/m<sup>2</sup>), siendo los suelos que contienen menores cantidades de ácaros gamásidos los correspondientes a pasillos, pedregoso (325 individuos/m<sup>2</sup>) y desnudo (758 individuos/m<sup>2</sup>), así como los suelos bajo *Brachypodium retusum* (433 individuos/m<sup>2</sup>) y *Cistus albidus* (650 individuos/m<sup>2</sup>).

▪ **Larvas de coleópteros** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **5.959**):

Respecto a las larvas de coleópteros, no se han detectado en ambos pasillos (desnudo y pedregoso), ni bajo las especies *Lavandula latifolia*, *Juniperus oxycedrus* y *Cistus albidus*. En los suelos restantes sí que se han capturado estos organismos, siendo abundantes bajo la especie aromática *Rosmarinus officinalis* (2.384 individuos/m<sup>2</sup>) frente al resto de suelos cubiertos con aromáticas, *Thymus vulgaris* (1.517 individuos/m<sup>2</sup>) y *Santolina chamaecyparissus* (433 individuos/m<sup>2</sup>). De los suelos tomados bajo las 3 especies leñosas de mayor porte, sólo se han encontrado larvas de coleópteros en el suelo bajo *Ulex parviflorus* (975 individuos/m<sup>2</sup>). En cuanto a los suelos con cobertura de la especie herbácea *Brachypodium retusum*, también se han detectado pequeñas cantidades de estos organismos (650 individuos/m<sup>2</sup>).

▪ **Pselafognatas** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **5.416**):

Los organismos que forman parte del grupo pselafognatas no se han encontrado en los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso), ni bajo algunas especies aromáticas (*Rosmarinus officinalis* y *Santolina chamaecyparissus*). Estos organismos son abundantes bajo las especies leñosas *Juniperus oxycedrus* (2.058 individuos/m<sup>2</sup>) y *Cistus albidus* (1.625 individuos/m<sup>2</sup>). En cambio, se detectan pocas cantidades en los suelos bajo las aromáticas *Thymus vulgaris* (325 individuos/m<sup>2</sup>) y *Lavandula latifolia* (650 individuos/m<sup>2</sup>), así como en los suelos bajo la especie leñosa *Ulex parviflorus* (433 individuos/m<sup>2</sup>) y la especie herbácea *Brachypodium retusum* (325 individuos/m<sup>2</sup>).

▪ **Craspedosomidos** (Nº individuos/m<sup>2</sup> = **4.009**):

Este tipo de organismo sólo se ha encontrado en los suelos bajo las especies leñosas de mayor porte *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus*, observándose la mayor abundancia en craspedosomidos en el suelo bajo *Juniperus oxycedrus*, pues del total de individuos encontrados (4.009 individuos/m<sup>2</sup>), 3.684 individuos/m<sup>2</sup> han sido capturados en el mismo. Mientras que en el suelo bajo *Ulex parviflorus*, únicamente se han detectado 325 individuos/m<sup>2</sup>.



▪ **Ácaros acarídidos** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **2.708**):

Los ácaros acarídidos se han encontrado en pequeñas cantidades solamente en los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (975 individuos/ $m^2$ ), bajo las aromáticas *Lavandula latifolia* (758 individuos/ $m^2$ ) y *Rosmarinus officinalis* (650 individuos/ $m^2$ ), y bajo la especie leñosa *Cistus albidus* (325 individuos/ $m^2$ ).

▪ **Tejedores** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **2.383**):

Únicamente ha sido encontrado curiosamente este tipo de organismo, los tejedores, en los suelos bajo las 3 especies leñosas de mayor porte *Juniperus oxycedrus*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, siendo mayoritarios bajo *Juniperus oxycedrus* (1.625 individuos/ $m^2$ ), pues en los suelos bajo *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus* sólo se han detectado 433 y 325 individuos/ $m^2$ , respectivamente.

▪ **Arácnidos** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **1.625**):

El grupo formado por los arácnidos también se ha detectado en los suelos bajo las especies leñosas de mayor porte, al igual que lo observado anteriormente en los tejedores. En los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* y *Ulex parviflorus* se han encontrado el mismo número de organismos (650 individuos/ $m^2$ ), siendo en el suelo bajo *Cistus albidus* en el que se han capturado 325 individuos/ $m^2$ .

▪ **Chilopodas** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **1.300**):

Los organismos del grupo chilopodas sólo se han encontrado en los suelos bajo la especie leñosa *Juniperus oxycedrus* (1.300 individuos/ $m^2$ ).

▪ **Dípteros** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **1.299**):

Los dípteros son capturados únicamente en los suelos del pasillo desnudo, bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus* y bajo la especie leñosa *Juniperus oxycedrus*, en los cuales se detectan sólo 433 individuos/ $m^2$ .

▪ **Pulgones** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **866**):

Los pulgones únicamente se han encontrado en los suelos bajo las especies *Santolina chamaecyparissus* y *Ulex parviflorus*, capturándose en ambos casos 433 individuos/ $m^2$ .

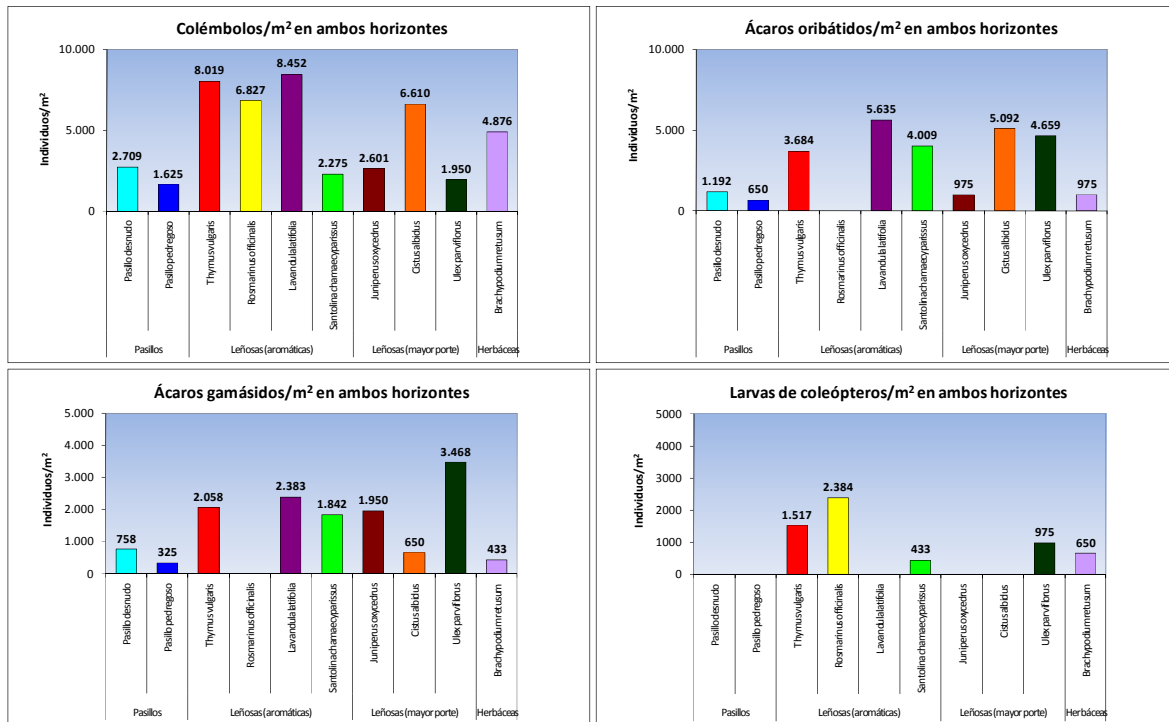
▪ **Trips** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **758**):

En el caso de los trips, se han detectado sólo en los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (433 individuos/ $m^2$ ) y bajo la especie aromática *Lavandula latifolia* (325 individuos/ $m^2$ ).

▪ **Chinches** ( $N^{\circ}$  individuos/ $m^2$  = **325**):

Únicamente se han encontrado 325 individuos/ $m^2$  en los suelos bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, siendo el organismo que menos abunda en todos los suelos.

En la figura 4.91 se representa el número de individuos capturados por m<sup>2</sup> de los tipos de artrópodos predominantes bajo los diferentes microambientes, en ambos horizontes de las parcelas de estudio.



**Figura 4.91.** Colémbolos, ácaros oribátidos, ácaros gamásidos y larvas de coleópteros capturados por m<sup>2</sup> en ambos horizontes de las parcelas estudiadas, en los diferentes puntos de muestreo.

El estudio realizado indica que los individuos más representativos son colémbolos, ácaros oribátidos y ácaros gamásidos.




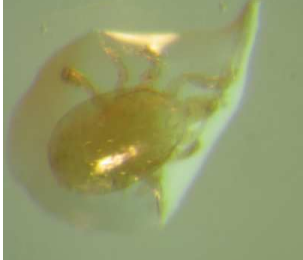




La humedad del suelo ha mostrado ser limitante para el establecimiento y distribución de muchas comunidades de artrópodos del suelo. En este sentido, Hopkin (1997) informó que muchas poblaciones de colémbolos se distribuyen verticalmente en el perfil del suelo, como respuesta a un patrón de humedad. En nuestro caso la elevación de estos organismos en los horizontes superficiales frente a los profundos, indican la limitación del contenido de humedad para su desarrollo. La humedad parece ser el factor que más influye en su distribución.

En el suelo de la zona existe gran cantidad de ácaros. Dentro de este grupo están prácticamente representados todos los subórdenes, los más típicos son los *oribatida*, *gamasida* y *acaridida*.

Los subórdenes collembola y oribatida pueden ser utilizados como bioindicadores del estado sanitario de los suelos.

En la tabla 4.10 se contemplan los tipos de artrópodos más numerosos que se han encontrado en los suelos de las parcelas de estudio.

**Tabla 4.10.** Artrópodos más abundantes en los suelos de las parcelas estudiadas.

<p><b>Colémbolos</b></p>		
<p><b>Ácaros oribátidos</b></p>		
<p><b>Ácaros gamásidos</b></p>		
<p><b>Larvas de coleópteros</b></p>		

#### 4.1.4. RELACIONES ENTRE PARÁMETROS EN PUNTOS DE MUESTREO

El suelo es un recurso natural cuyo estudio es complejo debido a que sus propiedades y funciones son el resultado de interacciones multifactoriales que implican a los factores ambientales como son el clima (temperatura, precipitación y sus variaciones estacionales), la topografía y la litología (composición del material de origen, grado de meteorización o alteración mecánica, alteración química y formación de nuevos minerales), a los factores bióticos (vegetación, organismos del suelo como mesofauna y microorganismos) y a la actividad humana sobre el suelo (utilización en agricultura, pastoreo, incendios).

Los factores ambientales de la zona de estudio condicionan las características del suelo, debido a unas condiciones de humedad y temperatura favorables para la alteración física y química de la roca caliza que es la litología dominante en el área (Lloret et al., 2001; Salvador et al., 2008), que resultan en la formación de suelos de naturaleza arcillosa, ricos en bases y una vegetación natural característica de los bosques con carrascas con los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos típicos de los bosques mediterráneos (pinos, enebros, matorrales con coscoja, aliaga, especies aromáticas y herbáceas muy abundantes como el *Brachypodium retusum*).



Figura 4.92. Zona de estudio.

Sin embargo, como ha ocurrido en muchas zonas de montaña litoral e interior, estos suelos han sido abancalados y utilizados para la agricultura y el pastoreo, y desde la mitad del siglo XX sujetos a un progresivo abandono de la agricultura por su marginalidad.

La utilización agrícola continuada resulta en un deterioro de las propiedades del suelo y, particularmente, en una pérdida de materia orgánica del suelo y nutrientes, así como de la fertilidad del suelo. En zonas donde las características climáticas de precipitación y temperatura son favorables para mantener un balance hídrico en el suelo adecuado para la recuperación de la vegetación, los suelos agrícolas pueden regenerarse de forma natural y aumentar sus contenidos de materia orgánica y nutrientes, dependiendo del tipo y del grado de desarrollo de la vegetación natural circundante a los campos agrícolas una vez se abandona el cultivo. Este proceso suele ser lento los primeros años de abandono, ya que el suelo degradado por la utilización agrícola suele estar sujeto a procesos de erosión y éstos ralentizan el desarrollo de la vegetación. Sin embargo, a medida que la vegetación natural circundante va colonizando los suelos agrícolas, éstos empiezan a enriquecerse en materia orgánica dependiendo de la cantidad, el tipo de restos vegetales que llegan al suelo y los procesos biológicos de descomposición y humificación.

Se ha realizado una valoración global anual de algunas de las variables analizadas en los puntos de muestreo estudiados con diferente cobertura vegetal en la zona de estudio.

En los diferentes puntos de muestreo se ha observado que las características climáticas de la zona, precipitación y temperatura, influyen positivamente sobre algunas de las propiedades de los suelos. Es principalmente durante los meses de verano y sobre suelos sin cobertura vegetal (pasillos), donde se obtienen los valores más elevados de amplitud térmica, observando por otro lado la acción beneficiosa de las cubiertas vegetales principalmente sobre el matorral de *Rosmarinus officinalis*.

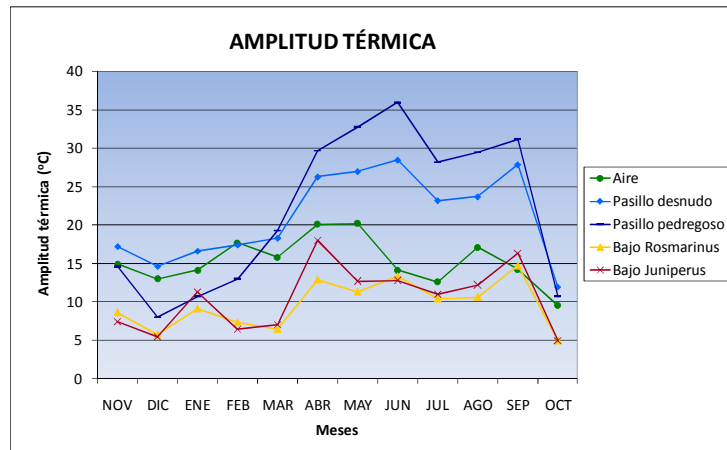


Figura 4.93. Variación de la amplitud térmica a lo largo del año en distintos microambientes.

A lo largo del año se ha observado una evolución de la humedad del suelo inversa a las temperaturas, valores que afectan principalmente a las propiedades físicas de los suelos tales como la distribución de macroagregados, observando que los agregados de mayor tamaño se localizan en los suelos bajo *Ulex parviflorus* y en los pasillos con cubierta de piedras. Así mismo, indicar que los mayores valores de las medias anuales corresponden a los agregados de tamaño comprendido entre 2 y 5 mm, siendo en los suelos bajo *Brachypodium retusum* y *Lavandula latifolia* donde se obtienen los valores más altos en esta fracción.

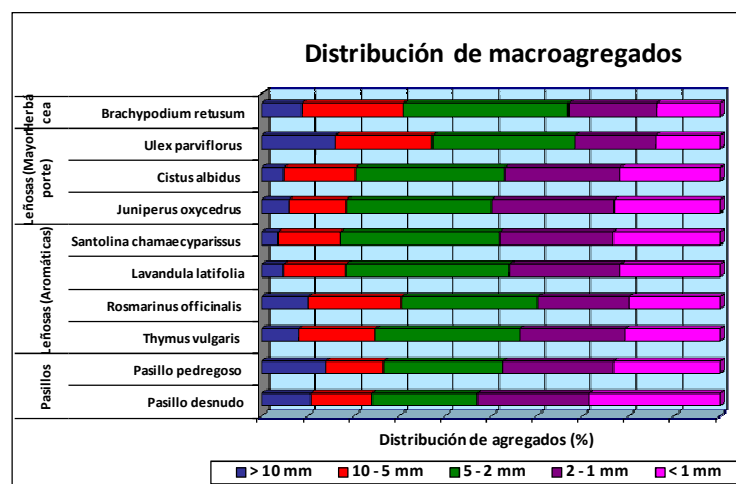


Figura 4.94. Distribución de macroagregados en los diferentes puntos de muestreo. Valores medios anuales obtenidos en las muestras de suelo superficiales.



Figura 4.95. Detalle de los macroagregados del suelo de la zona de estudio.

En cuanto a la estabilidad de los agregados, los resultados obtenidos en el test gota en los diferentes microambientes muestran, tanto para suelo seco como húmedo, la mayor estabilidad para la especie herbácea *Brachypodium retusum*, seguido por los suelos bajo aromáticas y por último pasillos. El aumento del contenido de humedad eleva la estabilidad de los agregados, hecho que se manifiesta también en los meses en los que existe aumento de precipitación (enero y octubre), con un acusado descenso en meses secos (julio).

Los valores texturales denotan un contenido medio elevado de arcilla en todos los puntos de muestreo, principalmente en los suelos bajo *Lavandula latifolia* y *Brachypodium retusum*. Aunque en general los contenidos de arena, limo y arcilla son similares en el conjunto de muestras, se obtienen pequeñas diferencias puntuales como es el caso del suelo bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia* con un bajo contenido de arena, o el caso contrario en los suelos bajo *Juniperus oxycedrus* al obtenerse altos porcentajes de arena. En cambio en los contenidos de limo, los mayores porcentajes se alcanzan en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis* y los más bajos bajo *Juniperus oxycedrus*.

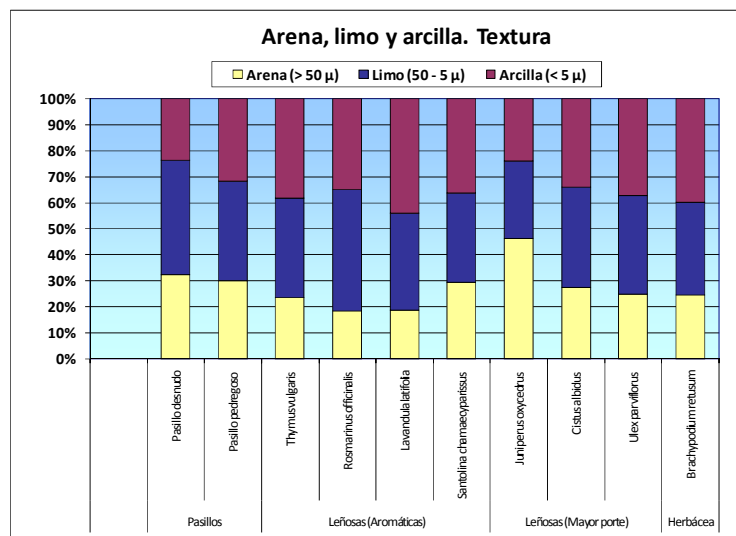


Figura 4.96. Porcentajes de arena, limo y arcilla textural en los distintos puntos de muestreo.

El estudio de la resistencia de los microagregados al agua es medida por la distribución de tamaños resultante de la humectación brusca del suelo. Cuanto mayor sean las proporciones de agregados de tamaño grande, mayor es la resistencia de sus agregados. Por el contrario, cuanto más abundantes sean las proporciones de tamaños pequeños significa que el suelo tiene agregados muy poco estables, ya que éstos se rompen con facilidad y las partículas minerales que forman el suelo se individualizan separándose entre sí las arenas, los limos y las arcillas. Pero dado que las arenas tienen tamaños del mismo orden que los agregados (2-0,05 mm), al medir dicha distribución podemos confundir agregados resistentes con partículas de arena individualizadas. De ahí que la distribución de los agregados en agua deba compararse con la distribución de las partículas minerales elementales en el suelo (textura), para evaluar realmente la proporción en que dichas partículas minerales primarias están formando unidades estructurales básicas. Si estas unidades estructurales tienen tamaños entre 2 y 0,105 mm decimos que son macroagregados. Unidades estructurales de tamaños entre 0,105 y 0,05 mm reciben el nombre de microagregados. Cuando al sumergir el suelo en agua se obtienen distribuciones semejantes a la de la textura del suelo, no se produce dicha agregación, o dicho de otro modo, dichos microagregados son inestables en agua.

Los valores medios más elevados de microagregados estables en agua se alcanzan en los suelos bajo las especies *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*, mientras que los valores más bajos se obtienen en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* y en los pasillos.

El estado de los agregados del suelo puede ser un parámetro sintético capaz de explicar la calidad del suelo de la zona al estar influenciado por los procesos de evolución edáfica, por la erosión, por la vegetación, por el uso y por las propiedades físicas y químicas del suelo. Su evaluación nos da información de la calidad de la estructura en sentido macromorfológico.

Esta distribución de los agregados, tal como se presentan en condiciones de campo, nos da una idea de la friabilidad de las muestras, o dicho de otra forma, de la tendencia de las unidades estructurales básicas a cementarse entre sí tras los ciclos de humectación y desecación que experimenta el suelo en los períodos de lluvia y sequía.

La mejor calidad del suelo en el sentido macromorfológico de la estructura, es aquella cuyas unidades estructurales básicas (verdaderos agregados, de tamaño <2 mm) resultan estables a dichos procesos de humectación-desecación.

En general se observan ciertas diferencias, así los valores de algunos puntos de muestreo parecen indicar que hay suelos que conservan dichas unidades estructurales básicas tras los períodos de humectación-desecación. En otros puntos de muestreo, las unidades estructurales básicas no tienden a conservar su individualidad. Al contrario, parece que dichos agregados tienden a cementarse entre sí de forma que el suelo es menos friable y más resistente al proceso de desmenuzamiento. Las características de friabilidad del suelo son debidas a la acción conjunta de la materia orgánica y la textura (arcilla fundamentalmente), y está muy influenciada por la cantidad de carbonatos y el tamaño de partícula en que éstos se encuentran presentes.

El estudio estadístico muestra la existencia de relaciones entre las diferentes variables físicas en los puntos de muestreo. En la matriz de correlación se han obtenido correlaciones significativas entre algunas de las variables, así la textura y la distribución de agregados se relacionan con la humedad, textura y densidad aparente en los puntos de muestreo (tabla 4.11).

**Tabla 4.11.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>1</sub>), textura y distribución de agregados con humedad, textura y densidad aparente.

		TEXTURA			DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS			
		Arena (Textural)	Arcilla (Textural)	Diámetro medio (Textural)	Agregados 10-5 mm	Agregados 5-2 mm	Agregados 2-1 mm	Agregados <1 mm
HUMEDAD	Humedad Gravimétrica							
	Humedad Volumétrica Muestras inalteradas							
	Humedad Volumétrica 0 kPa (pFs)							
	Humedad Volumétrica 20 kPa (pFs)							
	Humedad Volumétrica 1500 kPa (pFs)							
	Agua útil (pFs)							
TEXTURA	Arcilla (Textural)							
	Diámetro medio (Textural)							
DENS. APAR.	Densidad aparente							

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

La humedad gravimétrica presenta correlaciones directas y con alta significación entre los agregados de tamaños más grandes de 10-5 y 5-2 mm. Correlaciones inversas se han obtenido con los agregados de menor tamaño de 2-1 y <1 mm. Este resultado indica que el aumento de humedad gravimétrica en el suelo afecta favorablemente la formación de agregados de mayor tamaño. En todo sistema suelo-planta hay una serie de factores físicos (contenido de agua, temperatura de suelo, resistencia mecánica) que tienen incidencia directa sobre el comportamiento del cultivo. Propiedades físicas como la densidad aparente, la estabilidad de agregados, la porosidad total y la distribución del tamaño de poros modifican o determinan los parámetros mencionados, por lo cual su incidencia es indirecta (Letey, 1985; Lal, 1991).



Por otra parte, la humedad volumétrica de las muestras inalteradas presenta una correlación inversa y significativa con los agregados de tamaño menor de 1 mm.

La humedad volumétrica a tensiones bajas de 0 y 20 kPa presenta además relaciones con parámetros como la arcilla y arena, respectivamente, mientras que a tensiones altas de 1500 kPa se correlaciona con los agregados de tamaño 5-2 mm.

La dinámica hídrica también está afectada por el grado de estabilidad de la estructura, debido a su relación con el fenómeno de sellamiento superficial (Farres, 1987; Chagas, 1995).

En cuanto a la fragilidad estructural, el contenido de arcilla es un elemento de gran importancia a altos contenidos hídricos. Sin embargo, a medida que se deseca el suelo y con los niveles de arcilla comunes en la zona, la fracción mineral confiere una fragilidad mayor. El tipo de arcilla es el elemento que marca las tendencias más fuertes en el comportamiento de la humedad volumétrica de los suelos, lo cual se manifiesta en las relaciones obtenidas.

Por otra parte, el contenido de agua útil en las muestras de suelo presenta una correlación directa y significativa con el contenido de arena y el diámetro medio textural, mientras que la relación es inversa y significativa con el contenido de arcilla presente en el suelo. Estos resultados coinciden con el diagrama que define el agua útil del suelo, e indica que en suelos arcillosos a pesar de poseer mayor contenido de humedad a capacidad de campo, también presentan valores altos de humedad en el punto de marchitez, lo que significa que los suelos arcillosos a pesar de almacenar mayor contenido de agua presentan menor disponibilidad para cederla al suelo.

Otras correlaciones interesantes son las existentes entre la arcilla textural y los agregados de tamaño entre 5-2 mm, mostrando que la fracción arcilla es la que más influye en la formación de agregados de este tamaño, al igual que indica la bibliografía consultada, mientras que la agregación formada por agregados de gran tamaño parece estar influida por altos contenidos de materia orgánica.

El diámetro medio textural presenta una relación directa con los agregados de tamaño 2-1 mm, siendo ésta fracción la que sigue en abundancia a la fracción predominante que es la de 5-2 mm en la mayoría de los suelos.

Según el concepto de Tisdall y Oades (1982), la estructura del suelo puede describirse por uniones de partículas minerales primarias en microagregados, los cuales se organizan en macroagregados de mayor tamaño.

El contenido de arcilla de los suelos estudiados es un factor importante en la protección de fracciones orgánicas en los macroagregados, protección que según Beare et al., (1994) se produciría por fenómenos de adsorción de la materia orgánica a la fracción arcilla y formación de microagregados, aislamiento en microporos y protección física dentro de los macroagregados estables.

El estudio estadístico de las correlaciones obtenidas con los resultados del test de la gota (estabilidad de agregados), analizando parámetros como los valores de la mediana y media, junto con los valores del 50% de agregados supervivientes, en seco (pF 6,1) y en húmedo (pF 1), muestran interesantes correlaciones con la humedad, textura, distribución de agregados y microagregación en los puntos de muestreo (tabla 4.12).

**Tabla 4.12.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>1</sub>), estabilidad de agregados con humedad, textura, distribución de agregados y microagregación.

		ESTABILIDAD DE AGREGADOS					
		Mediana pF 6,1 (en seco)	Media pF 6,1 (en seco)	50% Agregados supervivientes pF 6,1 (en seco)	Mediana pF 1 (en húmedo)	Media pF 1 (en húmedo)	50% Agregados supervivientes pF 1 (húmedo)
HUMEDAD	Humedad Gravimétrica						
	Humedad Volumétrica Muestras inalteradas						
	Humedad Volumétrica 0 kPa (pFs)						
	Humedad Volumétrica 1500 kPa (pFs)						
TEXTURA	Arcilla (Textural)						
DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS	Agregados 5-2 mm						
	Agregados <1 mm						
MICROAGREGACIÓN	Arena (Microagregados)						
	Limo (Microagregados)						
	Diámetro medio (Microagregados)						
	Microagregados estables en agua						
	Fracción fina microagregada						
	Índice de agregación relativo (I.A.R.)						

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

La matriz de correlación presenta correlaciones directas y de alta significación entre la humedad gravimétrica con los valores de las medianas, las medias, y con los valores del 50% de agregados supervivientes, obtenidos en el test de la gota tanto en seco como en húmedo, mostrando en todos los casos que a mayor contenido de humedad existente en el suelo se aumentan los indicadores de estabilidad de los suelos. Las diferencias observadas en la estabilidad del suelo bajo las diferentes especies vegetales a lo largo del

período estudiado, se incrementan en la época estival e invernal y, dependen a su vez de las condiciones de humedad del suelo, es decir, si el estudio se realiza a pF 6,1 o pF 1, siendo en la mayoría de los casos, excepto en los suelos bajo algunas especies, la estabilidad mayor en la técnica realizada con suelo húmedo.

Por otra parte, los valores de humedad volumétrica en muestras inalteradas tienen una relación directa con los valores de la mediana, tanto en suelo seco como en húmedo, existiendo también una relación significativa con el 50% de agregados supervivientes a pF 1 (en húmedo).

Todas las variables (mediana, media y 50% de agregados supervivientes, a pF 6,1 y a pF 1) presentan una relación directa y significativa con la humedad volumétrica a 0 kPa y a 1500 kPa, indicando que ambos parámetros son decisivos en la estabilidad de los agregados, parámetros que a su vez influyen en la pérdida de suelo por erosión.

La arcilla textural junto a los agregados de tamaño 5-2 mm presentan una relación directa con la totalidad de parámetros estudiados, con gran significación de esta última variable con los valores medios de estabilidad a pF 1 (en húmedo). En cambio, los agregados de tamaño <1 mm presentan una correlación inversa con todos los parámetros.

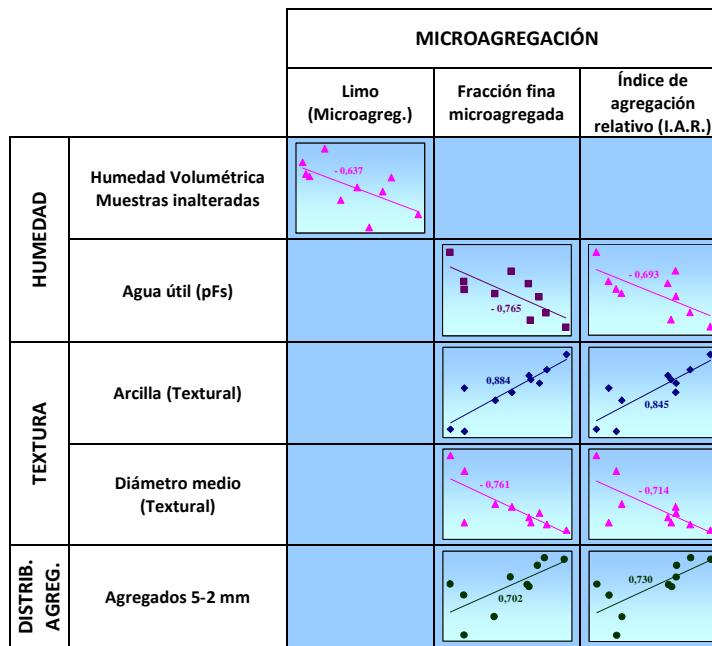
Hay que destacar igualmente relaciones directas entre el contenido de microagregados estables en agua, fracción fina microagregada y el índice de agregación relativo (I.A.R.), con todos los parámetros analizados en relación a la estabilidad de agregados, mientras que el contenido en limo en microagregados presenta una correlación inversa con todos estos parámetros.

Por otra parte, la mediana, la media y el 50% de agregados supervivientes a pF 6,1 (en seco) se relacionan directamente con el diámetro medio de microagregados y con el contenido de arena en microagregados, observándose además en esta última variable correlaciones directas con el 50% de agregados supervivientes a pF 1 (en húmedo), por lo que parece que dichos parámetros tienen también gran peso en la estabilidad de agregados.

El estudio estadístico muestra correlaciones interesantes entre algunos de los parámetros analizados relativos a la microagregación (contenido en limo microagregado, fracción fina microagregada e índice de agregación relativo) con variables relacionadas con la humedad, textura y distribución de agregados (tabla 4.13).

La matriz de correlación presenta correlaciones significativas entre algunas de las variables, así la fracción fina microagregada y el índice de agregación relativo se correlacionan de forma directa con los agregados de tamaño 5-2 mm, siendo este tamaño de agregados mayoritario en los suelos de estudio. No obstante, también se han obtenido gran número de correlaciones inversas y significativas con algunas variables, como es el caso del limo de microagregados con la humedad volumétrica de las muestras inalteradas, única variable con la que se relaciona este parámetro. Mientras que tanto la fracción fina microagregada como el índice de agregación relativo, presentan relaciones inversas con el diámetro medio textural y el agua útil, y directas con la arcilla textural.

**Tabla 4.13.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>1</sub>), microagregación con humedad, textura y distribución de agregados.



	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

Si el suelo es de por sí complejo, particularmente complejo es el estudio de la materia orgánica en el suelo afectado por procesos antrópicos o cambios de uso.

La materia orgánica del suelo es una mezcla de residuos vegetales (polisacáridos, lignina, proteínas, ceras, queratina), organismos vivos (meso y microfauna) y de compuestos “húmicos” que derivan de la transformación, descomposición y polimerización de los anteriores. Con el tiempo la materia orgánica se mineraliza y humifica gradualmente y, en este proceso, los restos vegetales procedentes de la vegetación resultan cada vez menos identificables. Estos cambios se relacionan directamente con el grado de humificación.

El estudio de estos cambios suele hacerse mediante el fraccionamiento de la materia orgánica en sustancias húmicas solubles en medio alcalino (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) y la fracción insoluble, denominada huminas. Muchos de los componentes mayoritarios de las plantas y de los microorganismos son solubles en medio alcalino y, por tanto, son componentes de los ácidos fúlvicos (principalmente polisacáridos) y, otros además, son insolubles al acidificar el medio (polisacáridos, proteínas, lignina) y se pueden encontrar en los ácidos húmicos. La lignina, que junto con la celulosa es uno de los componentes principales de los restos vegetales, es considerada uno de los precursores principales de las sustancias húmicas (Stevenson, 1982).

Autores como Chefetz et al., (2002) han observado que a medida que se produce la humificación de la materia orgánica, ésta cambia de composición y se distribuye en distintas fracciones del suelo. En la fracción de suelo correspondiente a los macroagregados, los ácidos húmicos están constituidos predominantemente por derivados de la lignina, ésteres y ácidos grasos con grupos aromáticos y cadenas alifáticas largas. Sin embargo, en la fracción más fina del suelo, la fracción arcilla, los ácidos húmicos se enriquecen con grupos aromáticos derivados de la degradación de la lignina en sus estadios finales de oxidación, hay más ácidos grasos de origen microbiano y más grupos

aromáticos que derivan de otros compuestos diferentes de la lignina, probablemente resultantes de la polimerización y policondensación de polisacáridos con los núcleos aromáticos de la lignina. Las fracciones solubles en medio alcalino, es decir, los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos, son las más estudiadas en el proceso de humificación. En cambio, las huminas han recibido menos atención a pesar de que constituye la fracción más abundante en el suelo, quizás por su íntima asociación y compleja interacción con la fracción mineral del suelo, fundamentalmente la arcilla. Estudios realizados en las huminas del suelo (Almendros y González-Vila, 1987) indican que pueden distinguirse dos fracciones: una, la mencionada humina heredada, que está constituida por polímeros de la lignina y es considerada una fracción recalcitrante, es decir, resistente a la utilización por los microorganismos; otra es la humina neoformada que se considera resultante de un proceso de polimerización de las sustancias húmicas solubles por acción de los microorganismos y, por tanto, puede también considerarse como parte activa en el proceso de humificación. Los estudios químicos de este tipo de humina indican que está formada por ácidos grasos en cadenas alifáticas largas, asociados a núcleos aromáticos muy oxidados procedentes de la lignina y de naturaleza no polar.

Nuestros resultados han puesto de manifiesto que la recuperación de los contenidos de materia orgánica y nutrientes del suelo agrícola abandonado es diferente según el tipo de cobertura vegetal del suelo, siendo el suelo cubierto con herbáceas el más favorable para el proceso de acumulación de materia orgánica. En el extremo opuesto se sitúa el suelo de los pasillos (desprovistos de vegetación), y el cubierto con especies leñosas y aromáticas se comporta de forma intermedia. No obstante, se ha detectado una gran variabilidad dentro de estos dos grupos de cobertura y esto sugiere que, además del contenido de materia orgánica, la composición de los restos vegetales es un factor de gran influencia. Puesto que existe variada composición y abundancia relativa de grupos funcionales de naturaleza polar e hidrófoba, sirven para interpretar el proceso de transformación de los componentes mayoritarios de los restos vegetales, polisacáridos y lignina, y su acumulación en las fracciones solubles e insolubles.

La cuantificación del C orgánico y de otros componentes minerales permite analizar las interacciones de la materia orgánica con la arcilla, y estimar otras propiedades del suelo fundamentales como la capacidad de intercambio catiónico y la proporción de los cationes mayoritarios en el complejo arcillo-húmico.

El estudio comparativo de cuantificación del C en las distintas fracciones orgánicas, sugiere que la valoración del C con cada técnica (microscopía electrónica/RX, espectroscopía de infrarrojos y oxidación) es función de la composición de la materia orgánica en cada fracción. Estos resultados indican la complejidad de las sustancias húmicas (Hatcher et al., 1981).

Por tanto, además de la cuantificación del C en cada fracción es necesario identificar la composición para comprender el proceso de humificación en el suelo, que depende del tipo de residuos vegetales pero también del microclima del suelo y de la actividad biológica en cada microambiente edáfico.

Dentro de las propiedades químicas se le ha dado un peso importante al contenido de materia orgánica, parámetro que se ha estudiado mensualmente a lo largo del período de estudio.

Los resultados obtenidos en los diferentes índices de composición húmica, indican que el índice de polimerización se considera dentro de los valores normales en los suelos bajo la mayoría de las especies, aunque para los suelos de los pasillos y bajo *Juniperus oxycedrus* y *Santolina chamaecyparissus* descienden ligeramente de los valores normales, indicando que la humificación podría frenarse en las primeras etapas del proceso de transformación.

El índice de estabilidad estructural pone en evidencia un predominio de las huminas, fracción húmica con mejor actividad estructurante. Aunque los valores obtenidos de este índice no son elevados en los suelos de los distintos puntos de muestreo, estos van acompañados de niveles correctos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Los rangos del grado de humificación son ligeramente inferiores a los valores medios normales de suelos agrícolas, indicando una cierta acumulación de materia orgánica fresca aportada por la vegetación que podría producir una deficiente evolución orgánica en estos suelos.

El contenido de materia orgánica total es elevado para todos los puntos de muestreo, manifestándose de nuevo el contraste entre la especie *Brachypodium retusum* y algunas aromáticas frente a menores valores en los pasillos, con diferencias significativas entre estos suelos en épocas del año contrastadas (estival e invernal).

Como resumen de las propiedades químicas, podemos destacar la elevada proporción de las fracciones de materia orgánica más evolucionadas, ácidos fúlvicos y huminas en suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, respectivamente. De igual forma, los contenidos mayores de ácidos húmicos se obtienen también bajo *Brachypodium retusum*, lo cual nos indica que se trata de un género de plantas enriquecedoras para el suelo, que aporta una cobertura vegetal bastante continua y constante en gran parte del año, con elevada evolución de la materia orgánica que bajo ella se desarrolla.

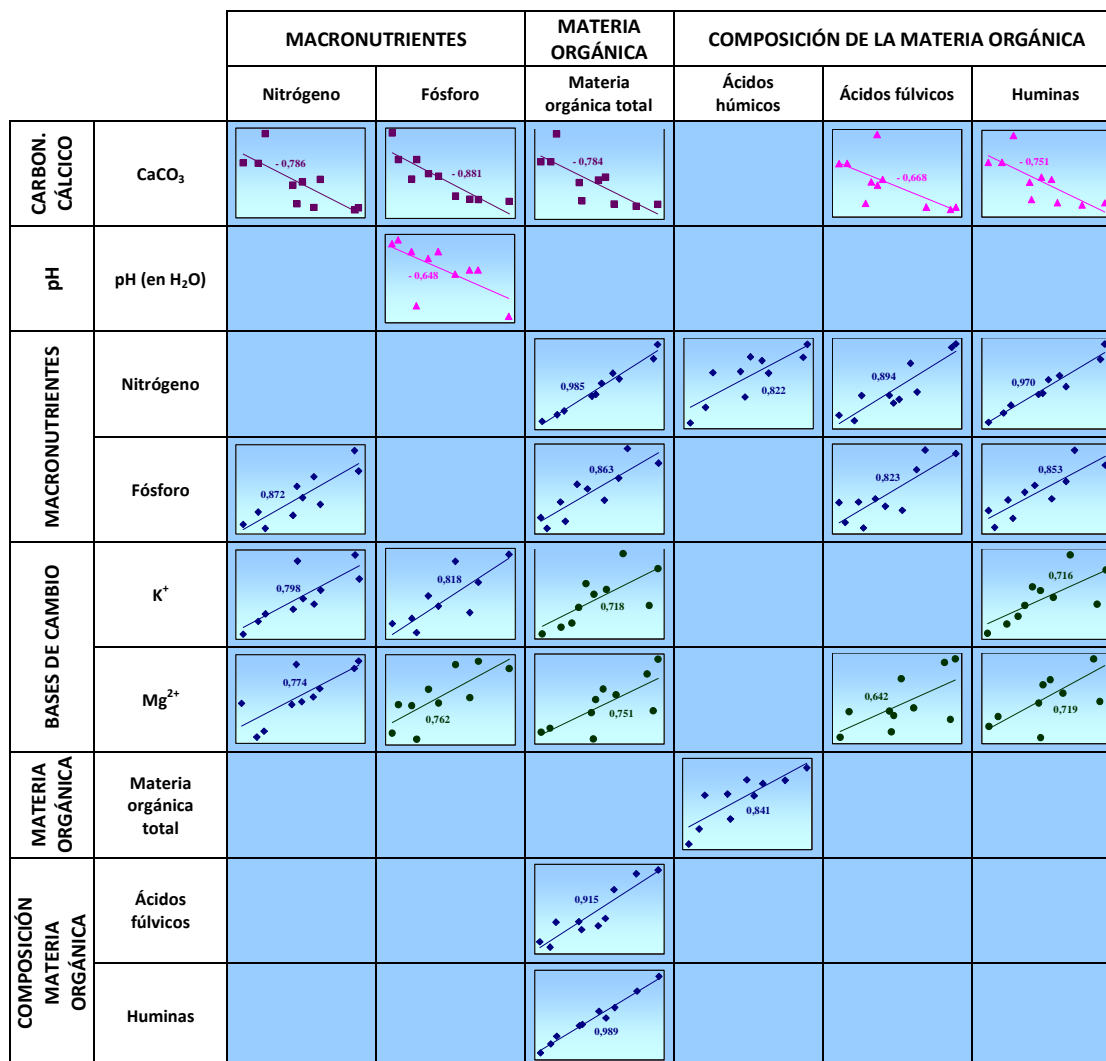
Respecto al resto de parámetros químicos, se han obtenido bajos valores de los contenidos medios de nitrógeno total y bastante elevados los correspondientes al fósforo asimilable. A pesar de la escasa productividad de estos suelos, hay que considerar el estado de abandono que en algunos casos se trata de 50 años, lo cual ha permitido una recuperación de sus propiedades, además de tener en cuenta la utilización ganadera actual en algunas de las parcelas estudiadas.

Los valores de C.I.C. son elevados, lo que se corresponde con el alto contenido en materia orgánica y en algunos casos de la fracción fina de estos suelos. En el complejo de cambio el calcio es siempre el catión dominante como corresponde a suelos calizos, situándose en valores normales el resto de cationes de cambio.

Los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica, así como de carbonatos totales, se corresponden con suelos básicos sin problemas de salinidad.

El estudio estadístico de las correlaciones obtenidas entre los parámetros químicos analizados en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) se muestran en las tablas de 4.14 a 4.16.

**Tabla 4.14.** Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A<sub>1</sub>), macronutrientes, materia orgánica total y composición de la materia orgánica con carbonato cálcico, pH, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total y composición de la materia orgánica.



	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

En cuanto a los macronutrientes del suelo, los contenidos de nitrógeno y fósforo presentan entre sí una correlación directa y significativa, y estos dos parámetros se relacionan también directamente con los contenidos de potasio y magnesio en el suelo. Así mismo, el nitrógeno y fósforo se relacionan de forma directa y muy significativa, tanto con la materia orgánica total como con las fracciones de ácidos fúlvicos y huminas, siendo la fracción de ácidos húmicos la que se correlaciona solamente con el nitrógeno. Estas relaciones indican el papel de dichos nutrientes en la fracción orgánica del suelo.

Destacar las relaciones inversas entre el fósforo y el pH del suelo, indicando menor disponibilidad de este nutriente a pH elevados. En cuanto al contenido en carbonatos en el suelo, presenta correlaciones inversas con la mayoría de los parámetros analizados, con los contenidos de nitrógeno y fósforo, así como con la materia orgánica total y las fracciones de ácidos fúlvicos y huminas, mostrando de nuevo el papel poco beneficioso de un elevado contenido de carbonatos en el suelo, a pesar de producir en algunos casos una dureza mayor del agregado que eleva su estabilidad.

Entre las bases de cambio, los contenidos de potasio y magnesio tienen una correlación positiva y con una significación similar con el contenido de materia orgánica total. La fracción de las huminas se correlaciona directamente con el contenido de potasio y magnesio, así mismo los ácidos fúlvicos presentan una relación directa pero únicamente con el magnesio de cambio.

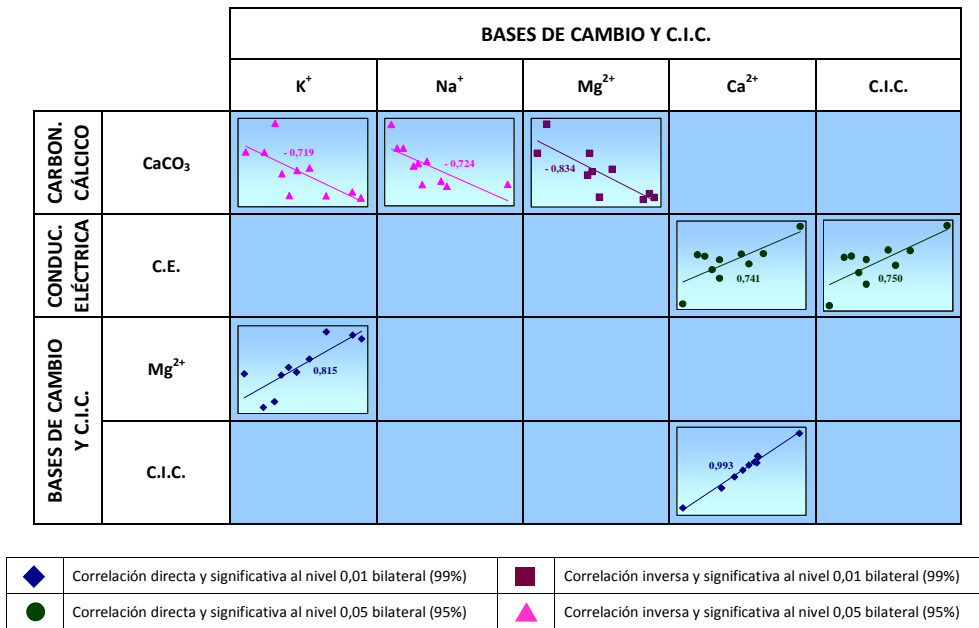
En cuanto al contenido de materia orgánica total, se correlaciona positivamente y con elevada significación con las fracciones orgánicas de ácidos fúlvicos y huminas, destacando la obtenida con la fracción de huminas al presentar mayor significación.

Las especies vegetales establecen dinámicas particulares de la materia orgánica del suelo y condicionan su actividad microbiológica.

La disponibilidad biológica de los sustratos orgánicos es sumamente heterogénea y es una función de las características químicas de los mismos. Sin embargo, existirían otros factores de control de esta disponibilidad. Según diversos autores (Elliot et al., 1994) la oclusión física de los componentes orgánicos determinaría la accesibilidad de los mismos para los microorganismos del suelo.

En la tabla 4.15 se muestran las correlaciones obtenidas entre las bases de cambio y la capacidad de intercambio catiónico entre sí, además de estos parámetros con los contenidos de carbonato cálcico y con los niveles de conductividad eléctrica de los suelos.

**Tabla 4.15.** Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A<sub>1</sub>), bases de cambio y C.I.C. con carbonato cálcico, conductividad eléctrica, bases de cambio y C.I.C.



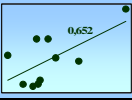
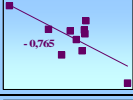
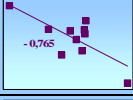
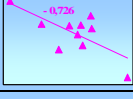
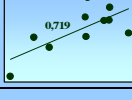
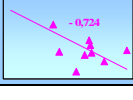
Los contenidos de calcio y la C.I.C. presentan correlaciones directas con la conductividad eléctrica, así mismo el calcio se relaciona directamente y con elevada significación, como es lógico, con la C.I.C. Entre las bases de cambio, los contenidos de potasio se relacionan con los de magnesio de manera directa y significativa.

En cuanto a los contenidos de carbonatos del suelo, se correlacionan inversamente con la mayoría de las bases de cambio (potasio, sodio y magnesio).



El estudio estadístico de las correlaciones entre los índices de composición húmica con otros parámetros químicos del suelo se indican en la tabla 4.16.

**Tabla 4.16.** Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A<sub>1</sub>), índices de composición húmica con carbonato cálcico, bases de cambio y C.I.C., composición de la materia orgánica e índices de composición húmica.

		ÍNDICES DE COMPOSICIÓN HÚMICA		
		Índice de polimerización	Índice de estabilidad estructural	Grado de humificación
CARBON. CÁLCICO	CaCO <sub>3</sub>			
	Ca <sup>2+</sup>			
BASES DE CAMBIO Y C.I.C.	Ca <sup>2+</sup>			
	C.I.C.			
COMP. MAT. ORGÁN.	Ácidos húmicos			
ÍND. COMP. HÚMICA	Grado de humificación			

Los índices de composición húmica se correlacionan con gran número de parámetros, principalmente el índice de estabilidad estructural que presenta correlación inversa con el contenido de calcio, la capacidad de intercambio catiónico y el grado de humificación. En cambio, los otros índices presentan correlaciones directas, el grado de humificación con el contenido en carbonato cálcico y el índice de polimerización con la fracción de ácidos húmicos.

Analizando parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>) (tabla 4.17), se observan correlaciones directas con un nivel de significación al 95 y 99 por cien entre gran número de parámetros, como son el contenido de humedad volumétrica en el punto de marchitez permanente (a 1500 kPa) con los macronutrientes nitrógeno y fósforo. Entre las bases de cambio, los contenidos de potasio y magnesio también se correlacionan positivamente con este parámetro. Lo mismo ocurre con el contenido en materia orgánica total y la fracción de huminas, indicando que altos valores de materia orgánica en el suelo pueden aumentar el contenido de humedad existente en el punto de marchitez permanente. Y entre las correlaciones inversas con este mismo parámetro, destacar aquella que se produce con el contenido de carbonatos en el suelo, de manera que en horizontes fuertemente carbonatados y cementados con esta sal, el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente disminuye.

Tanto la humedad gravimétrica como la humedad volumétrica en el punto de saturación (a 0 kPa), se correlacionan directamente con los contenidos de nitrógeno y de materia orgánica total, así como con las tres fracciones orgánicas con las que presentan buenas correlaciones, principalmente con la fracción de huminas.

En cuanto a la humedad volumétrica correspondiente a las muestras inalteradas y a la humedad volumétrica en el punto de saturación (a 0 kPa), presentan correlaciones

directas con el contenido de magnesio. Mientras que la humedad volumétrica a capacidad de campo (a 20 kPa) se correlaciona directamente con el contenido de potasio y con el número de artrópodos encontrados en los suelos, pero presenta correlación inversa con el contenido de calcio y la C.I.C.

**Tabla 4.17.** Relaciones entre parámetros físicos, químicos y biológicos (horizonte A<sub>1</sub>), humedad con carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio y C.I.C., materia orgánica total, composición de la materia orgánica y fauna edáfica.

		HUMEDAD				
		Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica Muestras inalteradas	Humedad Volumétrica 0 kPa (pFs)	Humedad Volumétrica 20 kPa (pFs)	Humedad Volumétrica 1500 kPa (pFs)
CARBON. CÁLCICO	CaCO <sub>3</sub>					
MACRONUTRIENTES	Nitrógeno					
	Fósforo					
BASES DE CAMBIO Y C.I.C.	K <sup>+</sup>					
	Mg <sup>2+</sup>					
	Ca <sup>2+</sup>					
	C.I.C.					
MATERIA ORGÁNICA	Materia orgánica total					
COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	Ácidos húmicos					
	Ácidos fúlvicos					
	Huminas					
FAUNA EDÁFICA	Artrópodos capturados					

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

La tabla 4.18 muestra las correlaciones obtenidas entre las fracciones texturales y el diámetro medio textural con algunos parámetros químicos.

La fracción arena se correlaciona directamente con el índice de estabilidad estructural, y de forma inversa con el contenido de calcio de los suelos.

En cuanto a la fracción limo, presenta correlación directa y bastante significativa con el contenido en carbonatos del suelo, mientras que se correlaciona inversamente con los contenidos de fósforo, potasio, magnesio (más significativa) y con el índice de estabilidad estructural.

La fracción arcilla destaca por presentar correlaciones positivas con la C.I.C., así como con las fracciones orgánicas de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. En cambio, el diámetro medio textural se correlaciona inversamente con el contenido de calcio, la C.I.C. y con la fracción de ácidos húmicos, mientras que tan solo presenta correlación directa con el índice de estabilidad estructural.

**Tabla 4.18.** Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A<sub>1</sub>), textura con carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio y C.I.C., composición de la materia orgánica e índices de composición húmica.

		TEXTURA			
		Arena (Textural)	Limo (Textural)	Arcilla (Textural)	Diámetro medio (Textural)
CARBON. CÁLCICO	CaCO <sub>3</sub>				
MACRON.	Fósforo				
BASES DE CAMBIO Y C.I.C.	K <sup>+</sup>				
	Mg <sup>2+</sup>				
	Ca <sup>2+</sup>				
	C.I.C.				
COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	Ácidos húmicos				
	Ácidos fúlvicos				
ÍND. COMP. HÚMICA	Índice de estabilidad estructural				

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

Las correlaciones entre distintos tamaños de agregados con numerosos parámetros químicos, obtenidas en muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>), se muestran en la tabla 4.19. En cuanto a los agregados de mayores tamaños, los agregados de >10 mm presentan una correlación inversa con el contenido de fósforo, mientras que los agregados de tamaño 10-5 mm se correlacionan directamente con los niveles de conductividad eléctrica.

La fracción de agregados de tamaño 5-2 mm es la que presenta mayor número de correlaciones positivas y con mayor significación, tanto con macronutrientes (nitrógeno y fósforo), bases de cambio (potasio y magnesio), como con la materia orgánica y sus fracciones (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), demostrando la importancia de estas correlaciones obtenidas dado que dicha fracción es la dominante y de mayor representatividad en los suelos de estudio.

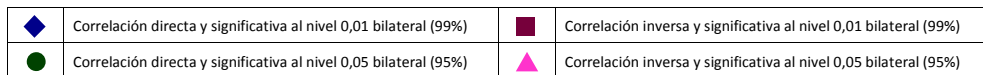
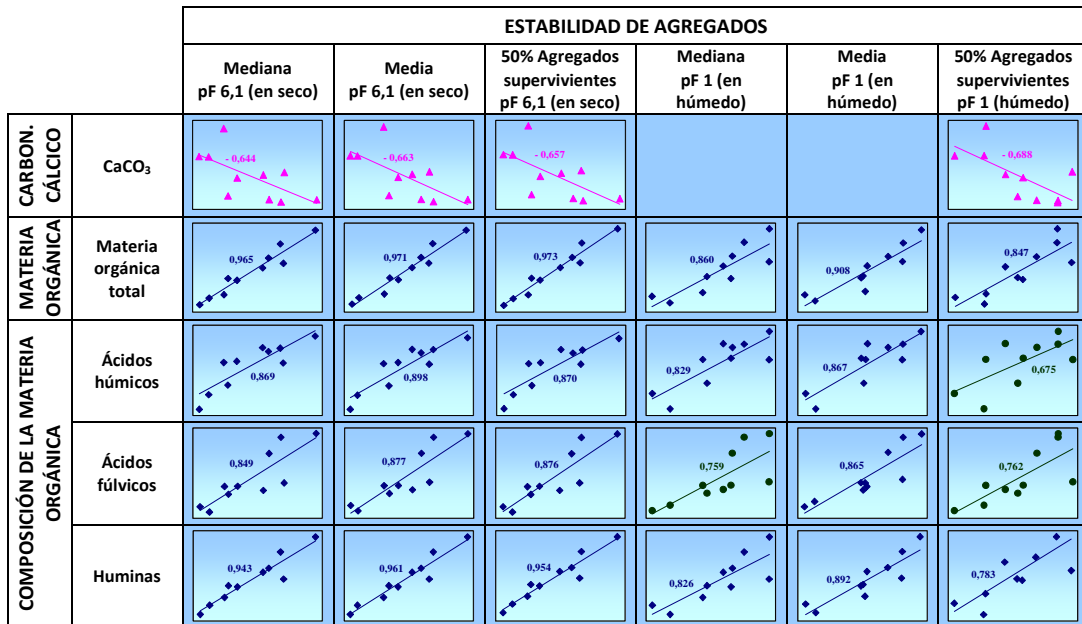
**Tabla 4.19.** Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A<sub>1</sub>), distribución de agregados con carbonato cálcico, conductividad eléctrica, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total y composición de la materia orgánica.

		DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS		
		Agregados >10 mm	Agregados 10-5 mm	Agregados 5-2 mm
CARBON. CÁLCICO	CaCO <sub>3</sub>			
	C.E.			
MACRONUTRIENTE S	Nitrógeno			
	Fósforo			
BASES DE CAMBIO	K <sup>+</sup>			
	Mg <sup>2+</sup>			
MATERIA ORGÁNICA	Materia orgánica total			
COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	Ácidos húmicos			
	Ácidos fúlvicos			
	Huminas			

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

La tabla 4.20 muestra correlaciones directas y con alta significación entre los contenidos de materia orgánica total y sus fracciones (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), con todos los parámetros indicadores de la estabilidad de los agregados (mediana, media y 50% de agregados supervivientes, tanto en seco como en húmedo), siendo más significativas a pF 6,1 (en seco) en todos los parámetros. En cambio, el contenido en carbonato cálcico presenta correlaciones inversas con los valores de la mediana, la media y el 50% de agregados supervivientes a pF 6,1 (en seco), así como con el 50% de agregados supervivientes a pF 1 (en húmedo).

**Tabla 4.20.** Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A<sub>1</sub>), estabilidad de agregados con carbonato cálcico, materia orgánica total y composición de la materia orgánica.



La vegetación tiene un efecto mejorador sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Stevenson, 1994), efectos que han sido atribuidos entre otras cosas a la incorporación de los residuos vegetales a la materia orgánica estable del mismo, los cuales se pueden manifestar a través de diferentes mecanismos. Al incorporarse los restos vegetales se promueve la actividad microbiana y, por lo tanto, se estimula la producción de polímeros que actuarían como agentes estabilizadores de la estructura del suelo (Martín, 1971; Martín y Hardier, 1971). Estos productos de la degradación de los residuos orgánicos, vegetales y animales, actúan conjuntamente con los polisacáridos producidos por los microorganismos del suelo en la estabilización de los agregados formados por acción mecánica (Lynch y Brugg, 1985). Emerson (1995) señala que muchos de estos polisacáridos poseen fuertes propiedades adhesivas, cuya actividad como agente físicoquímico entre las partículas se debe a su longitud y estructura flexibles que contribuyen a incrementar su área de contacto.

Las investigaciones de Oades (1984), Lynch (1984) y Low (1967), han demostrado el efecto positivo de la materia orgánica sobre la estabilidad de los agregados del suelo, debido a la formación de enlaces Arcilla - Metal polivalente - Materia orgánica, siendo estos efectos a largo plazo.

Pla (1993) señala que en situaciones de labranza tradicional y bajo condiciones climáticas favorables, la mineralización de la materia orgánica es tan dinámica y rápida que su efecto es poco evidente incluso a largo plazo. Por otra parte, N'dayegamine y Angers (1993), señalan efectos a corto plazo de la fracción ligera de menor estabilidad.

Con relación a los efectos sobre otras propiedades físicas, se ha encontrado que en suelos de muy variada textura la incorporación de materiales orgánicos reduce la compatibilidad de los mismos, debido a los efectos sobre la estabilidad estructural y las propiedades de retención de humedad (Davies, 1985; Ellies et al., 1995). De la misma manera, se ha encontrado que los bajos contenidos de materia orgánica incrementan la susceptibilidad de los suelos a la compactación (Soane, 1970).

En lo referente a la retención de humedad, Emerson (1995) ha indicado que la incorporación de materia orgánica es capaz de aumentar el agua almacenada en el suelo. Kiehl (1985) indica también disminuciones de la densidad aparente, además de mejorar otras propiedades físicas del suelo.

En la tabla 4.21 se observan las correlaciones obtenidas entre los parámetros relacionados con la microagregación y algunas variables químicas, en las muestras de suelo superficiales (horizonte A<sub>1</sub>).

Los valores de carbonato cálcico presentan correlaciones inversas con parámetros como la arena microagregada, el diámetro medio de microagregados y los microagregados estables en agua, indicando el efecto negativo del elevado contenido en carbonatos en este parámetro de estabilidad del suelo. Mientras que el limo microagregado y la arcilla microagregada se relacionan directamente con el contenido en carbonatos de los suelos.

Los macronutrientes nitrógeno y fósforo presentan correlaciones directas con la arena microagregada, el diámetro medio de microagregados y los microagregados estables en agua, obteniendo con el nitrógeno correlaciones de mayor significación. Además los contenidos de nitrógeno también se correlacionan directamente con parámetros como la fracción fina microagregada y el índice de agregación relativo. En cambio, tanto los contenidos de nitrógeno como de fósforo se relacionan inversamente con la fracción limo microagregada.

Tanto la materia orgánica total como sus fracciones (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) presentan también correlaciones directas con algunos parámetros referentes a la microagregación, como son los microagregados estables en agua, la fracción fina microagregada y el índice de agregación relativo. Mientras que se correlacionan de forma inversa con la fracción limo microagregada, al igual que lo observado anteriormente con el contenido de nitrógeno y fósforo. Así mismo, el contenido de materia orgánica total y la fracción de huminas se relacionan directamente con otros parámetros como son la arena microagregada y el diámetro medio de microagregados.

Por otra parte, el índice de estabilidad estructural se correlaciona de manera inversa con el contenido en arcilla microagregada, mientras que el grado de humificación presenta correlaciones directas con el contenido en limo microagregado y arcilla microagregada, e inversas con la arena microagregada y el diámetro medio de microagregados.

**Tabla 4.21.** Relaciones entre parámetros físicos y químicos (horizonte A<sub>1</sub>), microagregación con carbonato cálcico, macronutrientes, materia orgánica total, composición de la materia orgánica e índices de composición húmica.

		MICROAGREGACIÓN						
		Arena (Microagreg.)	Limo (Microagreg.)	Arcilla (Microagreg.)	Diámetro medio (Microagreg.)	Microagreg. estables en agua	Fracción fina microagregada	Índice de agregación relativo (I.A.R.)
CARBON. CÁLCICO	CaCO <sub>3</sub>							
	Nitrógeno							
MACRONUTRIENTES	Fósforo							
	Materia orgánica total							
COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	Ácidos húmicos							
	Ácidos fúlvicos							
	Huminas							
ÍND. COMPOSICIÓN HÚMICA	Índice de estabilidad estructural							
	Grado de humificación							

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

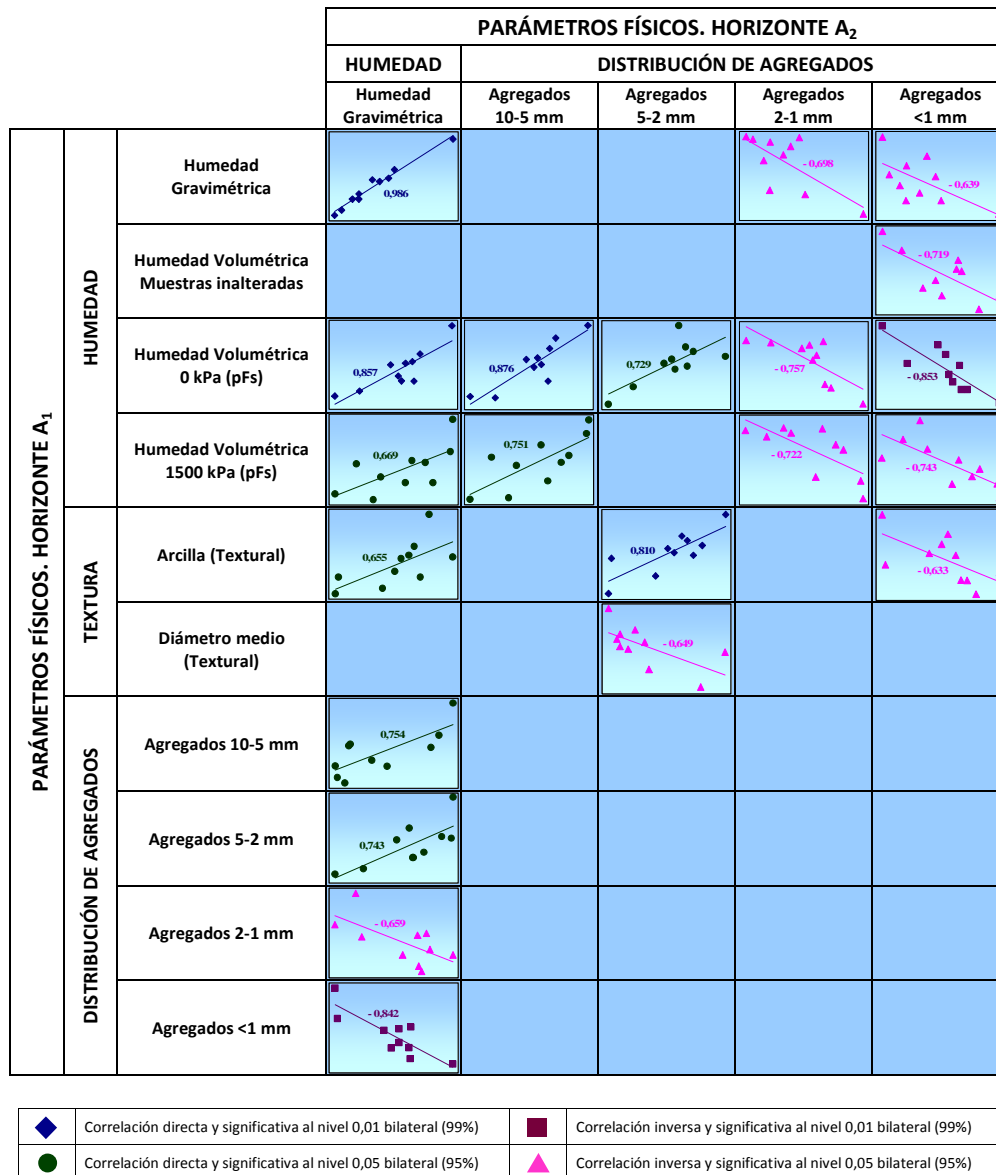
En la tabla 4.22 se muestra la correlación directa que presenta la humedad gravimétrica del suelo con los agregados de tamaño de 10-5 y de 5-2 mm, indicando que el aumento de la humedad del suelo favorece el mantenimiento de la estabilidad de estos agregados de gran tamaño presentes en el suelo, influyendo en su presencia y estabilidad. En cambio, los agregados de menores tamaños de 2-1 y <1 mm se correlacionan inversamente con la humedad gravimétrica del suelo.

**Tabla 4.22.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>2</sub>), distribución de agregados con humedad.

		DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS			
		Agregados 10-5 mm	Agregados 5-2 mm	Agregados 2-1 mm	Agregados <1 mm
HUMEDAD	Humedad Gravimétrica				

Por otra parte, se ha realizado el análisis estadístico de correlaciones para estudiar la existencia de relaciones entre las diferentes variables físicas analizadas en el horizonte superficial ( $A_1$ ) y en el horizonte subsuperficial ( $A_2$ ), de los puntos de muestreo de las parcelas estudiadas. Las diferentes correlaciones obtenidas se muestran en las tablas 4.23 y 4.24.

**Tabla 4.23.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte  $A_1$ ): humedad, textura y distribución de agregados; con parámetros físicos (horizonte  $A_2$ ): humedad y distribución de agregados.



Como es evidente, la humedad gravimétrica obtenida en cada horizonte se correlaciona directamente entre sí, con un elevado nivel de significación. En cambio, tanto la humedad gravimétrica como la humedad volumétrica en el punto de saturación (a 0 kPa) y la humedad volumétrica en el punto de marchitez permanente (a 1500 kPa), obtenidas en el horizonte superficial  $A_1$ , presentan correlaciones inversas con los agregados de tamaños más pequeños de 2-1 y <1 mm pertenecientes al horizonte  $A_2$ . En el caso de la humedad volumétrica correspondiente a las muestras inalteradas, solamente se correlaciona inversamente con los agregados de <1 mm.

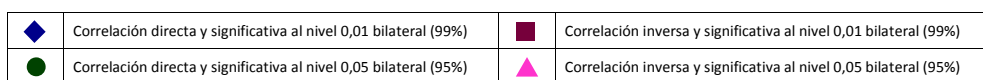
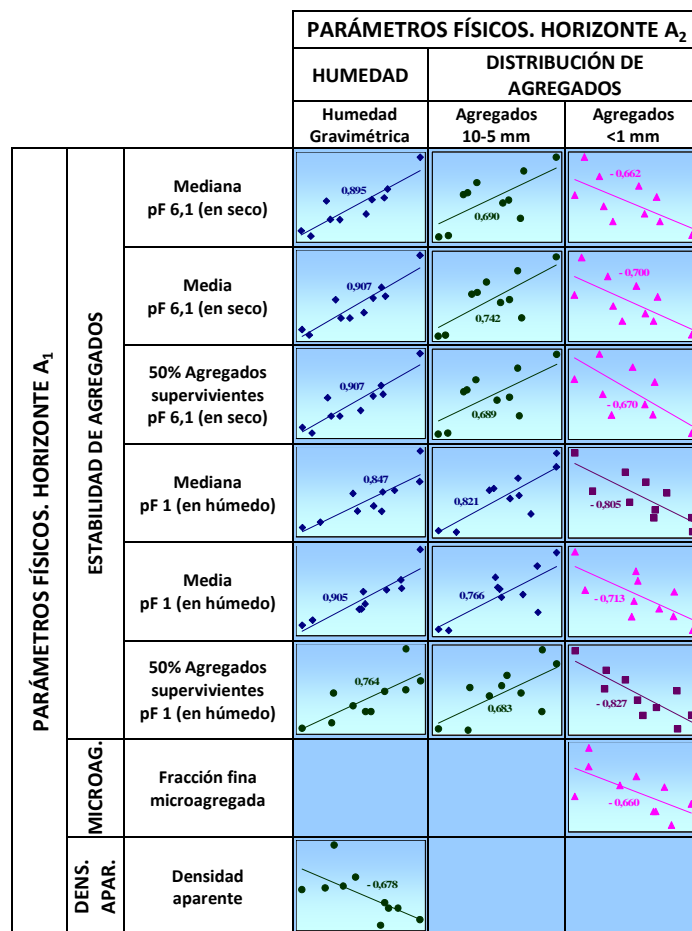


Así mismo, la humedad volumétrica en el punto de saturación (a 0 kPa) obtenida en el horizonte superficial A<sub>1</sub>, presenta relaciones directas con otros parámetros físicos correspondientes al horizonte subsuperficial A<sub>2</sub>, como son la humedad gravimétrica y los agregados de tamaño de 10-5 y 5-2 mm. Para el caso de la humedad volumétrica en el punto de marchitez permanente (a 1500 kPa) correspondiente al horizonte A<sub>1</sub>, se observan correlaciones similares, aunque con menor significación, a las comentadas anteriormente a tensión 0 kPa con parámetros físicos del horizonte A<sub>2</sub>, directas con la humedad gravimétrica y los agregados de tamaño de 10-5 mm.

Otras correlaciones directas son las obtenidas entre la arcilla textural de las muestras superficiales A<sub>1</sub> con la humedad gravimétrica y los agregados de tamaño 5-2 mm pertenecientes al horizonte A<sub>2</sub>. En cambio, la arcilla presenta correlaciones inversas con los agregados de menor tamaño de <1 mm. En cuanto al diámetro medio textural de las muestras superficiales A<sub>1</sub>, se relaciona inversamente con los agregados de 5-2 mm.

Así mismo, la humedad gravimétrica obtenida en el horizonte A<sub>2</sub> se correlaciona de forma directa con los agregados de tamaño de 10-5 y 5-2 mm correspondientes al horizonte A<sub>1</sub>, y de manera inversa con los agregados de menor tamaño de 2-1 y <1 mm obtenidos también en el horizonte más superficial.

**Tabla 4.24.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>1</sub>): estabilidad de agregados, microagregación y densidad aparente; con parámetros físicos (horizonte A<sub>2</sub>): humedad y distribución de agregados.



En la tabla 4.24 se observa que todos los parámetros relacionados con la estabilidad de agregados, mediana, media y 50% de agregados supervivientes, tanto a pF 6,1 (en seco) como a pF 1 (en húmedo) obtenidos en el horizonte A<sub>1</sub>, presentan correlaciones directas y elevados niveles de significación con la humedad gravimétrica y los agregados de tamaño 10-5 mm correspondientes al horizonte A<sub>2</sub>. En cambio, estos parámetros referentes a la estabilidad de agregados se correlacionan inversamente con los agregados de menor tamaño de <1 mm, siendo también este tamaño de agregados el que presenta una correlación inversa con la fracción fina microagregada obtenida en el horizonte A<sub>1</sub>. En cuanto a la densidad aparente del suelo correspondiente al horizonte superficial A<sub>1</sub>, se correlaciona directamente con la humedad gravimétrica obtenida en el horizonte A<sub>2</sub>.

**Tabla 4.25.** Relaciones entre parámetros químicos (horizonte A<sub>1</sub>): carbonato cálcico, macronutrientes, bases de cambio, materia orgánica total, composición de la materia orgánica e índices de composición húmica; con parámetros químicos (horizonte A<sub>2</sub>): carbonato cálcico y materia orgánica total.

			PARÁMETROS QUÍMICOS HORIZONTE A <sub>2</sub>	
			CaCO <sub>3</sub>	Materia orgánica total
PARÁMETROS QUÍMICOS. HORIZONTE A <sub>1</sub>	CARBON. CALCÍCO	CaCO <sub>3</sub>		
	MACRONUTRIENTES	Nitrógeno		
		Fósforo		
	BASES DE CAMBIO	K <sup>+</sup>		
		Mg <sup>2+</sup>		
	MATERIA ORGÁNICA	Materia orgánica total		
	COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	Ácidos húmicos		
		Ácidos fúlvicos		
		Huminas		
	ÍND. COMPOSICIÓN HÚMICA	Índice de estabilidad estructural		
		Grado de humificación		

	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

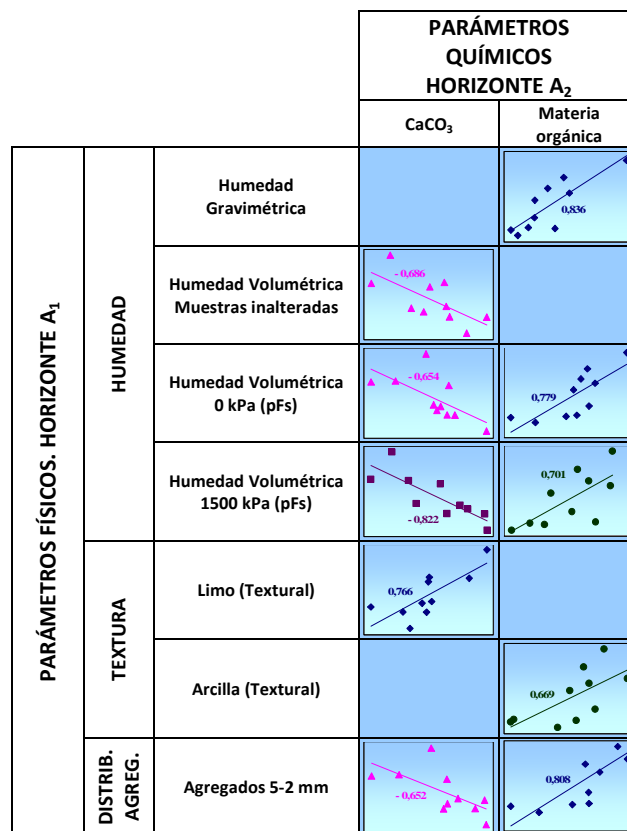
Así mismo, se han estudiado las correlaciones existentes entre las diferentes variables químicas analizadas en el horizonte superficial ( $A_1$ ) y en el horizonte subsuperficial ( $A_2$ ), de los puntos de muestreo de las parcelas estudiadas, siendo dichas correlaciones obtenidas las que se muestran en la tabla 4.25.

El contenido de carbonato cálcico obtenido en el horizonte subsuperficial ( $A_2$ ) presenta correlaciones inversas con los macronutrientes (nitrógeno y fósforo), contenidos de potasio y magnesio, así como con la materia orgánica total, la fracción de huminas y con el índice de estabilidad estructural, parámetros químicos correspondientes al horizonte más superficial ( $A_1$ ). Mientras que el contenido de carbonato cálcico presente en el horizonte más profundo ( $A_2$ ) se correlaciona directamente y con elevada significación, con el contenido en carbonatos y con el grado de humificación, ambos parámetros obtenidos en el horizonte  $A_1$ .

En relación a la materia orgánica total contenida en el horizonte subsuperficial ( $A_2$ ), se observan correlaciones directas con numerosas variables químicas obtenidas en el horizonte más superficial ( $A_1$ ), como son los contenidos de nitrógeno, fósforo, magnesio, materia orgánica total, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. En cambio, la materia orgánica total presente en el horizonte más profundo ( $A_2$ ) se correlaciona indirectamente con el contenido de carbonato cálcico obtenido en el horizonte superficial ( $A_1$ ).

En las tablas 4.26 y 4.27 se muestran las correlaciones analizadas entre las variables físicas correspondientes al horizonte  $A_1$  y las variables químicas obtenidas en el horizonte  $A_2$ , de los distintos puntos de muestreo de las parcelas estudiadas.

**Tabla 4.26.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte  $A_1$ ): humedad, textura y distribución de agregados; con parámetros químicos (horizonte  $A_2$ ): carbonato cálcico y materia orgánica total.



	Correlación directa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,01 bilateral (99%)
	Correlación directa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)		Correlación inversa y significativa al nivel 0,05 bilateral (95%)

Se han obtenido correlaciones indirectas entre el contenido de carbonato cálcico presente en el horizonte a mayor profundidad ( $A_2$ ) y algunas variables físicas correspondientes al horizonte superficial ( $A_1$ ), como son la humedad volumétrica obtenida en las muestras de suelo inalteradas, la humedad volumétrica a tensiones 0 y 1500 kPa, y los agregados de tamaño 5-2 mm. No obstante, el contenido de carbonatos se correlaciona directamente con el limo textural.

En cuanto a los contenidos de materia orgánica total obtenidos en el horizonte  $A_2$ , presentan correlaciones directas con numerosos parámetros físicos, como son la humedad gravimétrica, la humedad volumétrica a tensión 0 y 1500 kPa, así como la arcilla textural y los agregados de 5-2 mm, correspondientes todos ellos al horizonte más superficial ( $A_1$ ).

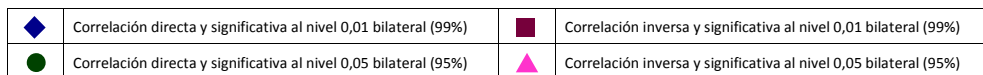
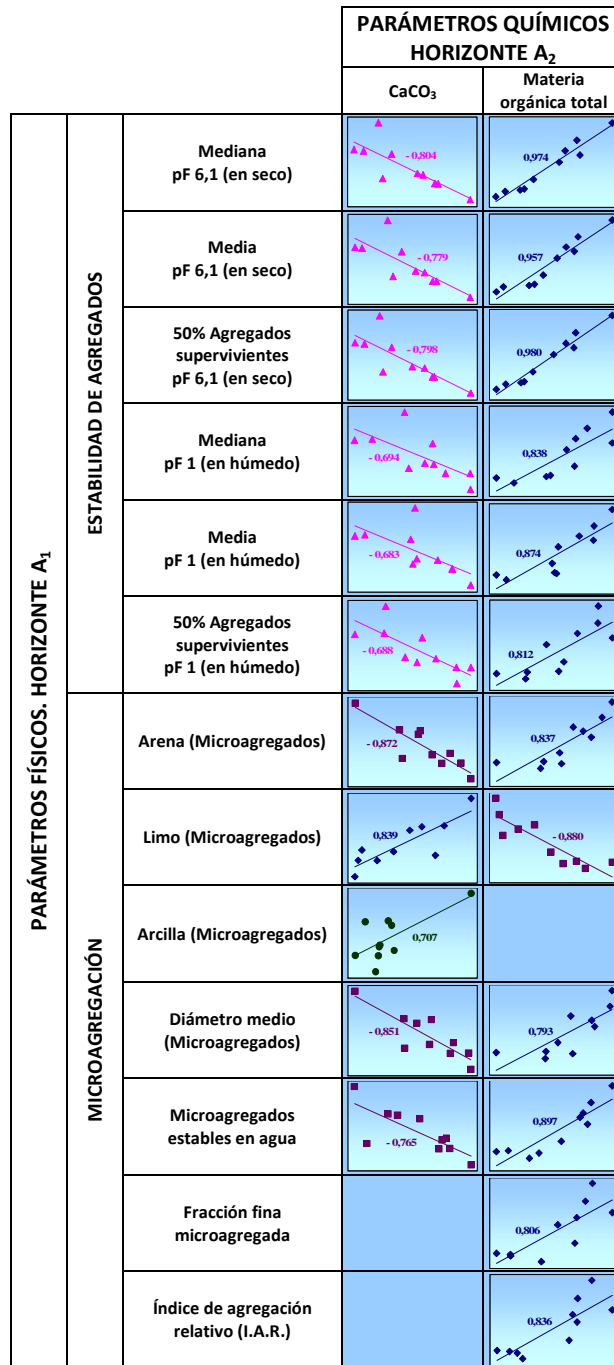
Tras analizar las relaciones existentes entre los parámetros referentes a la estabilidad de agregados y a la microagregación correspondientes al horizonte  $A_1$ , con los contenidos de carbonato cálcico y de materia orgánica obtenidos en el horizonte más profundo  $A_2$  (tabla 4.27), se observan correlaciones indirectas entre el carbonato cálcico del suelo con los valores de la mediana, media, 50% de agregados supervivientes, tanto en seco (a pF 6,1) como en húmedo (a pF 1), así como con la arena microagregada, el diámetro medio de microagregados y los microagregados estables en agua. Sin embargo, el contenido de carbonato cálcico presente en el horizonte subsuperficial ( $A_2$ ) se correlaciona directamente con el limo microagregado y la arcilla microagregada.

Respecto al contenido de materia orgánica total obtenido en el horizonte  $A_2$ , presenta correlaciones directas y elevados niveles de significación al 99% con todas las variables correspondientes a la estabilidad de agregados (mediana, media y 50% de agregados supervivientes), tanto en seco (a pF 6,1) como en húmedo (a pF 1), así como con parámetros relacionados con la microagregación como son la arena microagregada, el diámetro medio de microagregados, los microagregados estables en agua, la fracción fina microagregada y el índice de agregación relativo, todos ellos obtenidos en el horizonte más superficial ( $A_1$ ). Mientras que dichos contenidos de materia orgánica total del suelo a mayor profundidad ( $A_2$ ) se correlacionan inversamente con el limo microagregado obtenido en el horizonte superficial ( $A_1$ ).

La estabilidad estructural de los suelos depende de varios factores, algunos de ellos como la materia orgánica y el contenido en carbonatos son conocidos y citados en numerosas ocasiones. Uno de los indicadores es la materia orgánica del suelo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de gotas de lluvia.

Algunos estudios insisten en la relación entre estabilidad de agregados y el contenido de materia orgánica, pero teniendo en cuenta su tipo o calidad. Se ha encontrado en la bibliografía que del contenido y fraccionamiento de la materia orgánica, y concretamente la fracción de ácidos fúlvicos, muestra una relación negativa con los agregados de menor tamaño, realizando la asociación entre la calidad y contenido de materia orgánica (Puigdefábregas, 1998).

**Tabla 4.27.** Relaciones entre parámetros físicos (horizonte A<sub>1</sub>): estabilidad de agregados y microagregación; con parámetros químicos (horizonte A<sub>2</sub>): carbonato cálcico y materia orgánica total.



En general, la materia orgánica promueve la estabilidad de los agregados porque reduce el hinchamiento del agregado, disminuye la permeabilidad del agregado, reduce las fuerzas destructivas del fenómeno de estallido y aumenta la fuerza intrínseca de los agregados (Guggenberger et al., 1994). La efectividad del CO<sub>2</sub> en formar agregados estables está relacionada con su tasa de descomposición, la cual a su vez está influenciada por su protección física y química de la acción microbiana (Bronick y Lal, 2005; Burns, 1982).

Los compuestos de la materia orgánica enlazan física y químicamente las partículas primarias en los agregados (Mafra et al., 2007). La cantidad y distribución de los agregados estables e inestables en el suelo tienen una relación estrecha con la dinámica de la materia orgánica y la calidad del suelo. Por ello, los problemas de erosión de un suelo se evalúan estudiando los agregados estables (Márquez et al., 2004). Además, los principales factores que afectan la estabilidad de los agregados están asociados con la distribución del tamaño de partículas y los niveles de materiales cementantes (Pagliai et al., 2004; Marinari et al., 2010).

La estabilidad estructural de la capa superficial del suelo y la distribución de tamaños de agregados estables en agua, son parámetros que se correlacionan con la materia orgánica de los suelos.

Para autores como Muñoz et al., (2007), el predominio de las fracciones de C en ácidos húmicos ( $C_{AH}$ ) y de C en huminas ( $C_{HUM}$ ) explica que los suelos presenten una elevada proporción de agregados con diámetro  $<0,25$  mm, mientras que los suelos con altos contenidos de partículas de 2-1 mm le confieren una alta susceptibilidad a la desagregación y al humedecimiento e impacto de gotas de lluvia, relacionado a su vez con la escasa contribución de los compuestos orgánicos estabilizadores (predominio de  $C_{AH}$ ).

En cuanto a la fracción de microagregados, las correlaciones obtenidas indican relaciones directas con el contenido en materia orgánica. Cardenas (1991) indica que existe un buen grado de asociación entre el porcentaje de carbono en los microagregados y el carbono del suelo.

Autores como Smith (1970), Moran et al., (2005), indican que el contenido de N de los residuos vegetales afecta su transformación en N mineral y viceversa en los suelos a través de la actividad microbiana, y que este efecto conduce a una mayor transformación del C del residuo vegetal en fracciones de materia orgánica más estables.

Estos procesos pueden explicar la relación directa entre el aumento de la relación SH/Humina y el grado de humificación. (SH = sustancias húmicas = ácidos húmicos+ácidos fúlvicos).

Una disminución de la relación SH/Humina indica aumento de la estabilización de las sustancias húmicas en formas muy estabilizadas y poco útiles para el desarrollo de nuevas poblaciones de microorganismos, mientras que un aumento de esta relación está indicando procesos activos de entrada de materia orgánica fresca, utilización por los microorganismos y transformación hacia formas más estables, todos ellos simultáneos.

En el suelo cubierto con plantas, al aumentar la relación entre sustancias húmicas (ácidos húmicos+ácidos fúlvicos) y humina, SH/Humina, también aumenta el grado de humificación (relación lineal ascendente), y ello puede indicarnos procesos de humificación activos. Mientras que en el caso del suelo desnudo esta relación lineal es negativa, lo que probablemente indica una tendencia de la materia orgánica del suelo hacia la estabilización del humus en las formas más complejas, más estabilizadas y menos útiles para la actividad biológica, que son las huminas.

Podemos pues resaltar, que la presencia de las plantas en el suelo permite la coexistencia de distintas formas de humus que favorecen el desarrollo y el mantenimiento de procesos microbianos activos en el suelo, mientras que en los espacios desnudos las poblaciones microbianas pueden estar más limitadas, y como producto de su actividad la materia orgánica se transforma en sustancias muy estabilizadas pero con menor reactividad.

El índice de estabilidad estructural para los puntos de muestreo muestra diferencias significativas entre épocas en el caso de los suelos de pasillos, cuyo índice de estabilidad es mayor en la época estival y, en este sentido se comportaría de forma contraria a los espacios cubiertos con la especie herbácea *Brachypodium retusum*.

Por otra parte, existe relación entre los valores de materia orgánica en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas con los contenidos de materia orgánica total del suelo en general, obtenidos mediante el método de oxidación, principalmente con las fracciones de ácidos fúlvicos y huminas para las muestras de suelo superficiales, luego el contenido de materia orgánica en ácidos fúlvicos y en huminas aumenta linealmente con el contenido de materia orgánica total del suelo.

La fracción orgánica dominante en los suelos estudiados según los resultados obtenidos por el método de oxidación, es la correspondiente a las huminas, es decir, las formas más complejas y estabilizadas. En dicha fracción además de este tipo de materia orgánica oxidable también se acumulan los restos vegetales no descompuestos por la actividad microbiana, es decir, lo que podemos denominar como materia orgánica recalcitrante.

Le sigue en abundancia la fracción orgánica de ácidos fúlvicos, que son las sustancias húmicas con mayor proporción de grupos funcionales hidrófilos en la materia orgánica total y, por tanto, las más solubles de la materia orgánica del suelo. Los valores más bajos de materia orgánica en ácidos fúlvicos, obtenidos por el método de oxidación, corresponden a los suelos de pasillos, siendo en los suelos cubiertos por las especies *Santolina chamaecyparissus* (aromática) y *Brachypodium retusum* (herbácea) donde se obtienen los contenidos más elevados de esta fracción.

En cuanto a la fracción de ácidos húmicos, es la que se encuentra en menor proporción en la mayoría de los suelos según los resultados obtenidos mediante el método de oxidación, siendo las sustancias húmicas con grupos funcionales hidrófilos e hidrófobos y, por tanto, son solubles o insolubles dependiendo del estado de humedad del suelo (Ellerbrock et al., 2005). Cuando el suelo está seco, los grupos hidrófilos se sitúan hacia el interior del suelo y los hidrófobos quedan en la superficie. Cuando el suelo está húmedo ocurre al revés, es decir, son los grupos hidrófobos los que se orientan hacia el interior del suelo.

#### ▪ Dendrograma o cluster

El análisis jerárquico realizado usando el valor de la distancia entre grupos y con la totalidad de las muestras analizadas, indica un primer nivel significativo que inicialmente agrupa las muestras que corresponden a suelos bajo *Lavandula latifolia* y *Ulex parviflorus*. Por otro lado, suelos bajo *Brachypodium retusum* se encuentran ligeramente separados del resto, y a un nivel superior se une al primer grupo de suelos bajo *Lavandula latifolia* y *Ulex parviflorus*.

Al mismo nivel y en un grupo colateral se unen por similitud los suelos bajo *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*. Ambos grupos se unen en un primer nivel de coincidencia, al cual se agrupa con otro formado por *Juniperus oxycedrus* que presenta mayor disimilitud. Todo este grupo reúne suelos bajo diferentes especies aromáticas, leñosas de mayor porte y herbáceas, que en general se caracterizan por presentar contenidos elevados de materia orgánica.

Los suelos de los pasillos (desnudo y pedregoso) se separan del resto. El suelo correspondiente al pasillo pedregoso, aunque se encuentra localizado en una zona desprotegida por la vegetación, está afectado por ciertas características protectoras debidas al manto pedregoso.

En el estudio del cluster se observan dos grupos diferenciados, el primero de ellos corresponde a los microambientes con mayor cobertura en el que se incluyen los suelos bajo *Brachypodium retusum*, así como *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*, mientras que el segundo grupo corresponde a los suelos de pasillos, desnudos y cubiertos por piedras. El suelo bajo *Juniperus oxycedrus* marca el nexo de unión entre ambos tipos de ambientes.

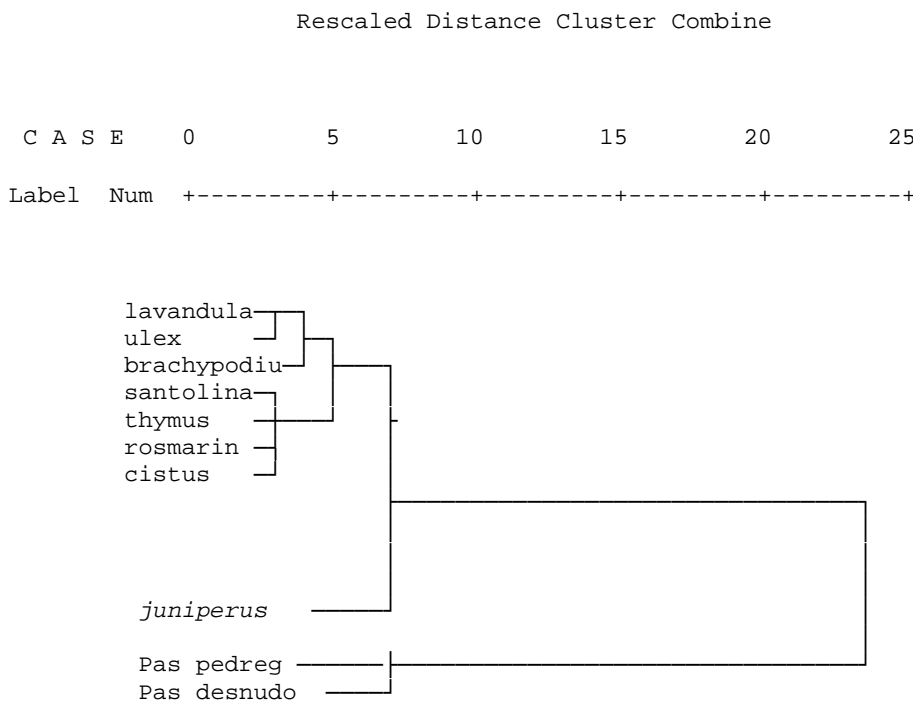


Figura 4.97. Cluster obtenido con los valores medios anuales.

▪ **Análisis factorial de componentes principales**

Se ha realizado con el paquete estadístico SPSS el análisis factorial de componentes principales que nos ayuda a reducir variables en el estudio.

Tras su realización se han obtenido dos factores significativos (tabla 4.28), tal y como indica los elevados valores de comunalidad y el porcentaje de la varianza explicada (75,11%).

Tabla 4.28. Análisis factorial y valores de la varianza explicada.

Componente	% de la varianza	% acumulado
1	40,770	40,770
2	34,337	75,107



El **factor 1** que podríamos denominar **factor indicador de la nutrición de la planta** (varianza explicada 40,77%), agrupa como variables que influyen de manera directa, entre los parámetros físicos el contenido de humedad del suelo, los agregados de tamaño >10 mm y de 5-2 mm, y el contenido de arcilla. Y entre los parámetros químicos se encuentran el pH (en agua y en KCl), el contenido en carbonato cálcico, así como algunas bases de cambio (calcio y magnesio) y la C.I.C. Así mismo, dentro de este primer factor también se agrupan otras variables que se correlacionan inversamente, entre los parámetros físicos aparecen los agregados de tamaño de 10-5 mm y de 2-1 mm, y los contenidos de arena y limo textural. Como parámetros químicos se incluyen la conductividad eléctrica y el contenidos de sodio de cambio.

El **factor 2** explica el 34,34% de la varianza y podríamos denominar **factor orgánico**, pues en él influyen de forma directa y significativa parámetros químicos como son los macronutrientes (nitrógeno y fósforo), el contenido de materia orgánica total y la fracción de huminas. Con una correlación inversa se agrupan también variables químicas como las fracciones de ácidos húmicos y de ácidos fúlvicos.

**Tabla 4.29.** Análisis de componentes principales. Valores de comunalidad entre parámetros y factores obtenidos.

	F1	F2
Humedad gravimétrica (%)	<b>0,750</b>	
Agregados > 10 mm (%)	<b>0,630</b>	
Agregados 10-5 mm (%)	<b>- 0,753</b>	
Agregados 5-2 mm (%)	<b>0,979</b>	
Agregados 2-1 mm (%)	<b>- 0,779</b>	
Arena (%)	<b>- 0,877</b>	
Limo (%)	<b>- 0,357</b>	
Arcilla (%)	<b>0,693</b>	
pH H <sub>2</sub> O	<b>0,625</b>	
pH KCl	<b>0,560</b>	
C.E. (dS/m)	<b>- 0,786</b>	
CaCO <sub>3</sub> (%)	<b>0,955</b>	
N <sub>total</sub> (%)		<b>0,819</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g		<b>0,592</b>
Na <sup>+</sup> (cmol(+)/Kg)	<b>- 0,767</b>	
Mg <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	<b>0,812</b>	
Ca <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	<b>0,624</b>	
C.I.C. (cmol(+)/Kg)	<b>0,949</b>	
M.O. (%)		<b>0,704</b>
Ácidos húmicos (%)		<b>- 0,867</b>
Ácidos fúlvicos (%)		<b>- 0,937</b>
Huminas (%)		<b>0,907</b>

La figura 4.98 muestra la distribución espacial de las diferentes variables que componen los factores extraídos.

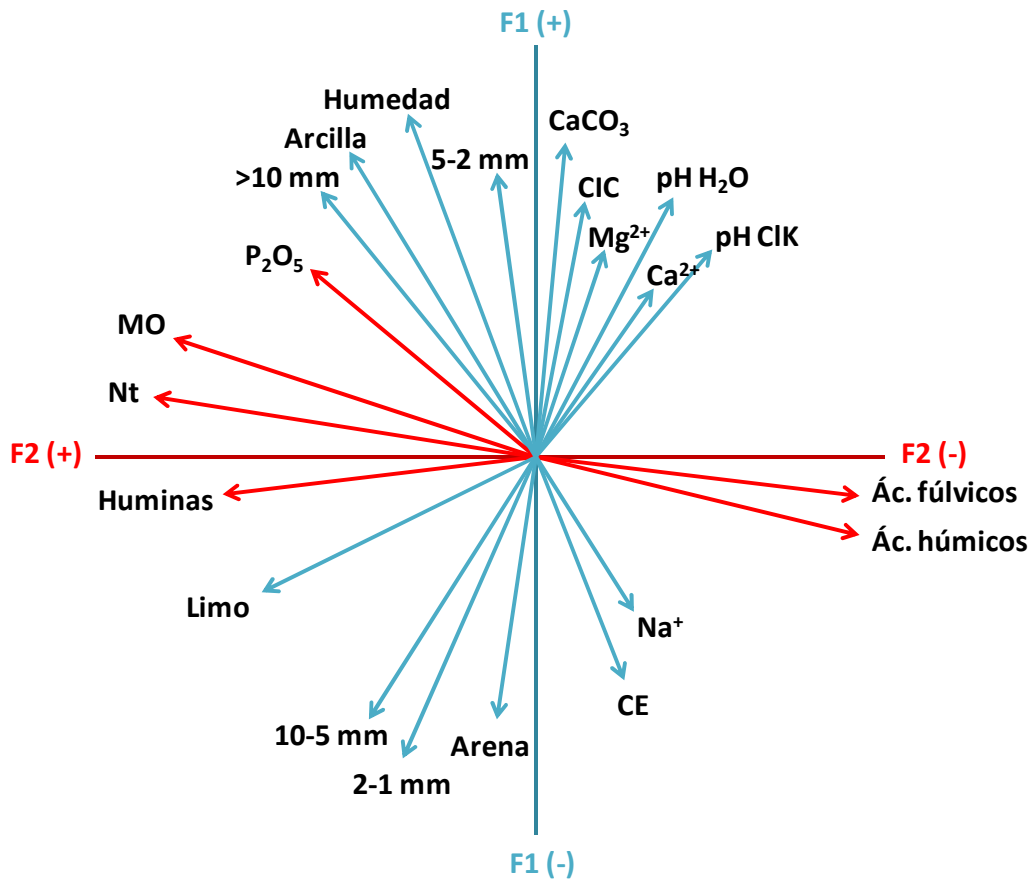


Figura 4.98. Gráfico de componentes principales.

## 4.2. ESTUDIO DE LOS SUELOS Y DE LA INFLUENCIA DE LA EDAD DE ABANDONO AGRÍCOLA EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN TERRAZAS MARGINALES DE LA CUENCA DE ESTUDIO

La disminución de la población en el interior de la Comunidad Valenciana desde los años sesenta a causa de la escasa rentabilidad de los cultivos, igual que muchas zonas de montaña en el resto de España, ha ocasionado un proceso de abandono de las prácticas agrícolas.

Según García-Ruiz et al., (1991), hay tres procesos fundamentales que interactúan tras el abandono de las prácticas agrícolas en zonas de montaña: 1) la colonización con especies naturales que depende del clima y también del grado de degradación del suelo inducido por el tipo de uso y manejo agrícola, 2) el proceso de erosión debido a la falta de protección del suelo y la alteración de sus propiedades hidrofísicas e hidrológicas, y 3) el tipo de uso y manejo de estas zonas tras el abandono (ej. pastoreo, incendios, etc.).

El grado de degradación del suelo, inducido por el laboreo y la intensidad del proceso de erosión en las zonas de agricultura marginal, depende del entorno climático y geomorfológico. El laboreo degrada las propiedades físicas y químicas del suelo, aumenta su erosionabilidad (López-Bermúdez, 1994; Llorens y Gallart, 1992; Ruiz-Flaño et al., 1992), y esta degradación aumenta las pérdidas por erosión tanto más cuanto mayor es la agresividad climática (Boix-Fayos et al., 1995; Boix-Fayos et al., 1996; Molina et al., 1999) y cuanto menos complejo, estructurado y organizado está el agroecosistema (Imeson, 2002). Los sistemas tradicionales de terrazas para la conservación del suelo y del agua en zonas de montaña mediterráneas, favorecen el mantenimiento de la mencionada organización en las laderas y así es actualmente reconocido en el ámbito científico europeo (ej. Roose, 2002; Reynés et al., 2002). En este tipo de entorno geomorfológico, cuando el laboreo cesa y no hay impactos antrópicos adicionales tras el abandono, se inicia el proceso de colonización vegetal, así como el control de la erosión (ej., Francis y Thornes, 1990) y la recuperación de la calidad del suelo (Pardini et al., 2002).

Los cambios en la calidad del suelo tras el abandono pueden cuantificarse en función de las variaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (ej. Schipper y Sparling, 2000; Chan et al., 2001), y la cuantificación de estas variaciones puede utilizarse para analizar la evolución del agroecosistema.

La presencia de terrazas con distinta edad de abandono es una característica común en las zonas de montaña del interior de la Comunidad Valenciana. Sin embargo, los estudios acerca de la evolución de los suelos en este tipo de sistemas agrarios tras el abandono son escasos, y se desconoce el tiempo que ha de transcurrir para que el agrosistema recupere las características y funciones del suelo original.

En este capítulo se estudian las características de los suelos en las terrazas marginales de la sierra de Cocoll al norte de la provincia de Alicante, realizando un análisis de la influencia de la edad de abandono de las prácticas agrícolas en los cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el fin de evaluar el tiempo necesario tras el abandono para la recuperación de la calidad del suelo agrícola a niveles similares a los del suelo natural no cultivado.

El área de estudio presenta numerosas laderas abancaladas reconstruidas hace unos 110-150 años. Los bancales han ido sufriendo un proceso evolutivo de abandono. Las partes

altas de las laderas no fueron nunca cultivadas y conservan el suelo y la vegetación natural. Las propiedades de los suelos en este entorno han sido consideradas como punto de referencia de las condiciones originales de suelo y vegetación. Los bancales abandonados más antiguos ( $\geq 60$  años) se localizan en las partes de la ladera media y media-baja. Entre 15 y 45 años se abandonaron los bancales de la parte inferior y de los fondos de valle. Y el resto se abandonó en los últimos 15 años, a excepción de algunas parcelas en las que todavía se cultivaban cereales hace  $\leq 5$  años. La edad de abandono se ha determinado de forma aproximada, por referencias de los propietarios y a partir de resultados de investigación anteriores obtenidos en la zona (Corell, 1998). El tipo de especies vegetales dominantes en los bancales se ha determinado por reconocimiento directo en el campo, mientras que el porcentaje de cobertura vegetal se ha estimado por observación de la abundancia de herbáceas, la proyección de la parte aérea de las especies arbóreas y de matorral sobre el suelo, y posterior comparación de la superficie total cubierta con los diagramas de la guía FAO para el contenido de fragmentos rocosos del suelo.

En la cuenca de estudio se seleccionaron 13 perfiles de suelo representativos de las terrazas existentes con distintas edades de abandono, a continuación se realizó una descripción de los mismos, y finalmente se analizaron las propiedades de los distintos horizontes del suelo. Concretamente se procedió al estudio de sus propiedades **físicas** [curva característica de humedad, textura, estructura (macroagregación y microagregación)], propiedades **químicas** [pH, conductividad eléctrica, carbonatos, macronutrientes (nitrógeno y fósforo), bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio), C.I.C., materia orgánica total, relación C/N, composición de la materia orgánica (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina)], y propiedades **biológicas** (población de artrópodos), al objeto de ser comparadas con las propiedades del suelo en estado natural (no cultivado).

#### 4.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO DE LA CUENCA

Siguiendo la metodología establecida se describieron los 13 perfiles de suelo seleccionados, los cuales se encuentran distribuidos por las zonas sur, centro y norte de la cuenca objeto de estudio.

## a) Perfiles. Zona SUR:

Tabla 4.30. Características macromorfológicas del perfil Entrada de la zona sur (SAC-S-P1).


PERFIL: SAC-S-P1 <u>ENTRADA</u>		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales abandonados junto a pista que sube al aeropuerto. Bancal más próximo a la carretera de arriba, zona con elevada cobertura de plantas aromáticas naturales.</li> <li>• <b>Exposición:</b> Todas.</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 859 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> Matojar con matorral de porte alto con abundancia de <i>Rosmarinus officinalis</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Bien drenado (clase 1).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (30%). Abundantes gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Sin rocas (0%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antigua antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Calcisol háplico (CLh).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-10 (variable)	Color pardo oscuro (10YR 3/2) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura de grado fuerte, clase mediana y tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Elevada actividad biológica. Pocas raíces finas acompañadas de pequeñas ramitas. Límite gradual y ondulado.
Bw	10-22 (variable)	Color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura de grado fuerte, clase mediana y tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Elevada actividad biológica. Pocas raíces finas acompañadas de pequeñas ramitas. Límite gradual y ondulado.
Bc	+22	Color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura fuerte, de clase mediana y tipo granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Escasa actividad biológica. Algunas raíces finas.

Tabla 4.31. Características macromorfológicas del perfil Campo Arriba de la zona sur (SAC-S-P2).

**PERFIL: SAC-S-P2 CAMPO ARRIBA****CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS**

- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales abandonados junto a pista que sube al aeropuerto. Bancal de arriba junto cultivo de plantas aromáticas.
- **Exposición:** Todas.
- **Coordenadas:** 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 861 m.
- **Posición fisiográfica:** Llano. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (2%).
- **Pendiente:** 2%.
- **Vegetación o uso:** Matojar con matorral de porte bajo (*Brachypodium retusum*, *Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Inula viscosa*).
- **Material original:** Coluvial y sedimentos del mioceno.
- **Drenaje:** Bien drenado (clase 1).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida.
- **Pedregosidad:** Pedregoso (30%). Gravas y piedras en superficie algunas embebidas en el suelo.
- **Afloramientos rocosos:** Sin rocas (0%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antigua antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola abandonado.
- **Clasificación:** Calcisol háplico (CLh).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-10 (variable)	Color pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en seco. Textura franco- arcillosa. Estructura fuerte, fina y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia en seco es dura y en húmedo firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Moderada actividad biológica. Muy pocas raíces finas. Límite gradual y ondulado.
A/B	10-26	Color pardo oscuro (10YR 3/3) en seco. Textura franco-limosa. Estructura fuerte, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Abundante actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual y ondulado.
Bt	26-40	Color rojo amarillento (10YR 5/6) en seco. Textura franca. Estructura fuerte, mediana y tipo granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Escasa actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual y ondulado.
B/C	+40	Color pardo muy claro (10YR 7/3) en seco. Textura franco-arenosa. Estructura fuerte, mediana y tipo granular. Consistencia firme. Abundancia de poros finos y continuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Muy pocos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Presencia de raíces finas.

Tabla 4.32. Características macromorfológicas del perfil Aliagas de la zona sur (SAC-S-P3).



PERFIL: SAC-S-P3 <u>ALIAGAS</u>		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocol.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales abandonados. Bancal cubierto de aliagas.</li> <li>• <b>Exposición:</b> SE.</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 867 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> Matojar y matorral con predominio de <i>Ulex parviflorus</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno junto con afloramientos de calizas del Cretácico superior.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Bien drenado (clase 1).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Muy pedregoso (40%). Gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Algunas rocas (5%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antigua antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Calcisol háplico (CLh).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-12 (variable)	Color pardo (10YR 5/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte, mediana y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia es firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza (30% piedras). Escasos nódulos de carbonato cálcico. Fuertemente calcáreo (55% de $\text{CO}_3^{2-}$ ). Sin rasgos humanos. Moderada actividad biológica. Algunas raíces finas (1,79%). Límite gradual y ondulado.
Bk	12-30	Color pardo claro (10YR 5/3) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Abundantes fragmentos rocosos (23% piedras) de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Se observan algunos nódulos de carbonato cálcico. Fuertemente calcáreo (58% de $\text{CO}_3^{2-}$ ). Sin rasgos humanos. Abundante actividad biológica, se observan hormigas y algunas lombrices. Pocas raíces finas. Límite gradual e irregular.
C	+30	Color pardo claro (10YR 6/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte de tipo laminar. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza (13% piedras). Pocos nódulos de carbonato cálcico (5%). Capa cementada. Fuertemente calcáreo (58% de $\text{CO}_3^{2-}$ ). Elevada actividad biológica. Muy pocas raíces muy finas.

Tabla 4.33. Características macromorfológicas del perfil Carrasca de la zona sur (SAC-S-P4).

PERFIL: SAC-S-P4      CARRASCA		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales abandonados. Perfil bajo carrascal.</li> <li>• <b>Exposición:</b> SE.</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38º 44' 20" Lat. N 3º 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 866 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>rotundifolia</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno junto con afloramientos de calizas del Cretácico superior, localizadas en punto en el cual se toma el perfil.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Bien drenado (clase 1).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Muy pedregoso (40%). Gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos:</b> Rocosos algunas rocas (5%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antigua antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Leptosol eútrico (LPe).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ah	0-9 (variable)	Color negro (10YR 2/1) en seco. Textura franca. Estructura fina, granular. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable. Muy abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Débilmente calcáreo. Sin rasgos humanos. Muy elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas (3%). Límite brusco e interrumpido con la roca caliza.
R	+9	Roca caliza consolidada.



## b) Perfiles. Zona CENTRO:

Tabla 4.34. Características macromorfológicas del perfil Final de la zona centro (SAC-C-P1).

PERFIL: SAC-C-P1 FINAL		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales abandonados en el centro del valle, al final de los antiguos cultivos.</li> <li>• <b>Exposición:</b> Centro (todas).</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38° 44' 20" Lat. N 3° 32 '00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 834 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> Matojar. Escasa cobertura con predominio de <i>Brachypodium retusum</i>, <i>Cistus albidus</i>, <i>Pinus halepensis</i> y <i>Quercus cocciferae</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Moderadamente bien drenado (clase 2).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Sin piedras (5%). Escasas gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Ninguna roca (0%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Calcisol háplico (CLh).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-12 (variable)	Color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco. Textura franco-arcillo-arenosa. Estructura suelta, fina y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Firme en seco. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Antigua antropización. Abandono de cultivos. Pocas raíces muy finas. Límite gradual y ondulado.
Bt <sub>1</sub>	12-30	Color pardo (10YR 5/3) en seco. Textura franca. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Se observan algunos nódulos de carbonato cálcico. No calcáreo. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual y ondulado.
Bt <sub>2</sub>	+30	Color rojo amarillento oscuro (10YR 4/6) en seco. Textura franca. Estructura fuerte en bloques subangulares que se resuelve en granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. No calcáreo. Escasa actividad biológica. Muy pocas raíces muy finas.

Tabla 4.35. Características macromorfológicas del perfil Almendros de la zona centro (SAC-C-P2).

**PERFIL: SAC-C-P2 ALMENDROS****CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS**

- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales semiabandonados en el centro del valle, con antiguos cultivos de almendros que todavía se conservan. Se eliminaron cantos y gravas amontonando en los laterales del campo.
- **Exposición:** Centro (todas).
- **Coordenadas:** 38º 44' 20" Lat. N 3º 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 820 m.
- **Posición fisiográfica:** Llano. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (2%).
- **Pendiente:** 2%.
- **Vegetación o uso:** Matojar. Escasa cobertura con predominio de *Brachypodium retusum*, *Cistus albidus* y otras especies arvenses.
- **Material original:** Coluvial y sedimentos del mioceno sobre materiales arcillosos.
- **Drenaje:** Moderadamente bien drenado (clase 2).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida.
- **Pedregosidad:** Sin piedras (10%). Escasas gravas y piedras en superficie.
- **Afloramientos rocosos:** Ninguna roca (0%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola semiabandonado. En la actualidad se mantienen almendros.
- **Clasificación:** Luvisol crómico (LVx).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-10 (variable)	Color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco. Textura franca. Estructura suelta, fina y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia es firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Se observa extracción de piedras amontonadas en los laterales de la parcela. Moderada actividad biológica. Abundantes raíces finas y muy finas. Límite gradual y ondulado.
Bt <sub>1</sub>	10-33	Color pardo (10YR 5/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No calcáreo. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Abundantes raíces finas. Límite gradual y ondulado.
Bt <sub>2</sub>	+33	Color (10YR 5/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte en bloques subangulares que se resuelve en granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. No calcáreo. Escasa actividad biológica. Muy pocas raíces muy finas.

Tabla 4.36. Características macromorfológicas del perfil Tarde de la zona centro (SAC-C-P3).


PERFIL: SAC-C-P3 <u>TARDE</u>		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales abandonados. Zona de paso de aguas, estrechamiento de bancales bajo peñón.</li> <li>• <b>Exposición:</b> Centro (todas).</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38º 44' 20" Lat. N 3º 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 849 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> Matojar. Escasa cobertura con predominio de <i>Brachypodium retusum</i>, <i>Cistus albidus</i> y <i>Ulex parviflorus</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno sobre materiales arcillosos.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Moderadamente bien drenado (clase 2).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Sin piedras (10%). Escasas gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Ninguna roca (0%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Calcisol háplico (CLh).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-8 (variable)	Color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco. Textura franca. Estructura suelta, fina y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia es firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Moderada actividad biológica. Algunas raíces muy finas. Límite gradual y ondulado.
Bw	8-18	Color pardo oscuro (10YR 3/3) en seco. Textura franco-arenosa. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Se observan algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual e plano.
BC	+18	Color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte en bloques subangulares que se resuelve en granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. No calcáreo. Escasa actividad biológica.

Tabla 4.37. Características macromorfológicas del perfil Campo Abajo de la zona centro (SAC-C-P4).

**PERFIL: SAC-C-P4 CAMPO ABAJO****CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS**

- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales semiabandonados en zona baja, bajo cultivos de aromáticas.
- **Exposición:** Todas.
- **Coordenadas:** 38º 44' 20" Lat. N 3º 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 867 m.
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (2%).
- **Pendiente:** 2%.
- **Vegetación o uso:** Matojar con escaso matorral, predominando *Cistus albidus*, *Ulex parviflorus* y *Juniperus oxycedrus*.
- **Material original:** Coluvial y sedimentos del mioceno junto con afloramientos de calizas del Cretácico superior.
- **Drenaje:** Bien drenado (clase 1).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida.
- **Pedregosidad:** Muy pedregoso (40%). Gravas y piedras en superficie.
- **Afloramientos rocosos:** Algunas rocas (5%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antigua antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola semiabandonado.
- **Clasificación:** Luvisol crómico (LVx).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-15 (variable)	Color (10YR 4/4) en seco. Textura franco-arcillo-limosa. Estructura fuerte, de mediana a gruesa y granular. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia es muy firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Pocos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Ligeramente calcáreo. Antigua antropización, se observan zonas de acumulación de piedras y gravas extraídas del bancale. En un extremo se observa carrasca aislada de antiguo cultivo. Moderada actividad biológica. Escasas raíces finas. Límite gradual y difuso.
Bt <sub>1</sub>	15-32	Color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura muy fuerte, gruesa, de tipo granular. Adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros muy finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Pocos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, rodados de naturaleza caliza. Sin nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Muy escasa actividad biológica, algunas lombrices. Pocas raíces muy finas. Límite gradual y difuso.
Bt <sub>2</sub>	+32	Color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura muy fuerte de tipo granular. Consistencia firme en húmedo y muy duro en seco. Muy pocos poros muy finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Pocos fragmentos rocosos (5-10%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Sin nódulos de carbonato cálcico (5%). Escasa actividad biológica. Muy pocas raíces finas.

Tabla 4.38. Características macromorfológicas del perfil Bañeras de la zona centro (SAC-C-P5).

PERFIL: SAC-C-P5 <u>BAÑERAS</u>		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Bancales semiabandonados en zona norte del valle, ocasionalmente se han labrado dichos bancales.</li> <li>• <b>Exposición:</b> Oeste.</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 863 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Llano. Terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (2%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 2%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> Matojar. Escasa cobertura con predominio de <i>Brachypodium retusum</i>, <i>Cistus albidus</i> y otras especies arvenses.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y sedimentos del mioceno sobre materiales arcillosos.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Moderadamente bien drenado (clase 2).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Sin piedras (10%). Escasas gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Ninguna roca (0%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola semiabandonado. En alguna época se ha cultivado cereal para favorecer la caza.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Luvisol cálcico (LVk) sobre antiguo depósito arcilloso.</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-15 (variable)	Color pardo (10YR 5/3) en seco. Textura Franca. Estructura suelta, fina y granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Su consistencia es firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Moderada actividad biológica. Algunas raíces muy finas. Límite gradual y ondulado.
Btk	15-35 cm	Color pardo oscuro grisáceo (2,5Y 4/2) en seco. Textura franca. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. No adherente, no plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Se observan algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual y plano.
2Bt	+35 cm	Color pardo oscuro grisáceo (2,5Y 5/4) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte en bloques subangulares que se resuelve en granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Frecuentes fragmentos rocosos (25%) de tamaño grava y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Débilmente calcáreo. Escasa actividad biológica, se observan lombrices. Muy pocas raíces muy finas. A pesar de la época estival el suelo se encuentra húmedo en profundidad. Se observan grietas de fricción y cutanes escasos y pequeños.

## c) Perfiles. Zona NORTE:

Tabla 4.39. Características macromorfológicas del perfil Grietas de la zona norte (SAC-N-P1).

PERFIL: SAC-N-P1 GRIETAS

## CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales abandonados en zona norte del valle.
- **Exposición:** Norte.
- **Coordenadas:** 38º 44' 20" Lat. N 3º 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 864 m.
- **Posición fisiográfica:** Llano. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (5%).
- **Pendiente:** 5%.
- **Vegetación o uso:** Matojar. Elevada cobertura con predominio de *Brachypodium retusum*, *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia*, *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus*.
- **Material original:** Margas y arcillas.
- **Drenaje:** Moderadamente imperfectamente drenado (clase 5).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Escasos metros.
- **Pedregosidad:** Sin piedras (10%). Escasas gravas y piedras en superficie.
- **Afloramientos rocosos:** Ninguna roca (0%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola abandonado.
- **Clasificación:** Luvisol cálcico (LVk).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ap	0-15 (variable)	Color pardo ligeramente amarillento (10YR 6/4) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura mediana y granular. Adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco. Su consistencia es firme. Frecuentes poros finos, discontinuos, caóticos. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza (4%). Algunos nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Sin rasgos humanos. Elevada actividad biológica. Pocas raíces muy finas, finas y medianas. Límite gradual y ondulado.
A/B	15-35	Color pardo claro (10 YR 6/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. Adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro o muy duro en seco. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. Moderada reacción al clorhídrico. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite gradual e irregular.
Bt <sub>1</sub>	35-65	Color pardo claro (10 YR 6/3) en seco. Textura arcillosa. Estructura fuerte, gruesa, de tipo granular. Adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Abundantes poros muy finos, discontinuos, caóticos. Escasos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Débil reacción al clorhídrico. Sin rasgos humanos. Escasa actividad biológica. Sin raíces. Límite gradual e plano.
Bt <sub>2</sub>	+65	Color pardo claro (10 YR 6/4) en seco. Textura arcillosa. Estructura fuerte en bloques subangulares que se resuelve en granular. Consistencia firme en húmedo y duro en seco. Pocos poros finos, discontinuos, caóticos. Pocos fragmentos rocosos (5%) de tamaño piedra y pedregón y formas angulares, no alterados de naturaleza caliza. No se observan nódulos de carbonato cálcico. Calcáreo. Escasa actividad biológica. Sin raíces. A pesar de la época estival el suelo se encuentra húmedo en profundidad. Se observan grietas de fricción y cutanes escasos y pequeños.

Tabla 4.40. Características macromorfológicas del perfil Carrasca Alta de la zona norte (SAC-N-P2).

**PERFIL: SAC-N-P2 CARRASCA ALTA****CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS**

- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales abandonados en ladera norte.
- **Exposición:** NE.
- **Coordenadas:** 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 890 m.
- **Posición fisiográfica:** Llano. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (2%).
- **Pendiente:** 2%.
- **Vegetación o uso:** *Quercus cocciferae*.
- **Material original:** Margas y calizas del Cretácico.
- **Drenaje:** Bien drenado (clase 1).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida.
- **Pedregosidad:** Muy pedregoso (60%). Gravas y piedras en superficie.
- **Afloramientos rocosos:** Algunas rocas (2%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antigua antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola abandonado.
- **Clasificación:** Leptosol eútrico (LPe).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ah <sub>1</sub>	0-7	Color pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en seco. Textura arcillosa. Estructura fina, granular. No adherente, ligeramente plástico, friable. Muy abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. No calcáreo. Sin rasgos humanos. Elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas. Límite irregular.
Ah <sub>2</sub>	7-12 (variable)	Color pardo oscuro (10YR4/3) en seco. Textura arcillo-limosa. Estructura granular. No adherente, ligeramente plástico, friable. Muy abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. No calcáreo. Sin rasgos humanos. Muy elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas. Límite brusco e interrumpido con la roca caliza.
R	+12	Roca caliza consolidada.

Tabla 4.41. Características macromorfológicas del perfil Carrasca Baja de la zona norte (SAC-N-P3).

**PERFIL: SAC-N-P3 CARRASCA BAJA****CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS**


- **Localidad:** Castell de Castells. Plà de Cocoll.
- **Situación bancales:** Bancales abandonados en base ladera norte.
- **Exposición:** NE.
- **Coordenadas:** 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.
- **Altitud:** 890 m.
- **Posición fisiográfica:** Llano. Terraza.
- **Topografía:** Terraza (2%).
- **Pendiente:** 2%.
- **Vegetación o uso:** *Quercus cocciferae*.
- **Material original:** Coluvial y sedimentos del mioceno.
- **Drenaje:** Bien drenado (clase 1).
- **Condiciones de humedad campo.**
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida.
- **Pedregosidad:** Muy pedregoso (40%). Gravas y piedras en superficie.
- **Afloramientos rocosos:** Algunas rocas (5%).
- **Erosión hídrica:** Intensa erosión laminar.
- **Influencia humana:** Antigua antropización.
- **Clima:** Subhúmedo.
- **Uso:** Agrícola abandonado.
- **Clasificación:** Leptosol lítico (LPq).



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ah	0-10 (variable)	Color pardo oscuro (10YR4/3) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura fina, granular. No adherente, no plástico, friable. Muy abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. No calcáreo. Sin rasgos humanos. Muy elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas. Límite brusco e interrumpido con la roca caliza.
R	+10	Roca caliza consolidada.



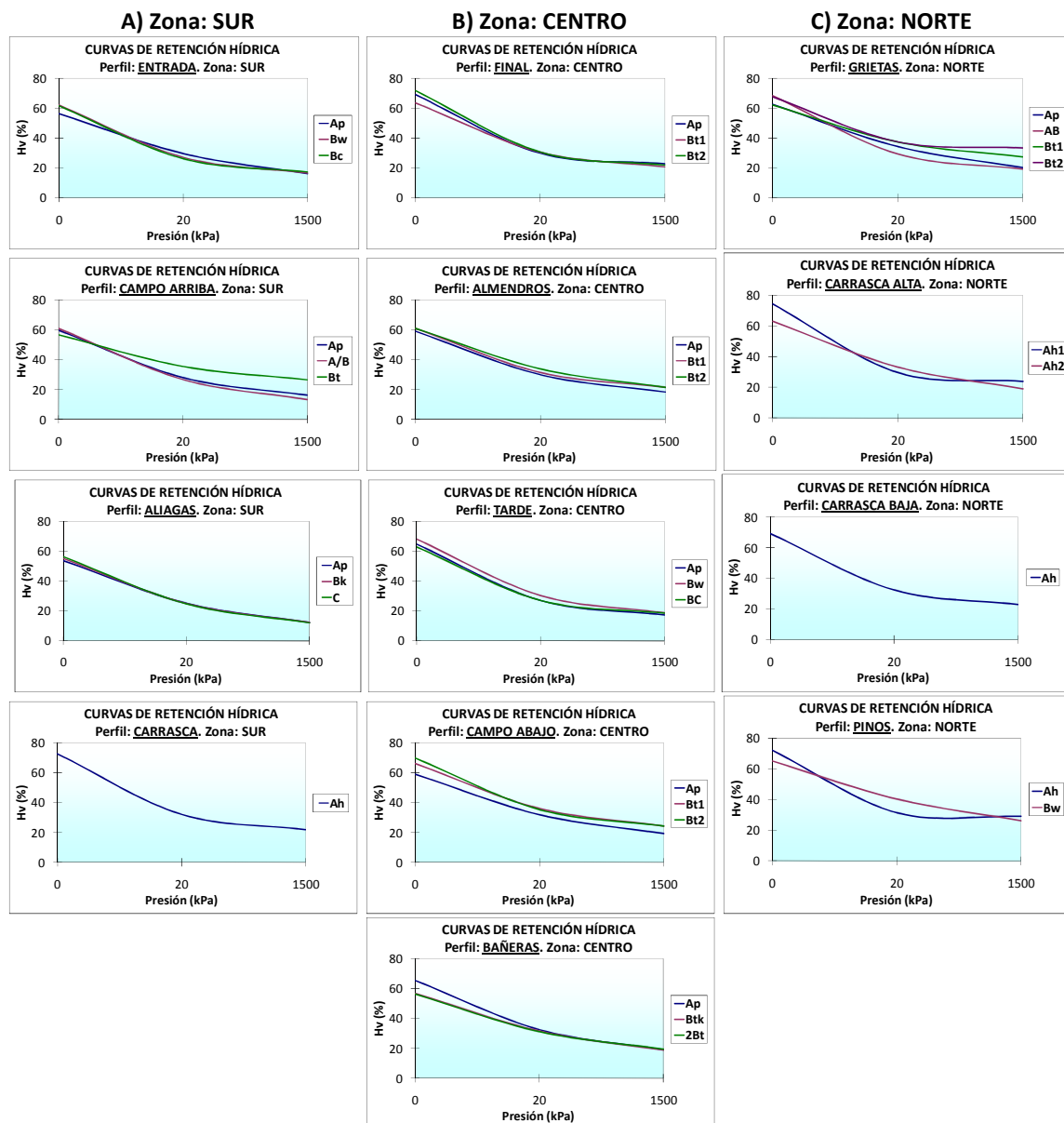
Tabla 4.42. Características macromorfológicas del perfil Pinos de la zona norte (SAC-N-P4).

PERFIL: SAC-N-P4 PINOS		
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Localidad:</b> Castell de Castells. Plà de Cocoll.</li> <li>• <b>Situación bancales:</b> Zona de pinar desarrollado sobre muy antiguos bancales abandonados.</li> <li>• <b>Exposición:</b> N.</li> <li>• <b>Coordenadas:</b> 38° 44' 20" Lat. N 3° 32' 00" Log. W.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 892 m.</li> <li>• <b>Posición fisiográfica:</b> Ladera convexa. Antigua terraza.</li> <li>• <b>Topografía:</b> Terraza (3%).</li> <li>• <b>Pendiente:</b> 5%.</li> <li>• <b>Vegetación o uso:</b> <i>Pinus halepensis</i> y matorral de <i>Brachypodium retusum</i>.</li> <li>• <b>Material original:</b> Coluvial y margas junto con afloramientos de calizas del Cretácico superior.</li> <li>• <b>Drenaje:</b> Bien drenado (clase 1).</li> <li>• <b>Condiciones de humedad campo.</b></li> <li>• <b>Profundidad de la capa freática:</b> Desconocida.</li> <li>• <b>Pedregosidad:</b> Muy pedregoso (30%). Abundantes gravas y piedras en superficie.</li> <li>• <b>Afloramientos rocosos:</b> Algunas rocas (5%).</li> <li>• <b>Erosión hídrica:</b> Intensa erosión laminar.</li> <li>• <b>Influencia humana:</b> Muy antigua antropización.</li> <li>• <b>Clima:</b> Subhúmedo.</li> <li>• <b>Uso:</b> Agrícola abandonado con repoblación natural de pinos.</li> <li>• <b>Clasificación:</b> Calcisol háplico (CLh).</li> </ul>		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción morfológica
Ah	0-7 (variable)	Color gris muy oscuro (5 YR 3/1) en seco. Textura franca. Estructura fina, granular. No adherente, no plástico, friable. Abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Escasos fragmentos rocosos (4%) de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Débilmente calcáreo. Sin rasgos humanos. Elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas y medianas, raíces gruesas de los pinos. Límite gradual y ondulado.
Bw	7-15	Color gris muy oscuro (5YR 3/1) en seco. Textura Arcillosa. Estructura fina, granular. No adherente, no plástico, friable. Muy abundantes poros finos, discontinuos, caóticos y tubulares. Muy abundantes fragmentos rocosos (8%) de tamaño grava, angulosos y redondeados, no alterados de naturaleza caliza. Ligeramente calcáreo. Sin rasgos humanos. Muy elevada actividad biológica. Abundantes raíces finas. Límite gradual e irregular.
R	+15	Margas.

## 4.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PERFILES DE SUELO DE LA CUENCA

### 4.2.2.1. CURVAS DE RETENCIÓN HÍDRICA

Los resultados obtenidos del contenido de agua retenida por las muestras de suelo en los diferentes horizontes pertenecientes a los perfiles estudiados, se muestran en la figura 4.99. Para la interpretación de dichos datos se ha tenido en cuenta que la cantidad de agua retenida a valores de succión bajos ( $pF$  entre 0-20 kPa) es el agua gravitacional, que drena rápidamente porque está retenida a muy baja tensión y depende ante todo de la estructura del suelo, es decir del efecto capilar, de la distribución por tamaños de los sistemas de poros y sus interconexiones. La textura del suelo, en cambio, tiene un efecto indirecto en el rango de succiones bajas, siendo directo en el de succiones altas.



**Figura 4.99.** Humedad volumétrica en los diferentes horizontes correspondientes a cada uno de los perfiles estudiados en la cuenca, ubicados en las distintas zonas A) Zona sur, B) Zona centro, y C) Zona norte, tras someter dichas muestras a presiones de 0, 20 y 1.500 kPa.

- **Agua gravitacional (presión de 0-20 kPa).** En los resultados se observa una relación con la estructura del suelo de manera que:
  - \* **Zona sur.** El perfil Carrasca es el que presenta mayor macroporosidad, con valores elevados de humedad volumétrica a presión de 0 a 20 kPa. Para el perfil Entrada la mayor cantidad de macroporos está en el horizonte Bw, disminuyendo en Bc y Ap. En el perfil Campo Arriba se observa un porcentaje de macroporos ligeramente mayor en el horizonte A/B que en los horizontes Ap y Bt. El perfil Aliagas es en el que existe menor porcentaje de humedad y pocas diferencias entre sus horizontes, al igual que en el porcentaje de macroporos (horizonte C > Bk > Ap).
  - \* **Zona centro.** En el perfil Final el horizonte Bt<sub>2</sub> presenta los mayores valores de humedad volumétrica, siendo este horizonte el que contiene una cantidad de macroporos superior al resto de horizontes. En los perfiles Almendros y Tarde se observa una mayor cantidad de macroporos en el horizonte Bt<sub>2</sub> y en el Bw, respectivamente, frente al Ap. Mientras que en el perfil Campo Abajo, el horizonte que manifiesta tener una mayor cantidad de macroporos es el Bt<sub>2</sub>, seguido del Bt<sub>1</sub> y el Ap. Por último en el perfil Bañeras, la mayor cantidad de macroporos está en el horizonte Ap, con grandes diferencias en el porcentaje de humedad volumétrica respecto a los otros dos horizontes, entre los que el Btk presenta un contenido en macroporos ligeramente superior al horizonte 2Bt.
  - \* **Zona norte.** El perfil Grietas manifiesta tener una estructura con mayor presencia de macroporos en el horizonte Bt<sub>2</sub>. Mientras que en el perfil Carrasca Alta, es el horizonte superficial (Ah<sub>1</sub>) el de mayor macroporosidad. El perfil Carrasca Baja tan sólo dispone del horizonte Ah, y presenta valores de humedad inferiores a los obtenidos en el perfil Carrasca Alta a esta presión. Finalmente, en el perfil Pinos se observa también una mayor cantidad de macroporos en el horizonte superficial Ah que en el Bw.
- **Humedad a la presión de 20-1500 kPa.** En los valores obtenidos se observa una relación con la textura del suelo:
  - \* **Zona sur.** En el perfil Carrasca, con un horizonte Ah y alto contenido de arcilla, la mayor parte del agua acumulada se encuentra fuertemente retenida por las arcillas y microporos, disponiendo de poca cantidad de agua útil. En los perfiles Campo Arriba (horizonte Bt) y Entrada (horizonte Ap), debido a una mayor concentración de arcillas se obtiene un elevado porcentaje de humedad. Mientras que en el perfil Aliagas, los valores de la humedad volumétrica obtenidos en los tres horizontes son muy similares, correspondiéndose con apenas diferencias en la cantidad de arcilla.
  - \* **Zona centro.** En el perfil Final el horizonte con mayor contenido en humedad es el Ap, a la vez que es el que mayor cantidad de la fracción arcilla presenta, siendo estos elementos minerales primarios los que mayor cantidad de agua son capaces de retener, por poseer fuerzas de absorción más intensas. Mientras que en el perfil Tarde, el horizonte Bw presenta mayor porcentaje de humedad volumétrica coincidiendo con una textura arcillosa. En los horizontes Bt con elevados contenidos de arcilla (perfiles Almendros, Campo Abajo y Bañeras), obtenemos mayores valores del contenido de humedad a esta presión.
  - \* **Zona norte.** Tanto en los horizontes Bt del perfil Grietas como en el Bw del perfil Pinos, el elevado contenido de arcilla junto a la mayor presencia de microporos, ocasionan un aumento del porcentaje de humedad volumétrica. En los perfiles Carrasca Alta y

Carrasca Baja, únicamente con los horizontes Ah, los valores de este parámetro disminuyen.

La figura 4.100 presenta los valores medios obtenidos de humedad volumétrica correspondiente a la capacidad de campo (presión de 20 kPa), punto de marchitamiento (presión de 1500 kPa), así como de agua útil (diferencia entre la humedad volumétrica de la C.C. y el P.M.).

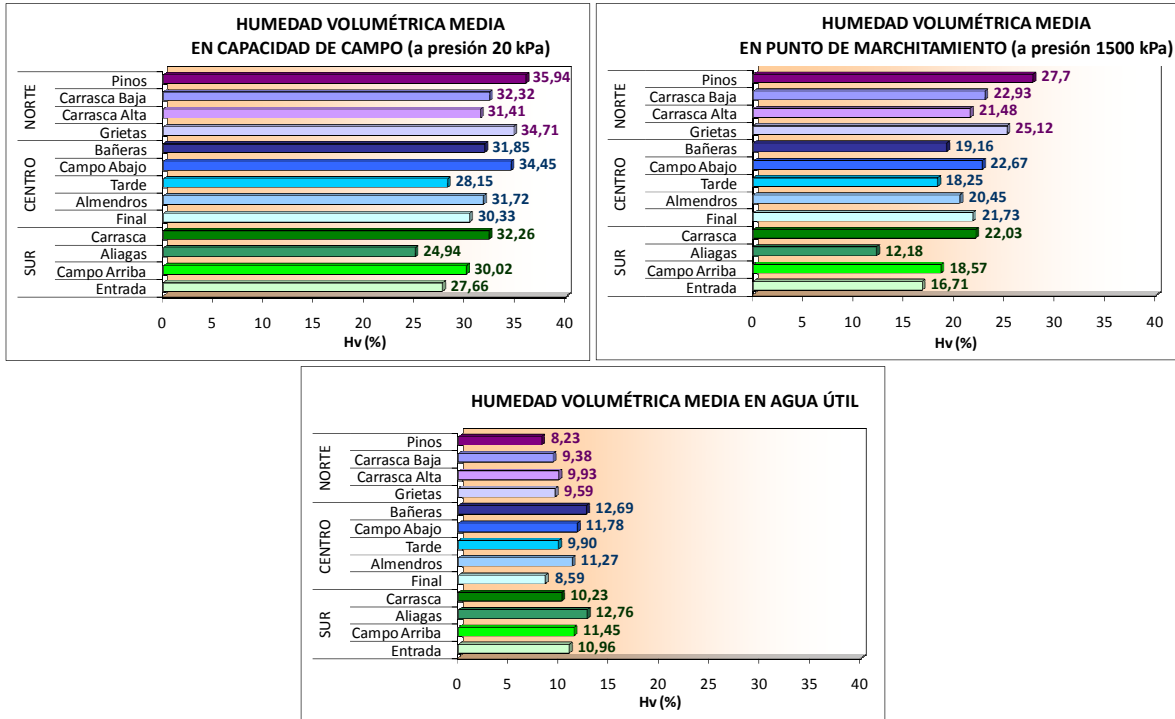


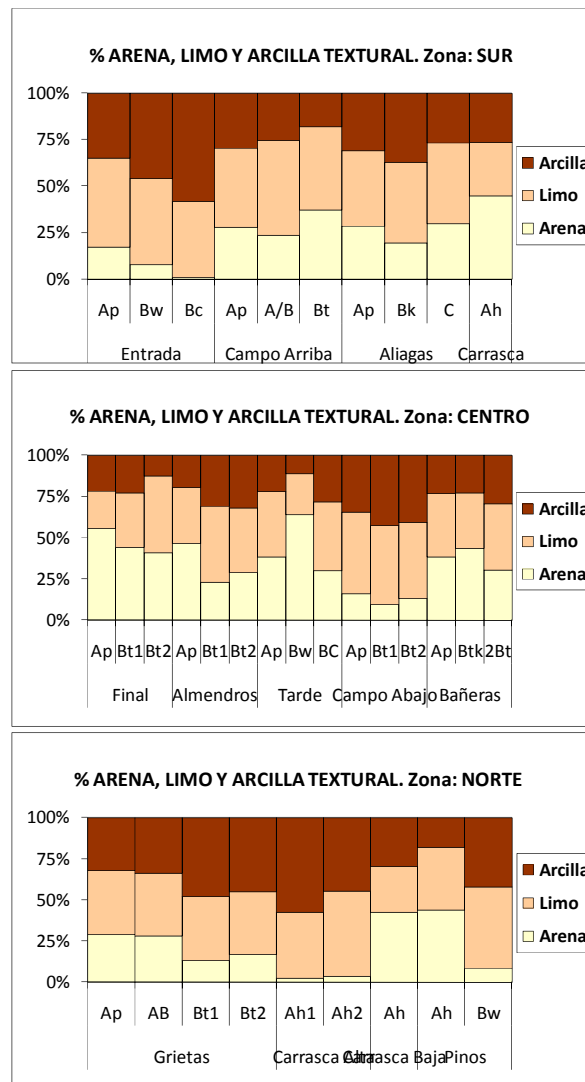
Figura 4.100. Contenidos medios de humedad volumétrica en capacidad de campo (a presión 20 kPa), en punto de marchitamiento (a presión 1500 kPa) y en agua útil, obtenidos en los diferentes perfiles analizados.

Los contenidos medios mayores de humedad volumétrica (C.C. y P.M.) se encuentran en los perfiles Pinos y Grietas de la zona norte. Mientras que se obtienen los valores medios más bajos en la C.C. y el P.M. en los perfiles Aliagas y Entrada, ambos ubicados en la zona sur.

Los porcentajes más altos de agua útil se obtienen en la zona sur en el perfil Aliagas (12,76%), y en el perfil Bañeras (12,69%) perteneciente a la zona centro. Mientras que los menores contenidos de agua útil se obtienen en el perfil Pinos (8,23%) en la zona norte, y en perfil Final (8,59%) ubicado en la zona centro. En general, los perfiles situados en la zona sur son los que alcanzan los niveles medios más elevados de agua útil.

#### 4.2.2.2. TEXTURA

En el estudio de la textura de los perfiles se observa, en general, elevado contenido en arcilla para todas las zonas que se relaciona con una favorable agregación cuando las cantidades de materia orgánica son aceptables.



**Figura 4.101.** Variación porcentual de las partículas de suelo (arena, limo y arcilla textural) en los perfiles de la cuenca de estudio.

En la figura 4.101 se comparan los datos de los perfiles que conforman cada zona, obteniendo que en la zona norte las partículas menores de 2 micras (arcillas) se encuentran acumuladas en los horizontes más profundos al ser arrastradas con facilidad a capas más profundas, mientras que las partículas entre 50-100 micras, correspondientes a la fracción arena, se encuentran acumuladas en los horizontes superficiales.

El contenido en limo es similar para las tres zonas, no observándose apenas diferencias entre los distintos horizontes de cada perfil. Mientras que en los niveles de arena, se observan porcentajes más elevados en los perfiles ubicados en la zona centro, frente a los perfiles correspondientes a las zonas sur y norte, siendo en la zona centro donde en algunos horizontes se llegan a alcanzar contenidos superiores al 50% (horizonte Ap del perfil Final y horizonte Bw del perfil Tarde).

### 4.2.2.3. ESTRUCTURA. MACROAGREGACIÓN

#### 4.2.2.3.1. Distribución de macroagregados por tamaños

Los resultados del estudio de la distribución de macroagregados por tamaños se muestran en la figura 4.102, donde se observa que la mayor uniformidad en los resultados se obtiene para los perfiles de la zona centro, con una mayor proporción de agregados de gran tamaño de 10-5 mm (Campo Abajo y Tarde), y en general con bajos contenidos en macroagregados de tamaño menor de 2 mm (fracciones de 2-1 y <1 mm).

En la parte más baja de la ladera norte (perfiles Grietas y Pinos), la presencia de materiales margosos producen alto contenido en arcilla, que se relaciona con aumento de las fracciones de agregados grandes (10-5 mm) que se distribuyen de forma similar en sus horizontes, siendo en dichos perfiles donde se desarrollan horizontes Bt y Bw. Esta distribución se justifica por la elevada movilidad de las fracciones más finas.

En la zona sur, el perfil Aliagas es el único que presenta alta proporción de agregados de mayor tamaño (10-5 mm), frente al bajo contenido de esta fracción en el perfil Campo Arriba.

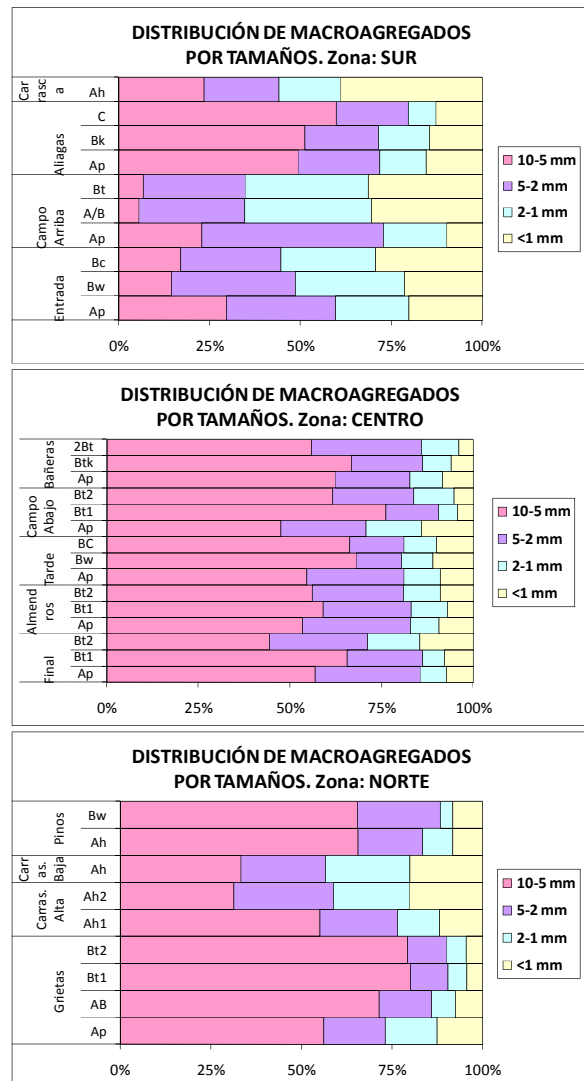
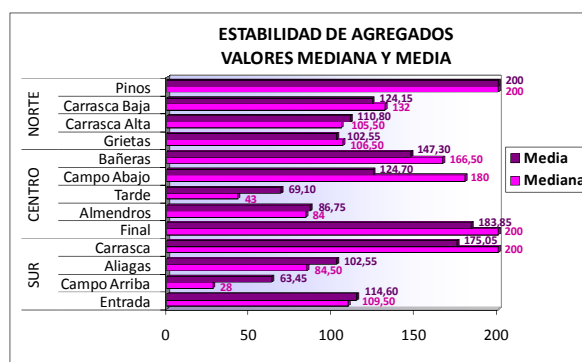


Figura 4.102. Distribución de macroagregados por tamaños de las muestras tomadas en los diferentes horizontes de los perfiles de la cuenca de estudio.

En los perfiles bajo carrasca con gran cantidad de materia orgánica fresca, con un marcado efecto mejorante de la macroagregación, no se aprecia dicho efecto de manera clara. Esto puede ser debido, como indican algunos autores (Cabria et al., 2001), a que la materia orgánica fresca produce una fase inicial en la que aumentan los agentes metabólicos cementantes asociados a su descomposición, lo cual tiene un efecto benéfico sobre la macroagregación, pero con el tiempo la continua descomposición disminuye algunas fracciones de la materia orgánica y la producción de agentes cementantes de origen biológico. En estas condiciones, al aplicar fuerzas disruptivas como las ejercidas por el tamizado o el humedecimiento, los centros de macroagregación se fracturan, colapsa la estructura de los macroagregados de gran tamaño, y se originan agregados de menores dimensiones y diferente estabilidad, lo cual justificaría nuestros resultados.

#### 4.2.2.3.2. Estabilidad de agregados (test de la gota)

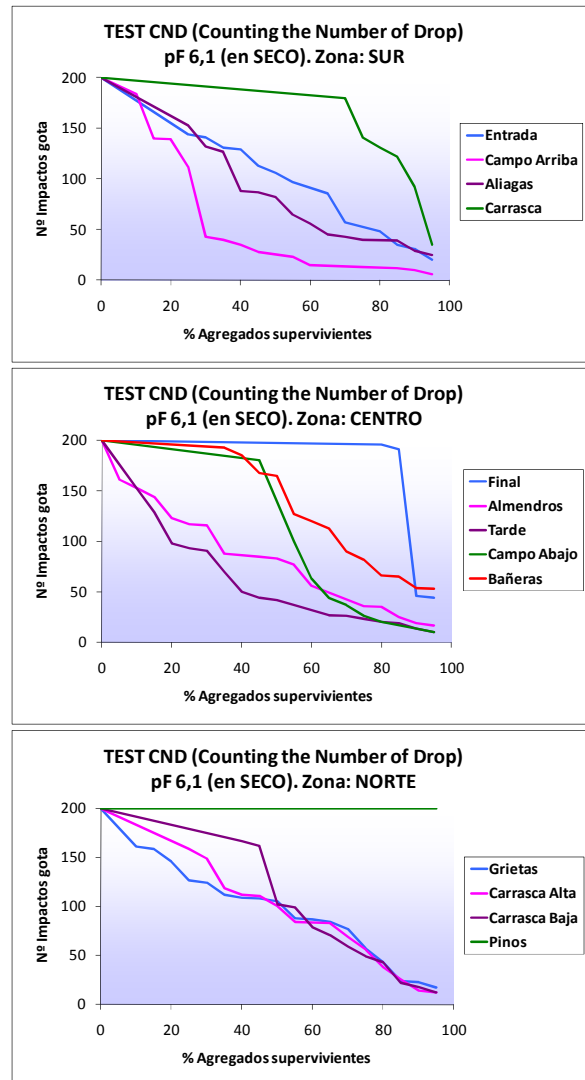
Los resultados del estudio de la estabilidad de macroagregados se muestran en las figuras 4.103 y 4.104, destacando tres perfiles que obtienen la mayor estabilidad de los agregados, Pinos (zona norte), Final (zona centro) y Carrasca (zona sur), donde se alcanzan valores de la mediana de 200 impactos de gota. Estos datos contrastan con los valores de la mediana inferiores a 50 impactos de gota obtenidos en los perfiles Tarde (zona centro) y Campo Arriba (zona sur).



**Figura 4.103.** Valores de la mediana y media en la estabilidad de agregados, obtenidos en los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca.

- \* **Zona sur.** La estabilidad estructural de los macroagregados de los perfiles de la zona sur respecto a valores de la mediana y media, resultan ser más elevados en el perfil Carrasca e inferiores en el perfil Campo Arriba. Esta mayor estabilidad parece estar relacionada con alta concentración de materia orgánica de horizontes minerales móllicos bien estructurados. En el perfil Entrada (segundo más estable) su cubierta vegetal le confiere un elevado nivel de materia orgánica, favorable para la formación de agregados resistentes. Los perfiles Aliagas y Carrasca con diferente uso en la antigüedad, muestran diferencias en su estabilidad dada la existencia en el segundo caso de un horizonte mineral con abundante contenido en materia orgánica (Ah), parámetro que influye favorablemente en la estabilidad de agregados.
- \* **Zona centro.** El perfil Final es el que presenta mayor estabilidad, mientras que la menor estabilidad se obtiene en el perfil Tarde. En el primer caso, la favorable cubierta vegetal de herbáceas aporta una mayor cantidad de materia orgánica, factor que mejora la formación de agregados y su estabilidad. La elevada edad de abandono (15-45 años) que le ha preservado de agentes erosivos mecánicos, junto a su situación

topográfica al fondo del valle (zona de acumulación de arcillas y materia orgánica), son características de gran relevancia claves para la formación y estabilidad de agregados. Con menor estabilidad que el anterior y en orden decreciente, el resto de perfiles (Bañeras, Campo Abajo y Almendros) poseen cobertura vegetal inferior junto a su actividad ganadera, y menor edad de abandono. En el perfil Tarde, sus agregados son los más inestables debido a su localización topográfica en una zona de paso de aguas, donde se produce el arrastre de partículas minerales primarias (arena, limo y arcilla), así como de compuestos orgánicos y cationes, que favorece la formación de agregados de menor tamaño a causa del rodamiento a que están sometidos, siendo por lo tanto los agregados más inestables.



**Figura 4.104.** Porcentaje de agregados supervivientes frente a nº impactos de gota, obtenidos en los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca.

\* **Zona norte.** Para esta zona los perfiles Pinos y Grietas son los de mayor y menor grado de estabilidad, respectivamente. La favorable cubierta vegetal arbórea del perfil Pinos relacionada con la elevada edad de abandono, eleva la materia orgánica que favorece la disminución de la escorrentía y el arrastre de cationes que actúan como enlaces en la formación de agregados. En el perfil Grietas, el efecto del pastoreo y paso de ganado son factores desfavorables para la estabilidad de agregados. Los perfiles Carrasca Baja y Carrasca Alta le siguen al perfil Pinos en estabilidad, siendo el mayor espesor del



horizonte móllico en el perfil Carrasca Baja el que favorece la mayor estabilidad de los agregados.

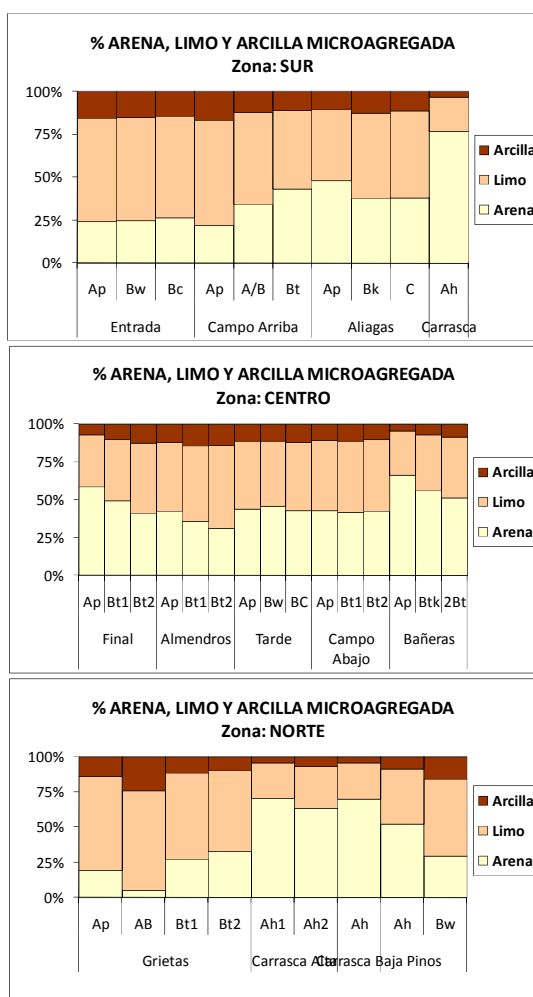
Según Márquez et al., (2004) la labranza del uso agrícola afecta a la estabilidad, en igual medida que las situaciones topográficas en las posiciones medias y bajas del paisaje.

#### 4.2.2.4. ESTRUCTURA. MICROAGREGACIÓN

El estudio de la microagregación se ha enfocado desde el punto de vista de los microagregados estables menores de 5 micras, dada su influencia en la formación de agregados estables.

##### 4.2.2.4.1. Textura de microagregados

En la figura 4.105, se observa una pequeña cantidad de arcilla microagregada en la mayor parte de los perfiles, siendo las fracciones de limo y arena las más abundantes al disminuir este contenido. En general se observa, en la mayoría de los perfiles ubicados en la zona centro (Final, Almendros y Bañeras) y norte (Carrasca Alta y Pinos), como las partículas de menor tamaño (arcilla microagregada) se encuentran en los horizontes más profundos, mientras que las de mayor tamaño (arena microagregada) se localizan en los horizontes más superficiales.



**Figura 4.105.** Porcentajes de arena, limo y arcilla de microagregados, obtenidos en los horizontes de los perfiles estudiados en la cuenca.

En la zona centro, los valores de las distintas fracciones son bastante constantes en los horizontes de los suelos de esta zona. Mientras los suelos de la zona sur, con un 50% microagregados de tamaño limo contrastan con los de la zona norte, con los porcentajes de arcilla más bajos.

En cuanto a los suelos de las zonas sur y norte, destacan los perfiles correspondientes a las carrascas por presentar los mayores porcentajes en microagregados de tamaño arena y los más bajos contenidos en arcilla microagregada. De forma similar ocurre en los horizontes más superficiales de los perfiles Final y Bañeras de la zona centro.

#### 4.2.2.4.2. Modelo de agregación. Microagregados estables al agua

En el modelo de agregación obtenido en los distintos horizontes de cada perfil (figura 4.106), se representan los porcentajes de microagregados estables al agua, así como las fracciones no agregadas de arena, limo y arcilla.

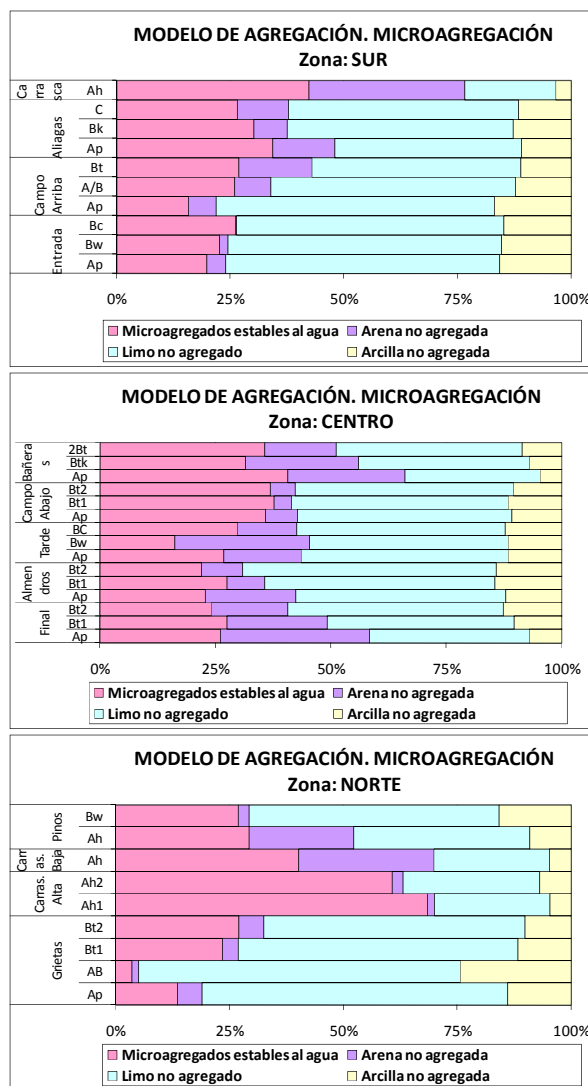


Figura 4.106. Modelo de agregación obtenido en los horizontes de los perfiles de la cuenca. Microagregados estables al agua.

En cuanto a los valores obtenidos de microagregados estables al agua, en el perfil Carrasca Alta situado en la zona norte se alcanzan los valores más altos de microagregados estables (>60%) en los horizontes Ah<sub>1</sub> y Ah<sub>2</sub>, concretamente en el perfil con más alto contenido en

materia orgánica. En cambio, en esta zona se obtienen los menores porcentajes de microagregados estables en el horizonte AB del perfil Grietas.

En la zona sur se observa que los contenidos más elevados de microagregados estables al agua se presentan en los horizontes superficiales también en el perfil Carrasca, seguido del perfil Aliagas. Mientras que se obtienen los valores más bajos de este parámetro en los perfiles Entrada y Campo Arriba, no obstante en estos últimos perfiles, los menores porcentajes de microagregados estables se alcanzan en los horizontes más superficiales (Ap) y los mayores en los horizontes Bc y Bt, respectivamente.

En cuanto a la zona centro, el horizonte superficial (Ap) del perfil Bañeras es el que obtiene mayores porcentajes de microagregados estables, seguido de los valores alcanzados en los horizontes correspondientes al perfil Campo Abajo, observándose en el horizonte Bw del perfil Tarde los contenidos más bajos en esta zona. Respecto a los perfiles Almendros y Final, en los horizontes Bt<sub>1</sub> es donde se obtienen valores más altos de microagregados estables con respecto al resto de horizontes de dichos perfiles.

#### 4.2.2.4.3. Fracción fina microagregada

En la figura 4.107 se muestran los porcentajes de fracción fina microagregada obtenidos en los horizontes de los perfiles, por diferencia entre los contenidos de arcilla textural y de arcilla microagregada.

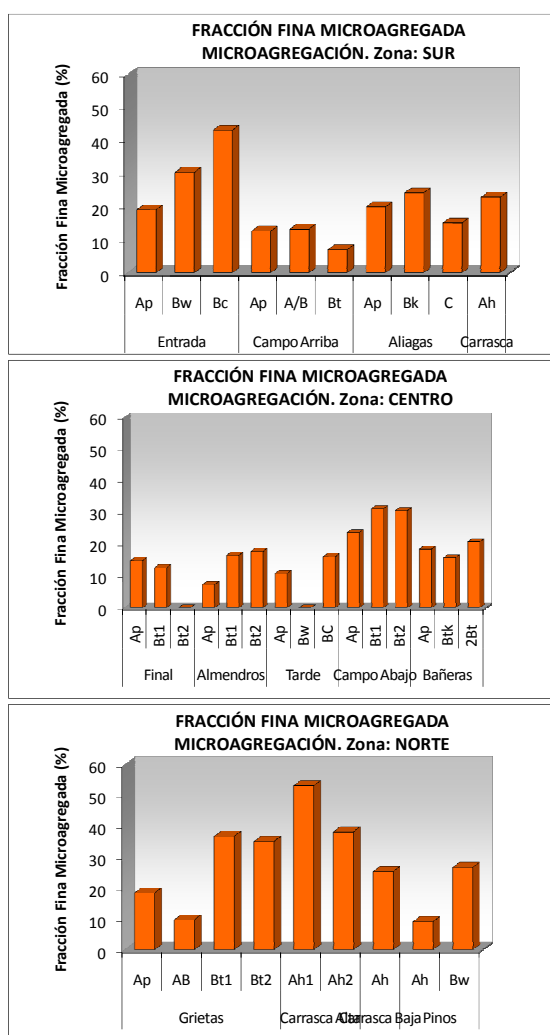


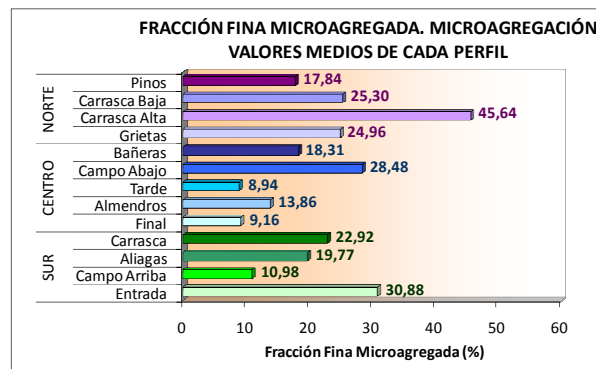
Figura 4.107. Fracción fina microagregada obtenida en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

Los valores más elevados obtenidos en la fracción fina microagregada se observan en el perfil Carrasca Alta (horizonte Ah<sub>1</sub>) de la zona norte, donde se alcanzan porcentajes superiores al 50%, caracterizándose estos suelos por tener mucha materia orgánica y presentar altos contenidos de arcillas. Así mismo, se observan también valores bastante altos en los horizontes Bt<sub>1</sub> y Bt<sub>2</sub> del perfil Grietas. En cambio en esta zona, los menores contenidos de esta fracción se obtienen en el horizonte más superficial (Ah) del perfil Pinos y en el horizonte AB del perfil Grietas, con valores próximos al 10%.

En cuanto a la zona sur, en general se observa que el perfil Entrada es el que presenta los mayores porcentajes de fracción fina microagregada, principalmente en el horizonte más profundo Bc (43%), mientras que los contenidos más bajos se alcanzan en el perfil Campo Arriba, concretamente en el horizonte Bt (7%). En los demás perfiles de esta zona, Aliagas y Carrasca, se obtienen valores intermedios en este parámetro.

Respecto a la zona centro, los porcentajes más altos se alcanzan en el perfil Campo Abajo, especialmente en los horizontes Bt<sub>1</sub> y Bt<sub>2</sub> con valores entorno al 31%. En cambio, los contenidos más bajos se observan en los perfiles Final y Tarde, donde se llegan a obtener valores nulos en los horizontes Bt<sub>2</sub> y Bw, respectivamente.

Los valores medios de fracción fina microagregada obtenidos entre los horizontes de cada perfil, se indican en la figura 4.108.



**Figura 4.108.** Valores medios de fracción fina microagregada, obtenidos en los perfiles de la cuenca.

\* **Zona sur.** En la zona sur los valores medios obtenidos para todos los horizontes, indican que el perfil Entrada (30,88%) presenta mayor estabilidad en microagregación, seguido de los perfiles Carrasca, Aliagas y por último Campo Arriba (10,98%). Este orden decreciente en estabilidad de microagregación es consecuencia, tanto de un buen estado vegetativo como de la mayor edad de abandono, favoreciendo su evolución morfológica, pero a pesar de ello las malas condiciones morfológicas originan mayor cantidad de microagregados.

En el perfil Carrasca la presencia de microagregados está condicionada a la óptima agregación que presenta, la elevada cubierta vegetal y presencia de materia orgánica en la superficie, son factores que favorecen la macroagregación.

El perfil Aliagas se presenta como el tercero en estabilidad de microagregados, tanto por estar en una zona de mayor cobertura vegetal como por localizarse topográficamente en una zona de acumulación de microagregados que descienden de zonas más altas, favoreciendo una mayor cantidad de microagregados estables respecto al perfil Campo Arriba.

\* **Zona centro.** Los valores medios obtenidos muestran que el perfil de mayor estabilidad en microagregación corresponde a Campo Abajo (28,48%), seguido de Bañeras, Almendros, Final y Tarde. Esta jerarquía es consecuencia de que el perfil Campo Abajo, con características externas más estables respecto a la formación de microagregados, se favorece por un elevado porcentaje de cubierta vegetal, factor relacionado con la materia orgánica, parámetro de gran relevancia en la agregación. Además su disposición topográfica, situado en zona de acumulación de agregados provenientes de zonas más elevadas, debido al desplazamiento que realizan debido al rodamiento, los agregados sufren una disminución del tamaño.

El perfil Bañeras, a pesar de presentar menor cobertura vegetal, es el segundo con mayor cantidad de microagregados estables, debido a que la actividad ganadera (ovina y vacuna) de esta zona eleva por rotura los microagregados.

El perfil Almendros desarrollado en una zona de sedimentación, presenta menor cantidad de microagregados. Mientras que el perfil Final tiene una baja concentración de microagregados, pues condiciones óptimas favorecen la rápida formación de macroagregados. El perfil Tarde (8,94%) es el más desfavorable de todos pues se encuentra en una zona de paso de aguas, donde se impide la formación de agregados de cualquier tamaño por un continuo arrastre de partículas.

\* **Zona norte.** En la zona norte el orden de estabilidad de los perfiles en microagregados es Carrasca Alta (45,64%), Carrasca Baja, Grietas y, por último, el de menor estabilidad el perfil Pinos (17,84%).

En el perfil Pinos existe una relación inversa del porcentaje de microagregados estables con la cubierta vegetal. Mejores condiciones para la formación de macroagregados, originan menor proporción de los microagregados. Pero también intervienen otros parámetros como la topografía que modifica esta relación, o la actividad agraria actual que favorece la destrucción, o la edad de abandono tras la que se produce la recuperación de parámetros en suelos.

#### 4.2.2.4.4. Índice de agregación relativo

En la figura 4.109 se representan los valores obtenidos del índice de agregación relativo en los distintos horizontes de cada perfil, índice que se obtiene tras dividir los valores del diámetro medio de microagregación entre los valores del diámetro medio textural.

Para los diferentes horizontes de los perfiles se observa, en general, un aumento de este índice a medida que se eleva el contenido en materia orgánica y arcilla.

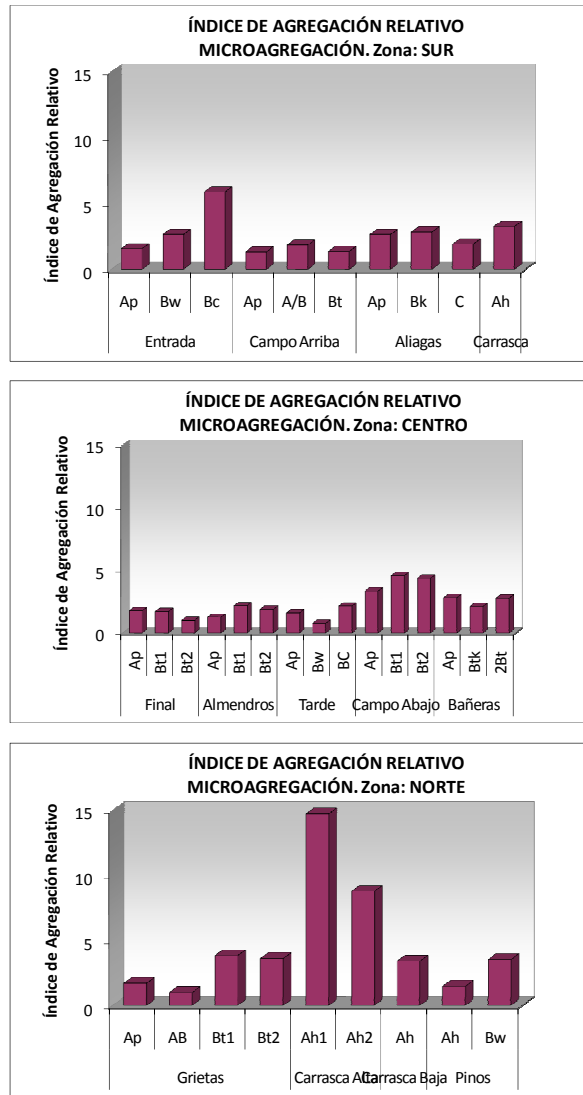


Figura 4.109. Índice de agregación relativo obtenido en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

Los valores medios del índice de agregación relativo obtenidos entre los horizontes de cada perfil, se indican en la figura 4.110.

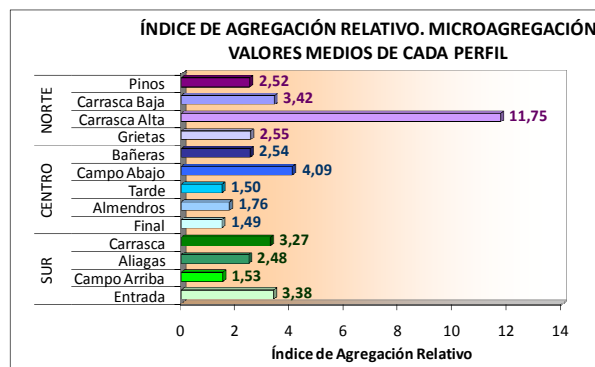


Figura 4.110. Valores medios de índice de agregación relativo, obtenidos en los perfiles de la cuenca.

En la zona norte se obtienen los valores más elevados del índice de agregación relativo, concretamente en los horizontes Ah<sub>1</sub> y Ah<sub>2</sub> del perfil Carrasca Alta (11,75), debido a los valores muy elevados de materia orgánica. El perfil Pinos con un valor de este índice de 2,52, es el valor más bajo de la zona norte.

En la zona centro los rangos del índice de agregación relativo varían de 4,09 (perfil Campo Abajo) a 1,49 (perfil Final), obteniéndose valores bastante similares en los perfiles Almendros, Tarde y Final.

En cuanto a la zona sur, los valores oscilan entre 3,38 (perfil Entrada) y 1,53 (Campo Arriba), con valores también elevados en el perfil Carrasca (3,27) frente al resto de perfiles.

La estabilidad de la estructura influencia directa e indirectamente otras propiedades físicas y químicas del suelo, y puede ser usada como un indicador de la degradación de los suelos (Cerdá, 1994). La cuantificación de los cambios que ocurren en la estructura del suelo (desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo), son el punto de partida en el estudio de los procesos de degradación física de los suelos y su control (Pagliai et al., 2004). Uno de los indicadores del estado estructural del suelo es la estabilidad de los agregados (Mbagwu, 2004), debido a que cuando ésta sufre una disminución marcada, producto de la aplicación de fuerzas externas como el impacto de gotas de lluvia, la acción de presiones mecánicas externas, o internas como la fragmentación de agregados por explosión de aire atrapado por rápido humedecimiento e hinchamiento diferencial, se incrementa la degradación de los suelos e influye en el movimiento y retención de agua, erosión, sellado y encostrado, reciclaje de nutrientes y penetración de raíces (Bronick y Lal, 2005; Ellies et al., 2003). Los estudios de estabilidad son la base para la estimación de la pérdida de suelo (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006).

La estabilidad del suelo podría indicarse por el índice de agregación relativo, estableciendo diferentes rangos de estabilidad que, tal y como indica Le Bissonnais (1996), van desde satisfactorio hasta deficiente. Esto aplicado a los perfiles estudiados corresponde al perfil Carrasca Alta, y a los perfiles Tarde y Final, en los que concurren los factores mencionados.

La dimensión de los macroagregados se considera una función de la incorporación de la materia orgánica al suelo (Lal, 1991; Six et al., 1998). Las especies vegetales proporcionan residuos provenientes de restos de raíces, y la frecuencia de incorporación resultaría de la combinación que establecieron los ciclos de dichas especies. En estas condiciones, autores como Oades (1984) indican que el crecimiento de hifas fúngicas sobre largos pedazos de residuos de raíces, promueve la asociación entre las partículas minerales y orgánicas en el suelo. Estas asociaciones tienen el potencial para atravesar poros y entrelazar grupos de microagregados, por medio de procesos físicos y la producción de agentes cementantes. Sosteniéndose estas condiciones, con el tiempo se generan macroagregados de gran tamaño por acoplamiento de los pequeños. Esta apreciación de la formación de los agregados estables permite justificar porque, en los suelos de zonas húmedas bajo herbáceas, la proporción de macroagregados de gran tamaño es mucho mayor a la de macroagregados pequeños y microagregados.

La diferente proporción de estos agregados en cada suelo podría atribuirse al contenido de componentes inorgánicos que intervienen en la formación y estabilidad de los agregados (Martínez-Trinidad et al., 2008).

En suelos agrícolas abandonados más recientemente, se observa que la cantidad de microagregados y macroagregados de menor tamaño se incrementan, a expensas de macroagregados de gran tamaño. También estos resultados pueden justificarse considerando el efecto del tamaño, la geometría y el modo de deposición de la materia orgánica, sobre la formación y estabilización de agregados jerárquicos. Tisdall y Oades (1982) observaron que en la matriz de los suelos agrícolas, es menor la distribución de los restos vegetales y su asociación con partículas del suelo.

La positiva interrelación entre la materia orgánica y la agregación del suelo tiene beneficios importantes en parámetros como la infiltración, conservación de la materia orgánica y nutrientes del suelo (Lal, 1991; Miller, 1991). Peris et al, (2007) establecieron un orden jerárquico en la estructura de los suelos, la cual presenta macroagregados (> 2500  $\mu\text{m}$ ) y microagregados (< 2500  $\mu\text{m}$ ). Estos autores indican que la estabilidad de los primeros varía con los cambios de la materia orgánica y por las prácticas de manejo, debido a que los agregados son estabilizados transitoriamente por agentes como raíces, hifas y polisacáridos derivados de plantas y microorganismos (Bronick y Lal, 2005).

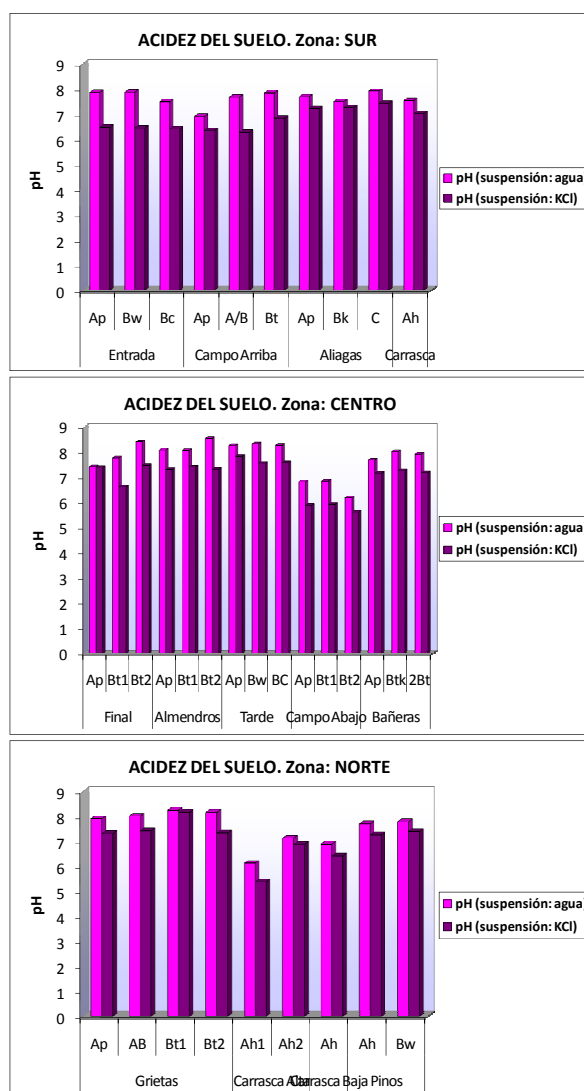
Las zonas con cubierta de plantas herbáceas, por su sistema de enraizamiento, han sido consideradas muy efectivas para la estructuración, composición de los agregados y su resistencia al tratamiento mecánico de las tierras.



### 4.2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS PERFILES DE SUELO DE LA CUENCA

#### 4.2.3.1. ACIDEZ DEL SUELO, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y CARBONATO CÁLCICO

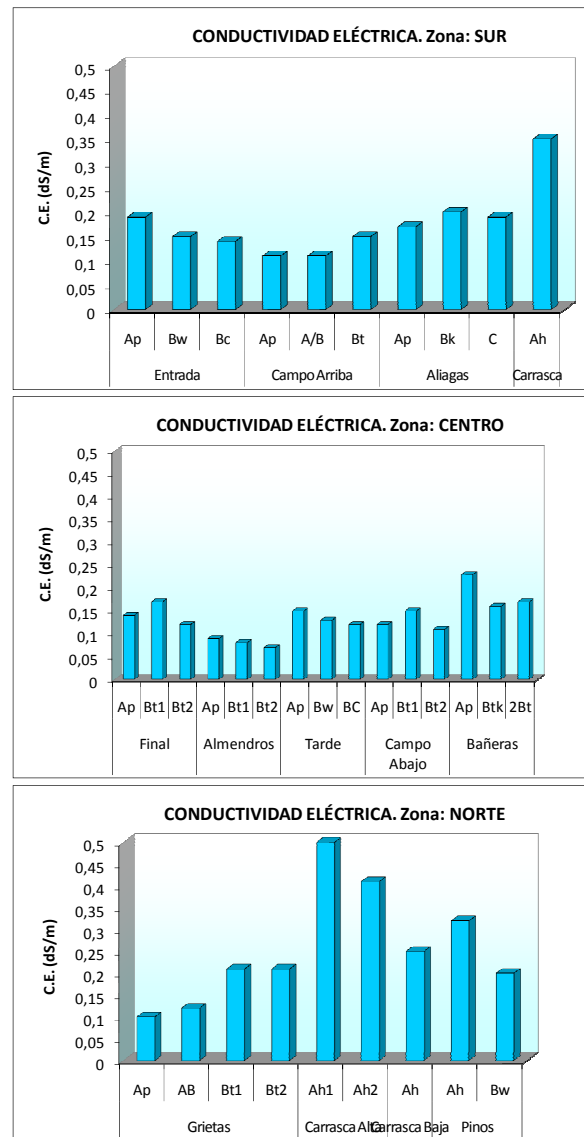
En las figuras de 4.111 a 4.113 se muestran los valores de acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl, así como los niveles de conductividad eléctrica y los contenidos de carbonato cálcico que presentan los horizontes de los perfiles de la cuenca.



**Figura 4.111.** Valores de acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

- \* **Zona sur.** En los perfiles de esta zona se observa bastante similitud en los valores de pH, destacando el valor más bajo para el horizonte superficial (Ap) del perfil Campo Arriba. En algunos perfiles como Entrada y Campo Arriba se observa una mayor diferencia entre pH actual y potencial, influido por el tipo de vegetación o el anterior uso. En cuanto a los valores de conductividad eléctrica, destaca en esta zona niveles más altos en el perfil Carrasca (0,35 dS/m), mientras que los menores valores se observan en los horizontes Ap y A/B del perfil Campo Arriba (0,11 dS/m en ambos horizontes). En esta zona es donde se obtienen los contenidos más elevados de

carbonato cálcico (perfil Aliagas), con valores entre el 55 y 63% de carbonatos, observándose en cambio los valores más bajos en el perfil Carrasca (8%).



**Figura 4.112.** Niveles de conductividad eléctrica obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

- \* **Zona centro.** En la zona centro destaca los valores más bajos de pH en el perfil Campo Abajo, mientras que los más elevados se obtienen en los perfiles Almendros y Tarde. Respecto a los valores de conductividad eléctrica, los niveles más altos en esta zona se observan en el perfil Bañeras, especialmente en el horizonte superficial (Ah) con un valor de 0,23 dS/m, siendo en el perfil Almendros donde se obtienen los menores valores de conductividad eléctrica (entre 0,07 y 0,09 dS/m). En la zona centro se observan los valores más elevados de carbonato cálcico en el perfil Almendros situado en la parte más baja de la zona, principalmente en los horizontes Bt<sub>1</sub> y Bt<sub>2</sub> con valores de 35 y 39%, respectivamente. Mientras que los porcentajes más bajos de carbonatos se obtienen en los horizontes Ap (15,60%) y Bt<sub>1</sub> (12%) del perfil Final.
- \* **Zona norte.** Los valores de pH son similares a los de la zona sur, observándose los valores más elevados en el perfil Grietas, especialmente en los horizontes Bt<sub>1</sub> y Bt<sub>2</sub>, seguido del perfil Pinos. Sin embargo, los menores valores de pH se obtienen en los

perfiles Carrasca Alta (principalmente en el horizonte Ah<sub>1</sub>) y Carrasca Baja. En la zona norte, los valores de conductividad eléctrica son los más altos de las tres zonas, con rangos que indican cierta salinidad, destacando los elevados niveles obtenidos en los horizontes Ah<sub>1</sub> (0,50 dS/m) y Ah<sub>2</sub> (0,41 dS/m) del perfil Carrasca Alta. Mientras que los menores valores de conductividad eléctrica se alcanzan en el perfil Grietas, en concreto en los horizontes Ap y AB con valores de 0,10 y 0,12 dS/m, respectivamente. En cuanto a los contenidos de carbonato cálcico, es en la zona norte donde se obtienen los porcentajes más bajos de las tres zonas, siendo en los perfiles Carrasca Alta y Carrasca Baja en los que se alcanzan contenidos inferiores al 2%. En los demás perfiles de esta zona, Grietas y Pinos, los contenidos de carbonatos obtenidos oscilan entre 9 y 13%.

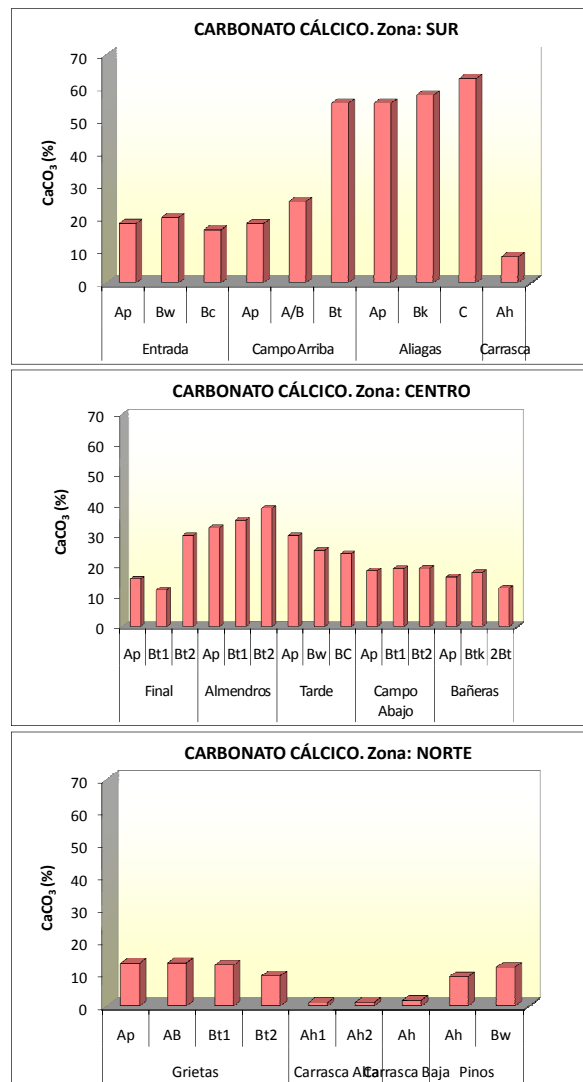


Figura 4.113. Contenidos de carbonato cálcico obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

En las figuras 4.114 y 4.115 se representan los valores medios de la acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl, así como los valores medios de la conductividad eléctrica y del carbonato cálcico del suelo que presentan los perfiles de la cuenca.

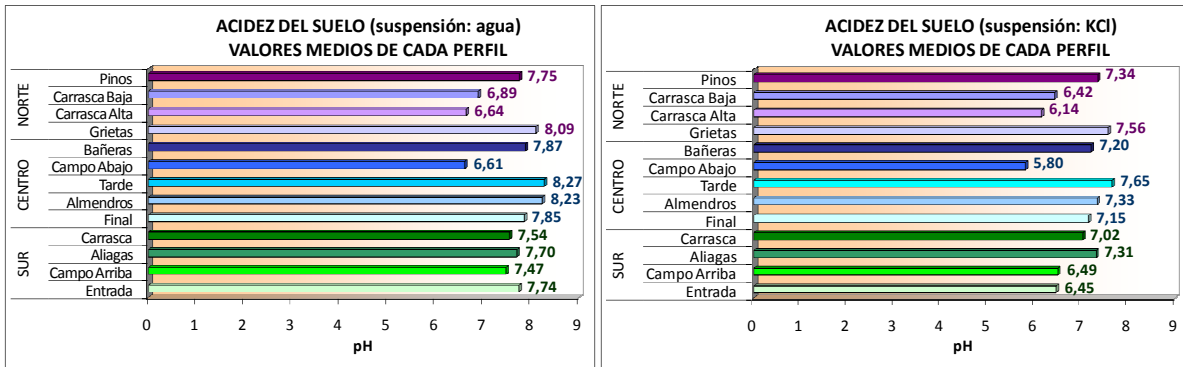


Figura 4.114. Valores medios de la acidez del suelo obtenidos en agua y en KCl en los perfiles de la cuenca.

Los valores medios de pH en agua obtenidos en los perfiles de las tres zonas de la cuenca oscilan entre 6,61 y 8,27, mientras que los rangos de los valores medios de pH medidos en KCl varían de 5,80 a 7,65.

Se trata de suelos neutros o ligeramente alcalinos y, en ningún caso, la diferencia entre el pH en agua y en cloruro potásico es elevada para indicar un peligro de acidificación potencial.

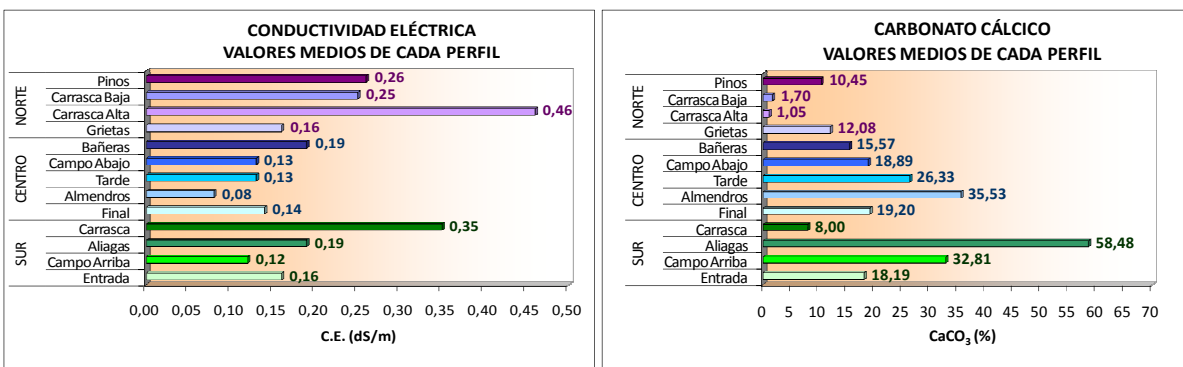


Figura 4.115. Valores medios obtenidos de la conductividad eléctrica y del carbonato cálcico del suelo en los perfiles de la cuenca.

Los valores medios de conductividad eléctrica no son coincidentes con los de pH, siendo en algunos casos asociados al material de origen (margas), y en otros a la vegetación dominante (carrascas posiblemente por su abundancia en taninos). Dichos valores medios de conductividad eléctrica obtenidos en los perfiles de la cuenca están comprendidos entre 0,08 y 0,46 dS/m.

En cuanto a los contenidos medios de carbonato cálcico, se observan en los perfiles de la cuenca grandes oscilaciones pues varían de 1,05 a 58,48%. Los valores más altos de carbonatos obtenidos en el perfil Alliagas se asocian claramente a la presencia de sustratos margosos.

#### 4.2.3.2. MACRONUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO)

Tanto los contenidos de nitrógeno como de fósforo presentan, en general, los valores más elevados en los horizontes superficiales de los perfiles de las tres zonas (figura 4.116), salvo algunas excepciones para los contenidos de nitrógeno en la zona sur el perfil Aliagas, en la zona centro los perfiles Almendros y Bañeras, y en la zona norte el perfil Carrasca Alta, mientras que para los contenidos de fósforo se exceptúan en la zona sur el perfil Campo Arriba y en la zona norte el perfil Grietas, dado que se obtienen los valores más altos de estos nutrientes en los horizontes más profundos.

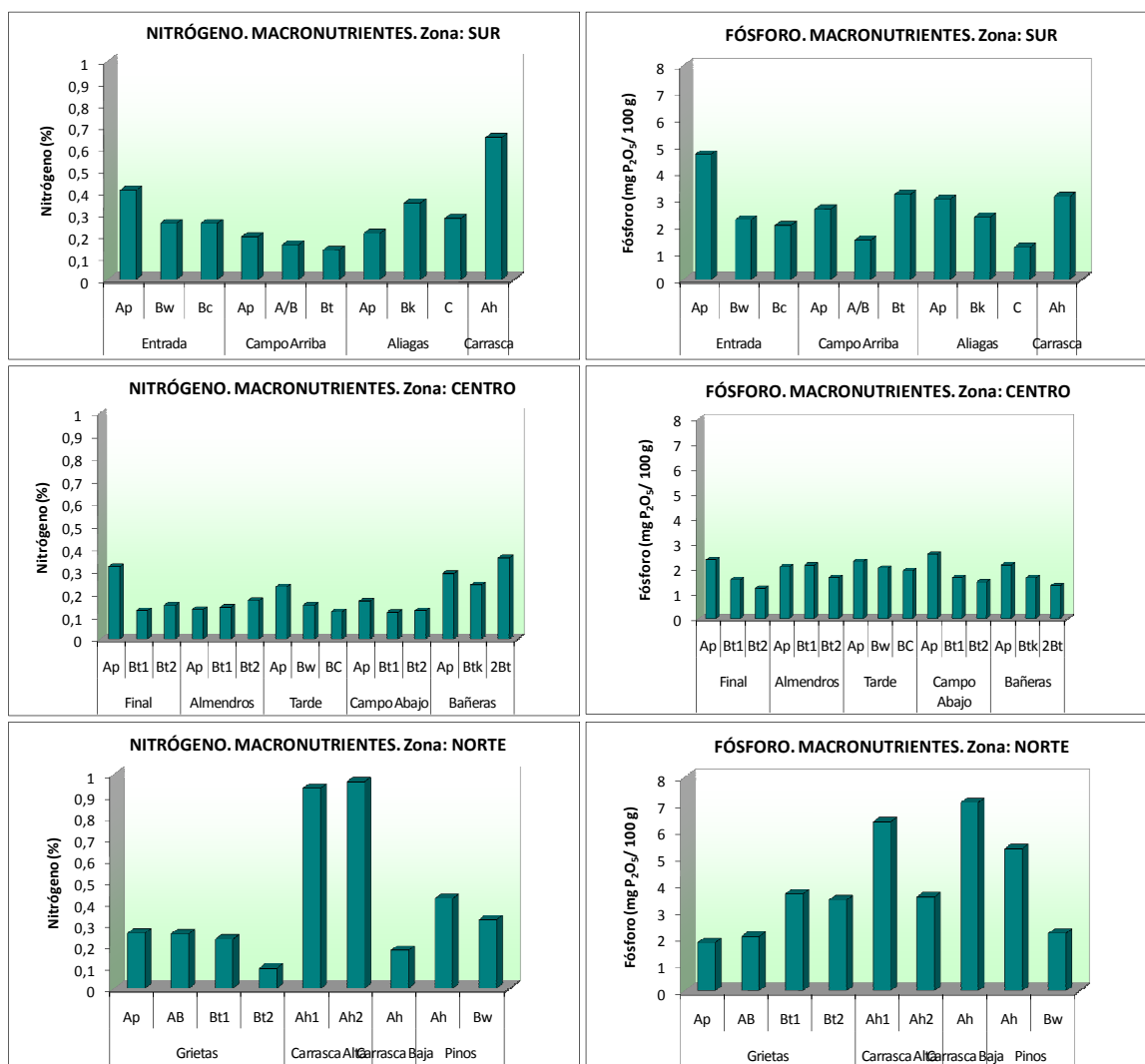


Figura 4.116. Contenidos de nitrógeno y fósforo obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

En la figura 4.117 se muestran los valores medios de nitrógeno y fósforo obtenidos en los perfiles de la cuenca.

Los contenidos medios obtenidos de nitrógeno en los perfiles de la cuenca están comprendidos entre 0,137 y 0,950%, destacando los valores más altos de cada zona en los perfiles Carrasca Alta (zona norte), Carrasca (zona sur), y Bañeras (zona centro).

En cuanto a los valores medios de fósforo obtenidos en los perfiles de las tres zonas, varían de 1,70 a 7,05 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, observándose los contenidos más elevados de cada zona en los perfiles Carrasca Baja y Carrasca Alta (zona norte), Carrasca y Entrada (zona sur), y Tarde y Almendros (zona centro).

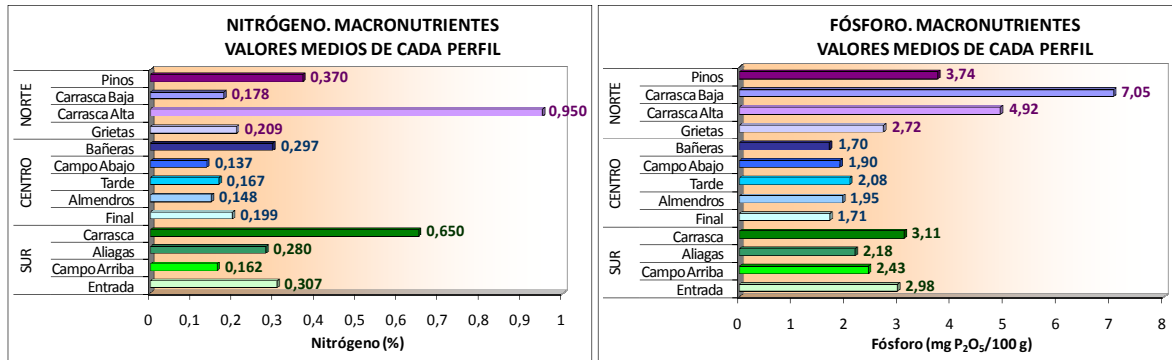


Figura 4.117. Valores medios de nitrógeno y fósforo obtenidos en los perfiles de la cuenca.

#### 4.2.3.3. BASES DE CAMBIO (POTASIO, SODIO, MAGNESIO Y CALCIO) Y C.I.C.

Los valores de las bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio), así como de la C.I.C. obtenidos en los horizontes de los perfiles de las tres zonas, se representan en las figuras de 4.118 a 4.120.

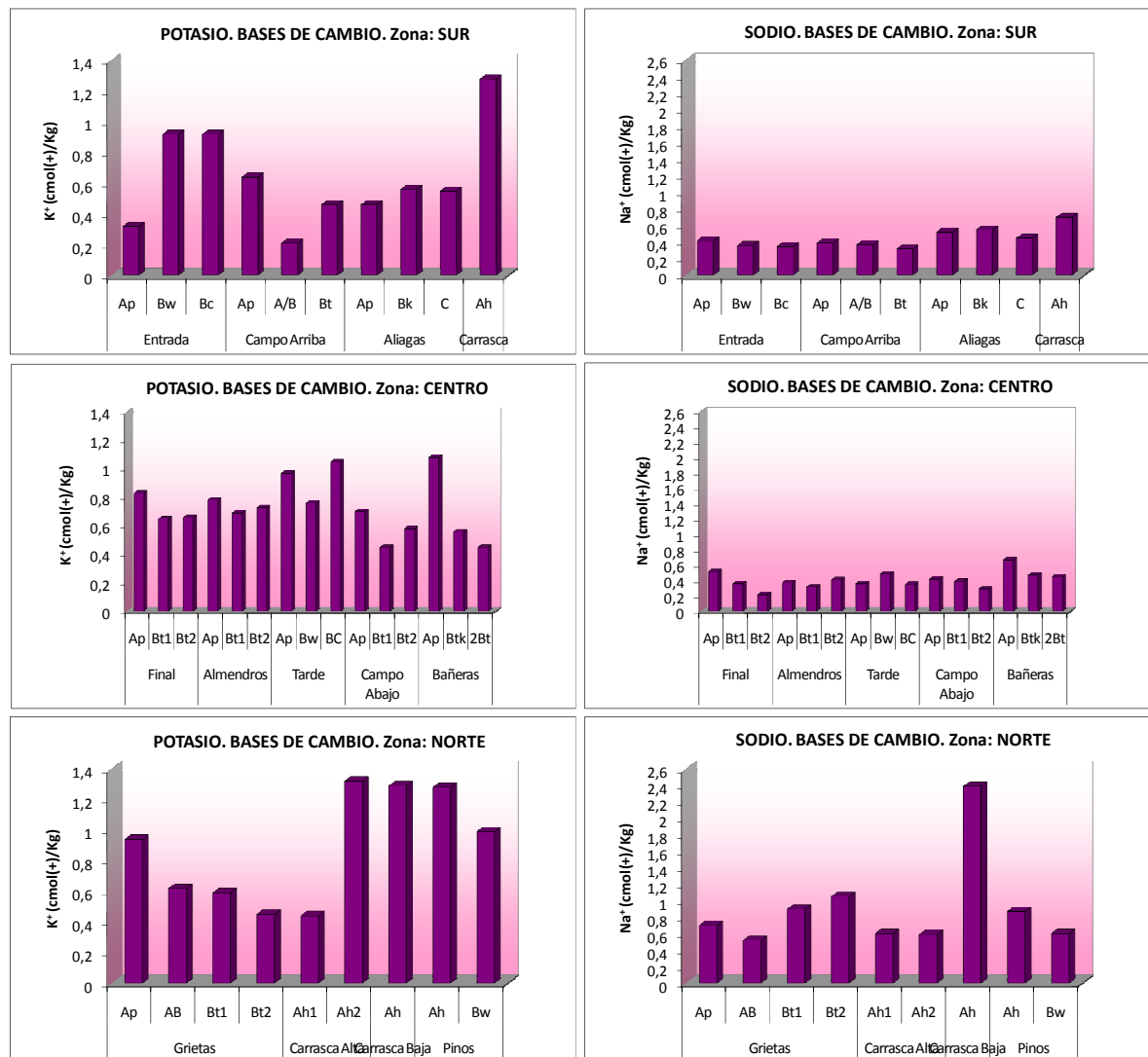
Los niveles más elevados de potasio se alcanzan en la zona norte, principalmente en el horizonte Ah<sub>2</sub> del perfil Carrasca Alta, así como en los horizontes superficiales (Ah) de los perfiles Carrasca Baja y Pinos, con valores comprendidos en 1,28 y 1,32 cmol(+)/kg. En cambio en esta zona, los contenidos más bajos se obtienen en el horizonte más profundo del perfil Grietas (Bt<sub>2</sub>) y en el horizonte superficial Ah<sub>1</sub> del perfil Carrasca Alta, donde se observan valores entorno a 0,45 cmol(+)/kg.

En cuanto a la zona sur, destacan valores más altos de potasio en el perfil Carrasca (1,28 cmol(+)/kg), observándose los menores contenidos en el horizonte A/B del perfil Campo Arriba y en el horizonte superficial del perfil Entrada, con valores de 0,21 y 0,32 cmol(+)/kg, respectivamente.

En la zona centro, en general, corresponden los niveles más elevados de potasio a los horizontes superficiales, salvo en el perfil Tarde dado que los mayores valores se observan en el horizonte más profundo (Bc).

Los valores de sodio de cambio son bajos y bastante similares en las zonas sur y centro, a pesar del diferente uso del suelo. En la zona sur se alcanzan mayores contenidos de sodio en el perfil Carrasca (0,70 cmol(+)/kg), frente al resto de perfiles con valores que oscilan entre 0,32 y 0,55 cmol(+)/kg. Respecto a la zona centro, el valor más alto de sodio, aunque con muy poca diferencia, se obtiene en el horizonte superficial del perfil Bañeras (0,67 cmol(+)/kg), observándose en los demás horizontes de esta zona valores comprendidos entre 0,22 y 0,52 cmol(+)/kg.

En cambio, en la zona norte se alcanzan los contenidos más altos de sodio de las tres zonas, destacando el perfil Carrasca con un valor de 2,39 cmol(+)/kg, le siguen los horizontes Bt<sub>1</sub> y Bt<sub>2</sub> del perfil Grietas con niveles de 0,90 y 1,05 cmol(+)/kg, respectivamente, y en el resto de horizontes se obtienen valores que varían de 0,52 a 0,87 cmol(+)/kg.



**Figura 4.118.** Contenidos de potasio y sodio obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

Los valores más altos de magnesio en la zona sur se obtienen en el perfil Carrasca (3,13 cmol(+)/kg), mientras que los menores se alcanzan en los horizontes más profundos del perfil Aliagas (Bk y C) donde se obtienen valores de 0,70 y 0,71 cmol(+)/kg, respectivamente, así como en el horizonte A/B del perfil Campo Arriba (0,76 cmol(+)/kg). En los demás horizontes se observan contenidos intermedios que presentan pocas variaciones, dado que oscilan entre 1,14 y 1,53 cmol(+)/kg.

En cuanto a la zona centro, destaca el valor más alto de magnesio obtenido en las tres zonas en el horizonte superficial del perfil Final, con un valor de 4,57 cmol(+)/kg. En cambio, los menores contenidos de magnesio en esta zona se alcanzan en el horizonte Btk del perfil Bañeras (0,63 cmol(+)/kg). En el resto de horizontes los valores varían de 1,47 a 2,36 cmol(+)/kg.

Respecto a los valores de magnesio en la zona norte, los más elevados se obtienen en el horizonte más profundo del perfil Grietas (Bt<sub>2</sub>) con un valor de 3,65 cmol(+)/kg, así como en el horizonte superficial del perfil Pinos (3,63 cmol(+)/kg), donde se obtienen valores bastante similares. Mientras que los contenidos más bajos se alcanzan en los horizontes superficiales de los perfiles Carrasca Alta (2,11 cmol(+)/kg) y Carrasca Baja (2,39

cmol(+)/kg). En los demás horizontes se observan valores con apenas variaciones, pues oscilan entre 2,45 y 3,14 cmol(+)/kg.

Entre las bases de cambio, el calcio es el catión dominante en todos los perfiles. En la zona sur se obtienen los valores más elevados de calcio en los horizontes superficiales de los perfiles Campo Arriba (23,95 cmol(+)/kg), Entrada (23,45 cmol(+)/kg) y Carrasca (21,20 cmol(+)/kg). Mientras que los contenidos más bajos de calcio en esta zona se observan en el perfil Aliagas, con valores que varían de 8,68 a 9,91 cmol(+)/kg.

En la zona centro se obtienen los valores más altos de calcio de las tres zonas, destacando los horizontes superficiales de los perfiles Campo Abajo (32,93 cmol(+)/kg) y Final (28,82 cmol(+)/kg), así como el horizonte Bw del perfil Tarde (28,19 cmol(+)/kg). En cambio en esta zona, los niveles más bajos de calcio se alcanzan en los horizontes más profundos de los perfiles Bañeras (2Bt) y Final (Bt<sub>2</sub>), donde se obtienen valores de 9,70 y 12,61 cmol(+)/kg, respectivamente.

En cuanto a la zona norte, los mayores valores de calcio se observan en el perfil Carrasca Alta, tanto en el horizonte Ah<sub>1</sub> (21,98 cmol(+)/kg) como en el Ah<sub>2</sub> (21,46 cmol(+)/kg), y en el horizonte más profundo (Bt<sub>2</sub>) del perfil Grietas con un valor de 21,16 cmol(+)/kg.

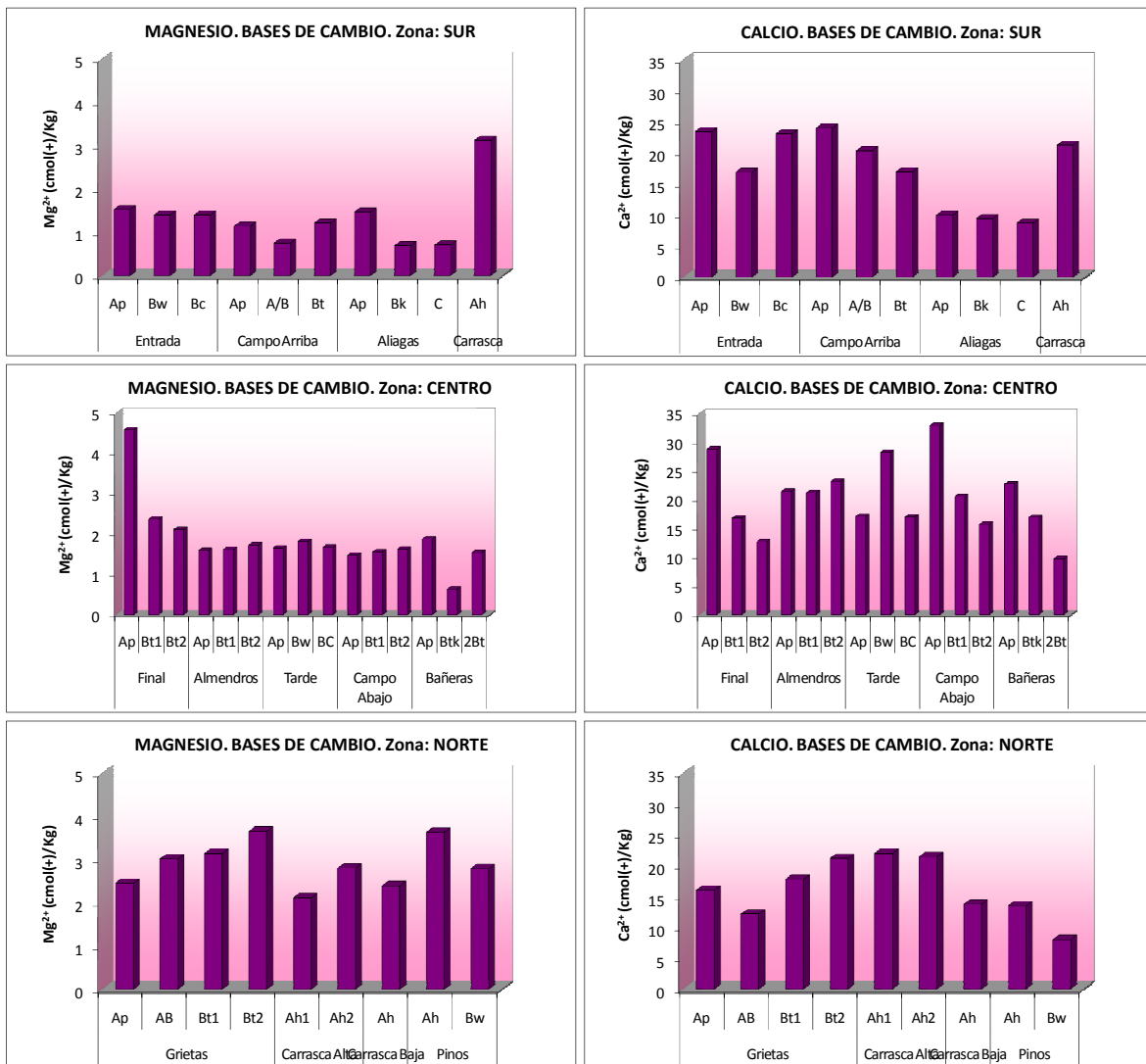
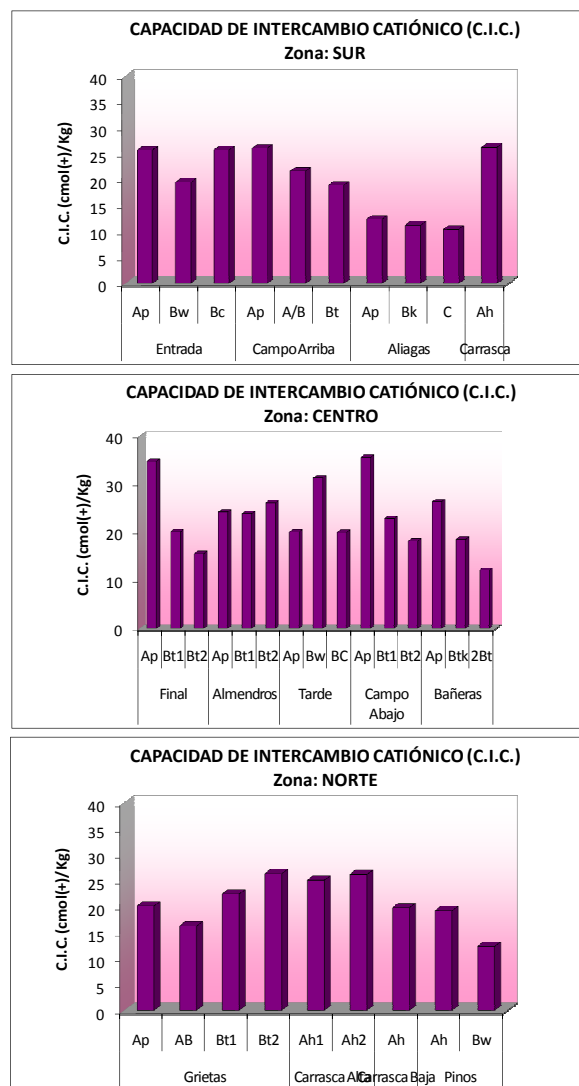


Figura 4.119. Contenidos de magnesio y calcio obtenidos en los horizontes de los perfiles de la cuenca.



En relación a los valores de C.I.C., la tendencia es similar a lo obtenido anteriormente en los valores de calcio, de manera que los mayores y menores valores obtenidos de la C.I.C. en los perfiles de las tres zonas, coinciden con los contenidos más altos y más bajos de calcio en dichos perfiles. En general, se observa que los valores obtenidos de C.I.C. son ligeramente superiores a los de calcio, observándose una tendencia muy semejante en cuanto a la predominancia de dichos valores en los perfiles.



**Figura 4.120.** Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) obtenida en los horizontes de los perfiles de la cuenca.

En la figura 4.121 se representan los valores medios de las bases de cambio, así como de la C.I.C., obtenidos en los perfiles de la cuenca.

Los valores medios de potasio que presentan los perfiles de las tres zonas varían de 0,44 a 1,29 cmol(+)/kg, observándose los contenidos más elevados de cada zona en los perfiles Carrasca Baja (zona norte), Carrasca (zona sur) y Tarde (zona centro). Mientras que los menores valores se obtienen principalmente en la zona sur en los perfiles Campo Arriba y Aliagas, en la zona centro en el perfil Campo Abajo, y en el perfil Grietas de la zona sur.

En cuanto a los contenidos medios obtenidos de sodio en los perfiles de la cuenca, están comprendidos entre 0,36 y 2,39 cmol(+)/kg, destacando los valores más altos en el perfil Carrasca Baja de la zona norte. En la zona centro se obtienen valores bastante similares de

sodio en los perfiles Final, Almendros y Campo Abajo, dado que en todos ellos se observan valores de 0,37 cmol(+)/kg. Respecto a la zona sur, los contenidos más elevados de sodio se alcanzan en el perfil Carrasca, mientras que los menores se observan en el perfil Campo Arriba.

Los valores medios de magnesio obtenidos en los perfiles oscilan de 0,96 a 3,21 cmol(+)/kg. Destacan los contenidos más elevados en los perfiles Pinos y Grietas (zona norte), Carrasca (zona sur) y Final (zona centro). Los valores más bajos de magnesio se presentan en la zona sur, concretamente en los perfiles Aliagas y Campo Arriba.

Los contenidos medios de calcio varían de 9,33 a 23,03 cmol(+)/kg, mientras que los valores medios de la C.I.C. son ligeramente superiores y están comprendidos entre 11,32 y 26,31 cmol(+)/kg. Los valores más altos, tanto de calcio como de C.I.C., se alcanzan en los perfiles Campo Abajo y Almendros (zona centro), Carrasca Alta (zona norte), y Carrasca y Entrada (zona sur). Mientras que los menores valores de calcio y de C.I.C. se obtienen en el perfil Aliagas de la zona sur y en el perfil Pinos de la zona norte.

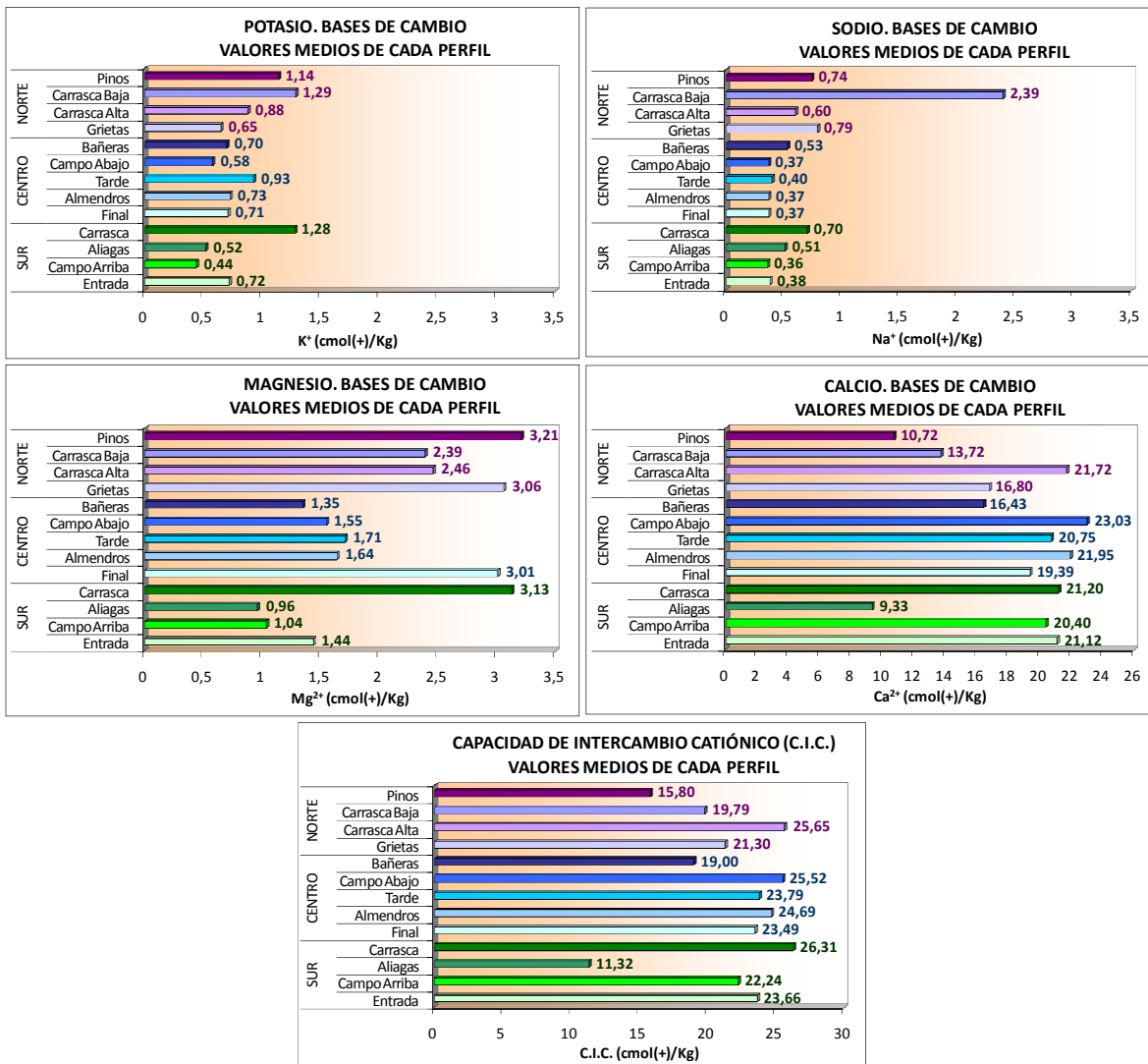
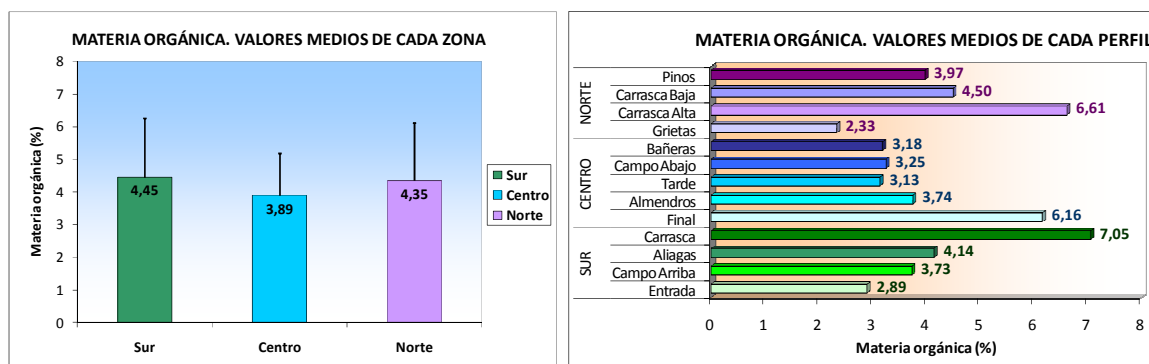


Figura 4.121. Valores medios obtenidos de bases de cambio (potasio, sodio, magnesio y calcio) y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) en los perfiles de la cuenca.

#### 4.2.3.4. MATERIA ORGÁNICA TOTAL

Los valores medios de materia orgánica total obtenidos en cada una de las tres zonas, así como en cada perfil, se representan en la figura 4.122.

En cuanto a los valores medios obtenidos en cada zona, se observa que la zona centro es la que presenta menor contenido de materia orgánica total (3,89%), mientras que en la zona sur se alcanza el valor más alto (4,45%). Los valores de desviación que se observan en la zona centro son algo inferiores respecto a los obtenidos en la zona sur y norte.



**Figura 4.122.** Valores medios de materia orgánica total obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.

Los niveles medios de materia orgánica total obtenidos en los diferentes perfiles de las tres zonas presentan rangos amplios, oscilando entre 2,33 y 7,05%.

- \* **Zona sur.** En la zona sur los contenidos de materia orgánica total que se alcanzan en los perfiles son significativamente diferentes entre ellos. El perfil Carrasca es el que mayor porcentaje de materia orgánica total presenta (7,05%), frente al perfil Entrada que obtiene el menor valor (2,89%). Los contenidos intermedios se observan en los perfiles Campo Arriba (3,73%) y Aliagas (4,14%).
- \* **Zona centro.** Destaca en la zona centro el perfil Final con el nivel más alto de materia orgánica total (6,16%). Le sigue los valores obtenidos en el perfil Almendros (3,74%), observándose los menores contenidos de esta zona en los perfiles Campo Abajo, Bañeras y Tarde, donde se alcanzan valores de 3,25, 3,18 y 3,13%, respectivamente, siendo muy similares entre ellos.
- \* **Zona norte.** Los contenidos más elevados de materia orgánica total en la zona norte se obtienen en el perfil Carrasca Alta (6,61%), mientras que los más bajos se observan en el perfil Grietas (2,33%). Se obtienen valores intermedios en los perfiles Pinos y Carrasca Baja, con niveles de 3,97 y 4,50%, respectivamente.

En general, es bajo las especies arbóreas (carrasca) donde se obtienen mayores valores de materia orgánica total, y los más bajos los presentan perfiles localizados con vegetación de aromáticas (romero o lavanda). Pero también se observa en los perfiles con mayor utilización agrícola (Final, Almendros, Tarde, Bañeras, Campo Abajo y Campo Arriba), altos contenidos en materia orgánica total.

### 4.2.3.5. RELACIÓN C/N

En la figura 4.123 se muestran los valores medios de la relación C/N obtenidos en cada zona y en los distintos perfiles de la cuenca.

Los valores medios de la relación C/N que presentan las tres zonas, oscilan entre 7,85 en la zona norte y 12,70 en la centro, siendo en esta última zona donde se obtienen los valores más altos de esta relación, pues a pesar de ser suelos de cultivos actualmente abandonados, el contenido en materia orgánica es elevado y muy bajo el contenido de nitrógeno.

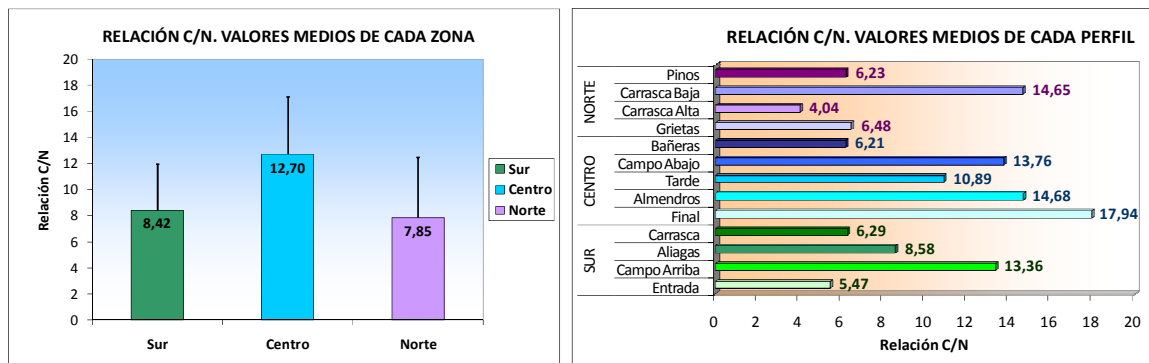


Figura 4.123. Valores medios de relación C/N obtenidos en los perfiles de la cuenca.

Los valores medios obtenidos de la relación C/N en cada perfil varían de 4,04 a 17,94.

- \* **Zona sur.** Los valores más altos de la relación C/N en la zona sur se observan en el perfil Campo Arriba (13,36), mientras que los más bajos se obtienen en el perfil Entrada (5,47). En el resto de perfiles de esta zona, Carrasca y Aliagas, se alcanzan valores intermedios de 6,29 y 8,58, respectivamente.
- \* **Zona centro.** En la zona centro, destaca el perfil Final por presentar el valor más alto de la relación C/N en las tres zonas (17,94), le siguen con valores muy semejantes los perfiles Almendros (14,68) y Campo Abajo (13,76), siendo en el perfil Bañeras donde se observa el valor más bajo de esta relación (6,21).
- \* **Zona norte.** En esta zona el perfil Carrasca Baja es el que obtiene los valores más elevados de la relación C/N (14,65), mientras que los menores se alcanzan en el perfil Carrasca Alta (4,04), observándose valores intermedios y bastante similares en los perfiles Pinos y Grietas, con valores de 6,23 y 6,48, respectivamente.

Los mayores valores obtenidos de la relación C/N, en general, se deben a contenidos más bajos de nitrógeno, como es el caso principalmente de la mayoría de los perfiles de la zona centro (Final, Almendros, Tarde y Campo Abajo) que tuvieron una utilización agrícola. Así mismo, se presentan valores altos de esta relación en el perfil Campo Arriba (zona sur) y en el perfil Carrasca Baja (zona norte). En cambio, al contrario de lo observado anteriormente, en algunos perfiles como Carrasca de la zona sur y Carrasca Alta de la zona norte, los bajos valores de la relación C/N obtenidos son consecuencia de los elevados contenidos de nitrógeno en los suelos de dichos perfiles.

#### 4.2.3.6. ÁCIDOS HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS Y HUMINAS MEDIANTE OXIDACIÓN. ÍNDICES DE LA COMPOSICIÓN HÚMICA

Los contenidos de las fracciones orgánicas, en gran parte, se muestran paralelos al contenido total de materia orgánica, principalmente en los perfiles Carrasca (zona sur) y Carrasca Alta (zona norte), suelos antiguos y estables. Pero esto también ocurre en algunos perfiles situados en zonas estabilizadas más recientemente y con un suelo menos evolucionado.

Todas las fracciones orgánicas presentan valores inferiores para la zona centro, siendo también la zona con menor variabilidad, mientras la zona sur posee los valores más elevados para todas las fracciones.

##### 4.2.3.6.1. Ácidos húmicos

A partir de los valores medios de ácidos húmicos obtenidos en las tres zonas (figura 4.124), se observa que la zona sur es la que presenta mayor valor medio (0,88%). En cambio, en la zona centro se alcanza el valor medio más bajo (0,35%), siendo en esta zona de cultivos abandonados donde también se observa los menores valores de desviación.

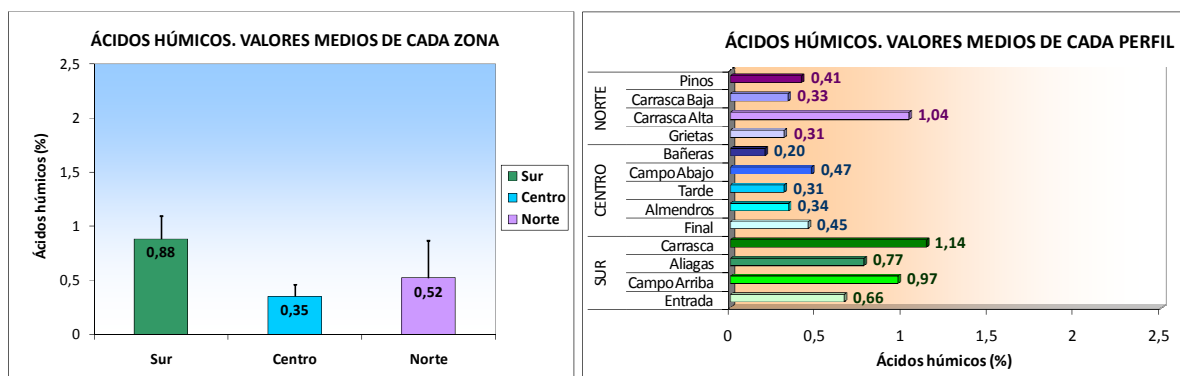


Figura 4.124. Valores medios de ácidos húmicos obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.

Los contenidos medios de ácidos húmicos obtenidos en los perfiles de la cuenca, presentan un rango de variación entre 0,20 y 1,14%.

- \* **Zona sur.** El valor más alto de ácidos húmicos de la zona sur es para el perfil Carrasca (1,14%), le sigue el perfil Campo Arriba (0,97%) un área de cultivos abandonados, observándose el menor valor en el perfil Entrada (0,66%).
- \* **Zona centro.** En la zona centro, zona de cultivos como se ha mencionado anteriormente, no existen grandes diferencias entre perfiles. Los perfiles Campo Abajo y Final son los que contienen los valores más altos de ácidos húmicos, 0,47 y 0,45% respectivamente, y le siguen con contenidos algo inferiores los perfiles Almendros (0,34%) y Tarde (0,31%), muy similares entre ellos. El valor más bajo de ácidos húmicos de esta zona se observa en el perfil Bañeras, donde se alcanza un contenido de 0,20%.
- \* **Zona norte.** En esta zona existen diferencias significativas entre los perfiles estudiados, siendo el que mayor valor de ácidos húmicos contiene el perfil Carrasca Alta (1,04%). Los demás perfiles presentan contenidos bastante bajos, obteniéndose los menores valores en el perfil Grietas (0,31%) y Carrasca Baja (0,33%), mientras que en el perfil Pinos se obtienen valores intermedios (0,41%).

Los contenidos más altos de ácidos húmicos se muestran en suelos bajo las plantas de mayor desarrollo, como son las carrascas (perfil Carrasca de la zona sur y perfil Carrasca Alta de la zona norte). No obstante, se observa como en las distintas zonas estudiadas e incluso bajo plantas de la misma especie, como es el caso de las carrascas, los valores obtenidos son muy diferentes (perfil Carrasca Baja de la zona norte, con contenidos más bajos), siendo uno de los factores que influyen la exposición de los perfiles.

#### 4.2.3.6.2. Ácidos fúlvicos

En los valores medios de ácidos fúlvicos (figura 4.125) se aprecian diferencias entre las distintas zonas estudiadas, observándose el nivel medio más elevado para la zona sur (1%), le sigue la zona norte con un valor ligeramente inferior (0,98%), mientras que el menor contenido medio se alcanza en la zona centro (0,73%), siendo también en la zona centro donde se obtiene los valores más bajos de desviación.

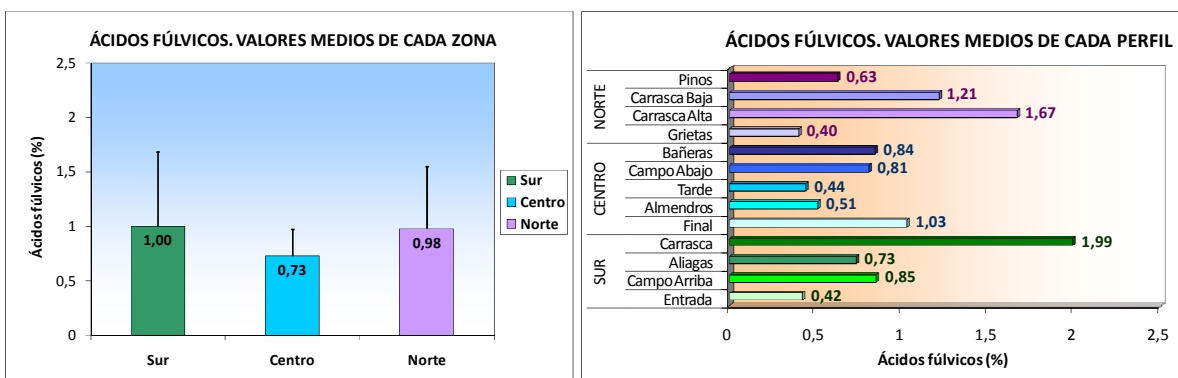


Figura 4.125. Valores medios de ácidos fúlvicos obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.

Los contenidos medios de ácidos fúlvicos obtenidos en los perfiles de la cuenca, oscilan entre 0,40 y 1,99%.

Comparando los niveles medios de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos que presentan los distintos perfiles de la cuenca, se observa que los contenidos de ácidos fúlvicos son más elevados que los obtenidos anteriormente en los ácidos húmicos, esto puede estar indicando escasa evolución.

- \* **Zona sur.** En la zona sur existen grandes diferencias entre los contenidos de ácidos fúlvicos obtenidos en los perfiles, destacando el valor máximo de esta fracción en el perfil Carrasca (1,99%). Los perfiles Campo Arriba y Aliagas presentan valores intermedios y bastante parecidos entre ellos, 0,85 y 0,73%, respectivamente, siendo el valor más bajo de esta zona para el perfil Entrada (0,42%).
- \* **Zona centro.** Los niveles más altos de ácidos fúlvicos de la zona centro se observan en el perfil Final (1,03%), le siguen con valores algo inferiores y muy similares entre ellos los perfiles Bañeras (0,84%) y Campo Abajo (0,81%). Mientras que los menores contenidos de esta fracción se presentan en los perfiles Tarde y Almendros, donde se obtienen valores de 0,44 y 0,51%, respectivamente.
- \* **Zona norte.** En la zona norte se observan diferencias significativas entre los perfiles, con los contenidos más elevados de ácidos fúlvicos para el perfil Carrasca Alta (1,67%), y los más bajos para el perfil Grietas (0,40%).

En general, los mayores valores de ácidos fúlvicos aparecen de nuevo bajo especies de mayor desarrollo, perfiles Carrasca (zona sur) y Carrasca Alta (zona norte).

#### 4.2.3.6.3. Huminas

En los valores medios de huminas (figura 4.126) hay diferencias entre las tres zonas, con contenidos medios mayores en la zona sur (1,38%) y los menores en la zona centro (0,66%). Las desviaciones típicas obtenidas en cada zona son diferentes, siendo la zona centro la que presenta el valor más bajo de desviación, debido al uso agrícola del suelo.

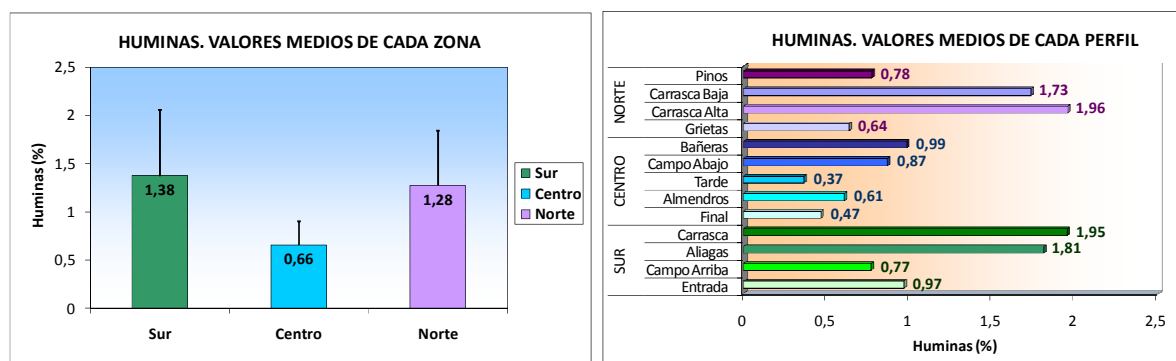


Figura 4.126. Valores medios de huminas obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.

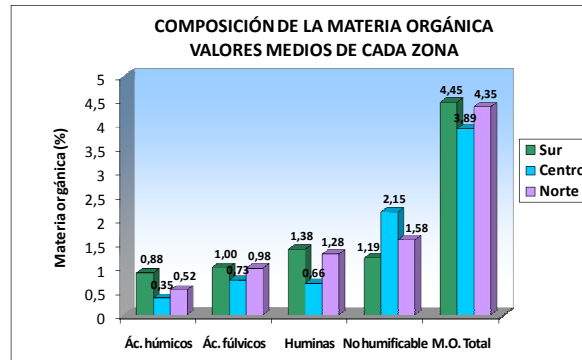
Los niveles medios de huminas obtenidos en los perfiles de la cuenca, varían de 0,37 a 1,96%.

- \* **Zona sur.** En esta zona los perfiles Carrasca y Aliagas presentan los contenidos más elevados de huminas, 1,95 y 1,81% respectivamente, observándose el valor más bajo en el perfil Campo Arriba (0,77%).
- \* **Zona centro.** Los mayores niveles de huminas de la zona centro se observan en el perfil Bañeras (0,99%), seguido del perfil Campo Abajo (0,87%). Mientras que el menor valor de huminas de esta zona se obtiene en el perfil Tarde (0,37%).
- \* **Zona norte.** En la zona norte los contenidos de huminas más altos corresponden, con diferencia, a los perfiles bajo carrascas, Carrasca Alta (1,96%) y Carrasca Baja (1,73%). En cambio, los valores más bajos de huminas se obtienen en el perfil Grietas (0,64%).

En general se observa que la exposición, más que la vegetación, es la que influye en los valores de las fracciones orgánicas, diferenciándose claramente los suelos que tuvieron una utilización agrícola.

#### 4.2.3.6.4. Composición de la materia orgánica

En la figura 4.127 se representa para las distintas zonas estudiadas en la cuenca los valores medios obtenidos en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y la materia orgánica no humificable, parámetros que forman la composición de la materia orgánica total de los suelos.



**Figura 4.127.** Valores medios de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, materia orgánica no humificable y materia orgánica total, obtenidos en las diferentes zonas de la cuenca.

En las tres zonas de la cuenca se observa que los valores medios de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina son mayores en la zona sur, le siguen los niveles obtenidos en la zona norte, siendo en la zona centro donde se alcanzan los contenidos más bajos de estas fracciones orgánicas.

En cambio, en los valores medios de materia orgánica no humificable ocurre a la inversa, contenidos más elevados en la zona centro (2,15%), valores intermedios en la zona norte (1,58%), y niveles más bajos en la zona sur (1,19%).

En cuanto a los valores medios de la materia orgánica total que presentan los suelos de los perfiles en las diferentes zonas, al igual que lo analizado anteriormente, la zona sur es la que obtiene los mayores contenidos (4,45%), se alcanzan valores intermedios en la zona norte (4,35%), observándose en la zona centro los niveles más bajos (3,89%).

#### 4.2.3.6.5. Índices de la composición húmica

Los valores medios obtenidos en los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación), en cada zona y en los perfiles de la cuenca, se muestran en la figura 4.128.

##### \* Zona sur

- **Entrada:** Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,38%), %C<sub>AF</sub> (0,25%) y %C<sub>HUM</sub> (0,56%) son ligeramente superiores a lo normal. El índice de polimerización (1,56), el índice de estabilidad estructural (0,89) y el grado de humificación (70,89%) se encuentran dentro de los rangos normales.
- **Campo Arriba:** Los contenidos en %C<sub>AH</sub> (0,56%) y %C<sub>HUM</sub> (0,45%) se consideran normales. En cambio, el contenido en %C<sub>AF</sub> (0,49%) es ligeramente superior. El índice de polimerización (1,14), el índice de estabilidad estructural (0,42) y el grado de humificación (69,44%), presentan también valores normales.
- **Aliagas:** Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,45%), %C<sub>AF</sub> (0,43%) y %C<sub>HUM</sub> (1,05%) se consideran normales, al igual que los correspondientes índices, el índice de polimerización (1,05), el índice de estabilidad estructural (1,20) y el grado de humificación (80,08%). Respecto a los valores obtenidos en el índice de estabilidad estructural y el grado de humificación, son los más elevados de la zona sur.
- **Carrasca:** Los contenidos de %C<sub>AH</sub> (0,66%), %C<sub>AF</sub> (1,15%) y %C<sub>HUM</sub> (1,13%) son normales. El índice de polimerización (0,57) se considera ligeramente bajo,



indicando aportes recientes de residuos vegetales de la propia planta, siendo el valor de este índice el menor obtenido en la zona sur. Mientras que el índice de estabilidad estructural (0,62) y el grado de humificación (72,04%) están dentro de los rangos normales.

\* **Zona centro**

- Final: Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,26%) y %C<sub>HUM</sub> (0,27%) son normales, pero el contenido de %C<sub>AF</sub> (0,60%) es ligeramente superior. El índice de polimerización (0,44) y el grado de humificación (31,64%) se consideran bajos, mientras que el índice de estabilidad estructural (0,32) está dentro de los límites normales, siendo el más bajo de la zona centro, al igual que el grado de humificación.
- Almendros: Los contenidos de %C<sub>AH</sub> (0,20%), %C<sub>AF</sub> (0,30%) y %C<sub>HUM</sub> (0,35%) son normales. El índice de polimerización (0,66) y el grado de humificación (38,93%) se consideran bajos, en cambio el índice de estabilidad estructural (0,72) está dentro de los rangos normales.
- Tarde: Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,18%) y %C<sub>AF</sub> (0,26%) se consideran normales. Sin embargo, el contenido de %C<sub>HUM</sub> (0,21%) es bajo, lo mismo ocurre con algunos índices como el índice de polimerización (0,70) y el grado de humificación (35,69%). En cuanto al índice de estabilidad estructural (0,49) puede considerarse como normal.
- Campo Abajo: Los contenidos de %C<sub>AH</sub> (0,27%), %C<sub>AF</sub> (0,47%) y %C<sub>HUM</sub> (0,50%) son normales. El índice de polimerización (0,58) es bajo, mientras que el índice de estabilidad estructural (0,68) y el grado de humificación (66,15%) presentan valores normales, siendo éste último el más elevado para esta zona.
- Bañeras: Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,12%) son bajos, mientras que los contenidos de %C<sub>AF</sub> (0,49%) y %C<sub>HUM</sub> (0,57%) se consideran elevados. El índice de polimerización (0,24) y el grado de humificación (63,82%) son bajos, en cambio el índice de estabilidad estructural (0,94) se considera normal, siendo el más elevado de la zona centro.

\* **Zona norte**

- Grietas: Los contenidos de %C<sub>AH</sub> (0,18%) y %C<sub>HUM</sub> (0,37%) son normales, pero el %C<sub>AF</sub> (0,23%) se considera bajo. El índice de polimerización (0,77) y el grado de humificación (57,88%) son bajos, mientras que el índice de estabilidad estructural (0,89) es normal.
- Carrasca Alta: Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,60%), %C<sub>AF</sub> (0,97%) y %C<sub>HUM</sub> (1,13%) están todos dentro de los rangos normales e incluso algo elevados. El índice de polimerización (0,62) se considera bajo, en cambio el índice de estabilidad estructural (0,72) y el grado de humificación (70,48%) son normales.
- Carrasca Baja: Los contenidos de %C<sub>AH</sub> (0,19%), %C<sub>AF</sub> (0,70%) y %C<sub>HUM</sub> (1,01%) se consideran normales e incluso ligeramente altos. El índice de polimerización (0,27) es bajo, siendo el menor de la zona norte. Mientras que el índice de estabilidad estructural (1,12) y el grado de humificación (72,96%) son normales, siendo ambos los más elevados de la zona norte.
- Pinos: Los valores de %C<sub>AH</sub> (0,24%), %C<sub>AF</sub> (0,36%) y %C<sub>HUM</sub> (0,45%) están dentro de los rangos normales e incluso ligeramente elevados. El índice de polimerización (0,66), el índice de estabilidad estructural (0,75) y el grado de humificación (45,70%) se consideran bajos, siendo éste último el menor de la zona norte.

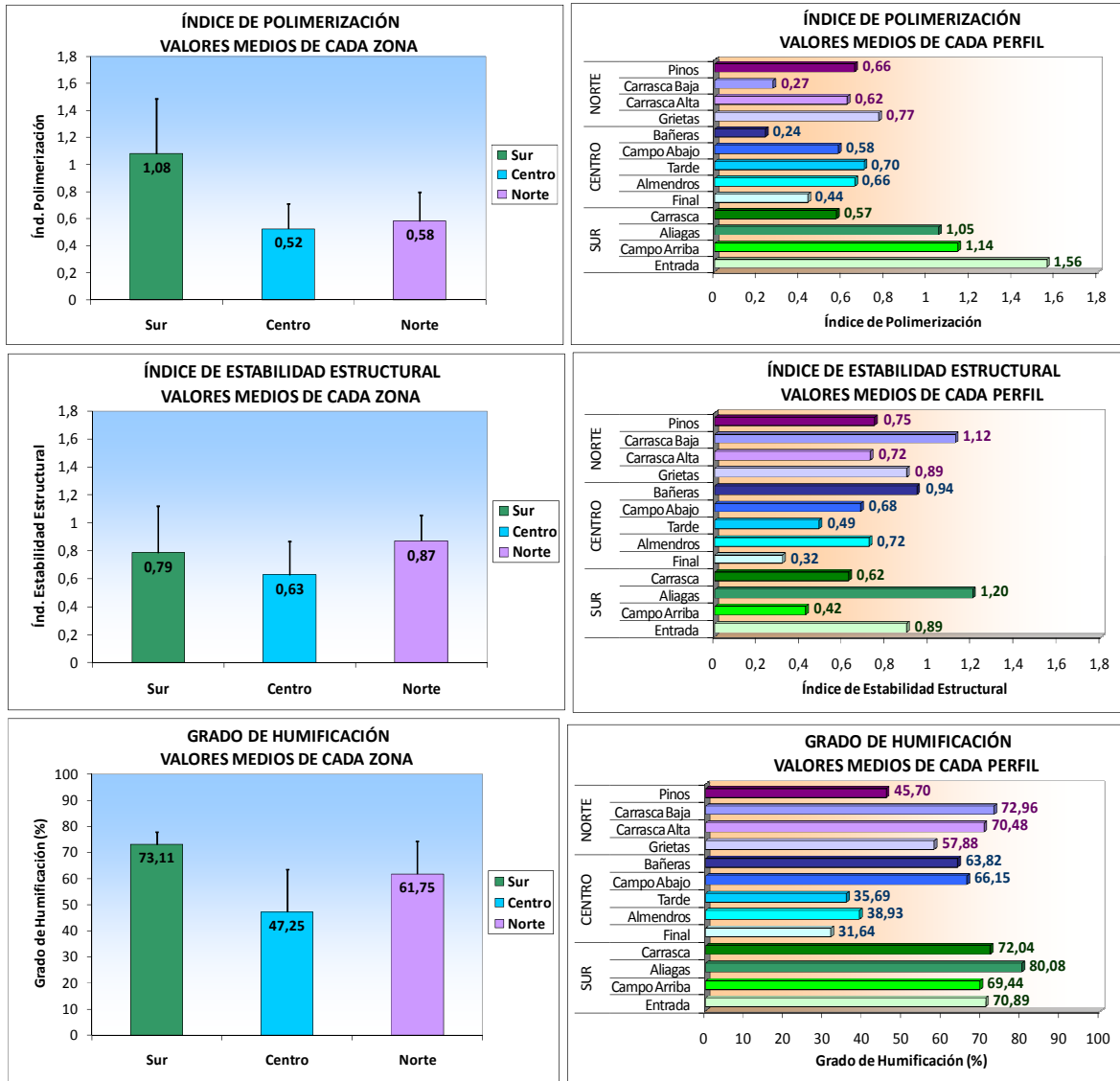


Figura 4.128. Valores medios de los índices de la composición húmica (índice de polimerización, índice de estabilidad estructural y grado de humificación), obtenidos en cada zona y en los perfiles de la cuenca.

Tanto la zona sur como la zona norte, muestran valores más elevados para todos los parámetros. Cabe destacar que en los perfiles que se desarrollan bajo aliagas o carrasca, se han obtenido buenos resultados en cuanto al grado de humificación.

Las sustancias húmicas tienen un gran interés para comprender la dinámica de la materia orgánica, dado que relaciona el tiempo de mineralización de los componentes del suelo, el aprovechamiento de nutrientes, así como la interacción con posibles iones contaminantes y su capacidad tampón. Pero la gran heterogeneidad de sus componentes en los distintos suelos, hace necesario tener en cuenta todo tipo de factores que puedan influir en su variación.

El componente orgánico del suelo se relaciona con la productividad y desarrollo de las plantas y, a su vez, el desarrollo de las plantas influye sobre la fracción orgánica del suelo. Por ello, donde las condiciones climáticas y el manejo de cultivos no favorecen el aporte de biomasa, los contenidos de carbono descienden considerablemente.

#### 4.2.4. ARTRÓPODOS COMO INDICADORES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS SUELOS DE LA CUENCA

Dentro del grupo de pobladores del suelo, se encuentran determinados taxones que son exclusivamente dependientes del suelo al ser éste el medio en el que realizan su actividad. Los colémbolos y ácaros del suelo pueden ser usados como indicadores biológicos. Los más frecuentes son los ácaros oribátidos, pero hay otros grupos que se encuentran bien representados, son los subórdenes gamasida, actinedida y acaridida (Chapman, 1982; Zhang et al., 2010).

Hay que tener en cuenta que los agro-sistemas son sistemas modificados por el hombre para su explotación y, dependiendo del tipo de prácticas realizado en cada agrosistema influirá sobre sus poblaciones de suelo.

En los sistemas agrícolas, contrariamente a los naturales, la compactación de los suelos es un factor que afecta negativamente a la fauna del suelo. Aunque autores como Tafur y Forsythe (1988), encontraron que al aumentar la compactación en un suelo cultivado el rendimiento es mayor, ya que disminuye el ataque de las larvas de *Rhissomatus subcostatus* (Coleoptera: Curculionidae) sobre los tubérculos. Y Tabaglio et al., (2009), indican que existe una abundancia mayor de colémbolos en los suelos mecanizados, ya que mantienen gran cantidad de poros y espacios libres que sirven de ruta de movimiento, escape y refugio a los colémbolos.

Christiansen et al., (1980) propone que la composición de las especies, el tamaño, número y comportamiento de algunos colémbolos, están estrechamente relacionados con las condiciones propias del suelo.

La textura y la estructura del suelo son dos factores que, junto con la compactación, pueden afectar las poblaciones de artrópodos del suelo y específicamente a los colémbolos. Sin embargo, estos cambios en el suelo obedecen a los requerimientos del cultivo. Como resultado de estas variaciones en las propiedades del suelo, las poblaciones de colémbolos reaccionan con cambios en la estructura de la comunidad (Ros et al., 2003).

Los colémbolos junto al resto de las poblaciones microbianas, desempeñan un papel muy importante en la descomposición y reciclaje de la materia orgánica, por lo que su abundancia y calidad es un indicador de la salud de los suelos (Ospina et al., 2009; Omay et al., 1997; Deharveng, 1996; Greenslade, 1991; Palacios-Vargas et al., 2000; Villalobos, 1990; Vásquez et al., 1990; Wallwork, 1976). En las áreas forestales, al igual que en los cultivos, la actividad y cantidad de biomasa microbiana se puede ver afectada por cambios en la calidad del sustrato, condiciones ambientales, contenidos altos de arcillas y baja aireación, por lo que ésta puede ser un indicador temprano de cambios ambientales (Li et al., 2007).













Respecto a la actividad biológica de los suelos de la cuenca, los grupos de artrópodos más numerosos hallados en los perfiles pertenecen a la clase insecta (colémbolos) y a la clase acari (ácaros oribátidos y gamásidos).

Los ácaros oribátidos principales indicadores de la calidad del suelo, son consumidores de residuos vegetales y de la microflora edáfica, intervienen en el ciclo de los nutrientes, formación de suelo fértil y son, por tanto, indicadores de la salud biológica y sostenibilidad del suelo (Novo, 2014).



El orden Mesostigmata (Gamasida) se desarrolla en un amplio rango de hábitats, se trata de depredadores presentes en suelos y hojarasca que se desarrollan tanto en la superficie del suelo como sobre las plantas, siendo algunos capaces de dispersarse rápidamente en suelos forestales. En los agrosistemas la fauna edáfica del orden Mesostigmata es un importante depredador de nematodos, colémbolos y larvas de insectos, y su presencia constituye un importante bioindicador.

La diferenciación más clara se observa en los suelos desarrollados sobre la ladera norte, en este caso el efecto de la cobertura, así como del régimen hídrico es decisivo en el desarrollo de las especies, obteniendo tanto mayor cantidad como biodiversidad de artrópodos. Es interesante destacar que el género Onychiuridae dentro del orden colémbola, aparece únicamente sobre calizas en la zona forestal.

Tabla 4.43. Tipos de artrópodos encontrados en los perfiles de la cuenca.

Zona	Perfil	Tipos de artrópodos	Fotografías representativas de artrópodos	
SUR	Entrada	Larvas de coleóptero (escarabaideos), colémbolos e himenópteros (hormigas).		
	Campo Arriba			
	Aliagas			
	Carrasca			
CENTRO	Final	Oribátidos, larvas de coleóptero (escarabaideos), himenópteros (hormigas) y lombrices.		
	Almendros			
	Tarde			
	Campo Abajo			
	Bañeras			
NORTE	Grietas	Colémbolos, oribátidos y gamásidos.		
	Carrasca Alta			
	Carrasca Baja			
	Pinos			

**Tabla 4.44.** Uso, litología, tipo de suelo, vegetación y número total de individuos/m<sup>2</sup> encontrados en los perfiles estudiados en la cuenca (valores medios).

Zona	Uso	Litología	Suelo (FAO, 1998)	Vegetación	Individuos/m <sup>2</sup>	Fotografías de artrópodos
NORTE	Forestal arbolado	Calizas Cretácico	<i>Leptosol lítico y eútrico</i>	Carrascal y pinos Matorral	27.451	
SUR	Forestal matorral	Calizas Cretácico	<i>Leptosol eútrico Calcisol háplico</i>	Matorral	14.582	
CENTRO	Agrícola	Cuaternario	<i>Calcisol háplico Luvisol cálcico y crómico</i>	Cereal Cultivos abandonados	7.349	

El estudio realizado pone de manifiesto la relación entre la evolución de la vegetación, en cuanto a la actividad biológica realizada por la valoración de artrópodos. Los suelos con vegetación más evolucionada, carrascas y pinos, se corresponden con el mayor número de especies de artrópodos valorados como medida del estado del suelo, principalmente por la presencia y abundancia de colémbolos y ácaros oribátidos.

También los suelos con más años de abandono de cultivos o con vegetación más evolucionada (carrascas), presentan estructura grumosa en los horizontes superficiales, lo que coincide con los valores más altos de materia orgánica y mayor actividad biológica.

Las muestras de los suelos de cultivos abandonados hace menos años o en semiabandono, presentan mayor degradación, se localizan en zona de recogida de sedimentos en la cuenca y en una zona de drenaje que se caracteriza por un mayor contenido de humedad. Estos suelos, a pesar de sus características más desfavorables, todavía presentan altos contenidos de materia orgánica que se relacionan con su actividad biológica.

Las medidas de actividad biológica son parámetros empleados (García et al., 2003; Ros et al., 2003; Nakamoto y Tsukamoto, 2006; Muñoz et al., 2007; Rutigliano et al., 2009; Mazzoncini et al., 2010) con el fin de determinar el estado de degradación y la calidad del suelo. Los resultados obtenidos muestran que, cuanto menos degradado está el ecosistema y, por tanto, mayor contenido en materia orgánica tiene el suelo, mayor es la actividad y presencia de microfauna valorada por el número de individuos.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Rutigliano et al., (2009) en estudios realizados en distintos estadios de la sucesión del ecosistema mediterráneo que se dan tras una alteración, y demuestran que el estadio más avanzado de la sucesión presenta el mayor contenido en C orgánico y actividad biológica, siendo significativamente menor en las etapas de la sucesión más degradadas.

Los efectos beneficiosos de la materia orgánica sobre las comunidades que forman parte de la fauna del suelo, son principalmente atribuidos al incremento del suministro de alimentos para los mismos. Otros factores como el aumento de los poros (Nielsen et al., 2008) favorece la extensión del hábitat, así como la formación de microclimas que son los responsables del incremento de la biota del suelo (Heisler y Kaiser, 1995). Elmer (2006) observó que la adición de determinados abonos orgánicos al suelo incrementaba el número de individuos en el suelo abonado.

El recuento total del número de individuos encontrados en los perfiles de suelos con distintos usos, cobertura y exposición (tabla 4.44), indica que el mayor número de individuos se obtiene en los suelos forestales de la ladera norte desarrollados sobre

calizas, con cobertura arbórea o matorral desarrollado. Estos resultados son similares a los obtenidos por Minor y Cianciolo (2007), en un estudio realizado en suelos con distintos usos demostraron que los suelos de un bosque clímax presentaban la mayor abundancia y diversidad de oribátidos, frente al cultivo de maíz que presentaba los valores más bajos; esto podría ser debido al mayor aporte de materia orgánica, humedad y estabilidad térmica que se dan en los suelos bajo cobertura arbórea.

Entre los suelos de cultivos abandonados más recientemente, los que mayor número de individuos totales presentan corresponden a los desarrollados sobre materiales más margosos y arcillosos en la zona más alta de la cuenca, quizás debido a su menor grado de degradación al tratarse de zonas todavía cultivadas puntualmente para grano de caza. Entre los suelos de cultivo, los suelos localizados en la zona más baja de cultivos sobre materiales cuaternarios, poseen valores mucho más elevados de los esperados, y muy superiores al resto de perfiles en esta zona. En este caso, un manejo poco intensivo y la adición de enmiendas orgánicas es posiblemente la causa de estos resultados.

En zonas de matorral, próximas a los cultivos y poco estabilizadas, los valores son elevados y bastante similares entre ambas exposiciones. Los grupos de artrópodos mayoritarios encontrados pertenecen a los grupos Colémbola, órdenes Neelipleonae, Onychiuridae y Isotomidae, y los ácaros suborden Astigmados y Gamásidos (Socarrás et al., 1999). Los grupos más frecuentes y numerosos en los dos sistemas son los colémbolos y los ácaros, siendo mayoritario el de los colémbolos..

Se aplicaron diferentes relaciones indicadas por Kssagna et al., (2006), entre los distintos tipos de artrópodos encontrados en las muestras de estudio. Hemos obtenido que la relación Astigmados/Prostigmados favorece a los Astigmados en los muestreos en suelo forestal, mientras que en el suelo de cultivo favorece a los Prostigmados. Esto indica que en las áreas poco vegetadas o en medios disturbados aparecen desequilibrios, inestabilidad y una disminución de la fertilidad del suelo, mostrando un desequilibrio de grupos de la mesofauna. Autores como Socarrás et al., (2003) y Bedano et al., (2001, 2003, 2006) utilizan esta relación como indicador del estado de los suelos.

Otra relación utilizada en los suelos es la relación ácaros/colémbolos. Autores como Prieto et al., (1991) la utilizan en diferentes agrosistemas de campos de cultivos, comprobando que en estos casos existe un predominio de ácaros, indicando una cierta perturbación del medio edáfico.



**Figura 4.129.** Artrópodos aislados en los perfiles de suelo.

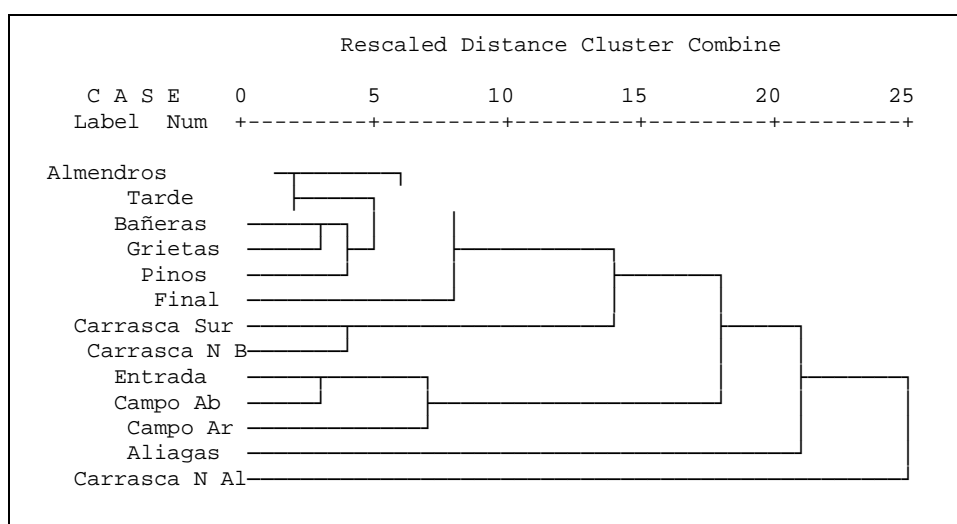
En nuestro caso, la relación colémbolos y otros meso o microartrópodos (oribátidos, astigmados, gamásidos, prostigmados y psocopteros), tienden a aumentar en los suelos agrícolas. Excepción de ello ocurre en los suelos agrícolas de la parte más alta, quizás el bajo número de individuos en general obtenidos pueda ser la causa de esta disminución que se aprecia en la tendencia. Bedano et al., (2006) encontraron que la densidad de ácaros estaba relacionada significativamente con la disponibilidad de la materia orgánica.

#### 4.2.5. ESTADÍSTICA DE LOS PERFILES DE SUELO DE LA CUENCA

Para la realización del estudio estadístico de los datos de los perfiles de suelo de la cuenca, se ha utilizado el paquete estadístico SPSS 15, con el que se ha estudiado la correlación entre variables, el dendrograma o cluster de los casos estudiados atendiendo a los horizontes superficiales de los perfiles de suelo, y el análisis de componentes principales para estudiar la forma de agrupación de las variables y el porcentaje de la varianza explicada.

##### 4.2.5.1. ANÁLISIS DEL CLUSTER O DENDROGRAMA

Con el análisis jerárquico del cluster se han confirmado las semejanzas entre los horizontes superficiales de los perfiles estudiados, ayudando a agruparlos utilizando las variables analizadas. La figura 4.130 muestra la distribución de los horizontes y el agrupamiento, en función de sus características comunes.



**Figura 4.130.** Análisis del cluster o dendrograma de los horizontes superficiales de los perfiles de la cuenca.

En primer lugar y en un nivel bajo, se agrupan los horizontes superficiales de perfiles con características similares en cuanto a propiedades físicas y químicas. De esta manera, se observa una primera agrupación entre algunos perfiles situados en la zona central más baja, que corresponde a los perfiles Almendros y Tarde, donde se obtienen bajos niveles de nitrógeno por haber tenido una utilización agrícola, así como valores bajos de estabilidad de agregados. Mientras que por otro lado, se agrupan los perfiles Bañeras (zona centro) y Grietas (zona norte), que presentan menores contenidos de carbonato cálcico y de la C.I.C., pero valores ligeramente superiores de nitrógeno, con respecto a los perfiles mencionados anteriormente. Próximo a éstos el perfil Pinos de la zona norte, que se encuentra ligeramente separado de los anteriores al localizarse en la base de la ladera norte pero próximo a los suelos agrícolas, y que se caracteriza por presentar un diferente grado de agregación (contenidos bajos de arcilla). Y por último el perfil Final de la zona centro, con un mayor contenido en materia orgánica que los anteriores, se aproxima a perfiles como Carrasca (zona sur) y Carrasca Baja (zona norte) con elevados valores de la fracción orgánica.

Por otra parte, en otro subgrupo se encuentran con características similares los perfiles Entrada (zona sur) y Campo Abajo (zona centro) que presentan contenidos altos de arcilla y considerables de materia orgánica, y estos perfiles, a su vez, se aproximan al perfil Campo Arriba de la zona sur por similitud. Se trata de suelos cultivados con idéntica utilización y diferente edad de abandono.

Finalmente, los perfiles Aliagas (zona sur) y Carrasca Alta (zona norte) se separan del resto. El perfil Carrasca Alta se caracteriza por presentar una textura más arcillosa, así como los contenidos más altos de materia orgánica, y muestra escasas similitudes con los perfiles anteriores, principalmente en cuanto al elevado contenido en dicha fracción que lo diferencia del resto.

#### **4.2.5.2. MATRIZ DE CORRELACIÓN**

Por otro lado, la matriz de correlación presenta correlaciones al 95 y 99% entre un gran número de variables de todas las estudiadas, obteniendo relaciones con elevada significación.

El contenido de carbonato cálcico presenta relación con los valores de humedad (directa con la humedad en el punto de marchitez permanente e inversa con la humedad a capacidad de campo). El contenido de materia orgánica total se correlaciona directamente con el agua útil, la humedad a capacidad de campo y los agregados de 5-2 mm, e inversamente con los contenidos de arena y limo. Además el agua útil del suelo presenta relación directa con los valores de pH en agua y el contenido de magnesio de cambio, mientras que la correlación es inversa con los contenidos de arena y limo. En cuanto a los contenidos de nitrógeno y fósforo, se relacionan directamente con los valores de conductividad eléctrica, así como con el contenido en limo (en el caso del nitrógeno) y con los agregados de 5-2 mm (en el fósforo). Los valores de pH presentan además correlación directa con los agregados de menor tamaño (<1 mm), e inversa con el contenido en limo. En relación a las bases de cambio, el magnesio se relaciona indirectamente con la humedad en el punto de marchitez permanente y con el contenido en arena, sin embargo el sodio presenta correlación directa con los agregados de 5-2 mm y con los contenidos de fósforo.



**Tabla 4.45.** Matriz de correlación de las variables correspondientes a las propiedades físicas y químicas estudiadas de los perfiles de suelo de la cuenca.

	Hv (%) en C.C. (20 Kpa)	Hv (%) en P.M. (1.500 kPa)	Agua útil para las plantas (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	10-5 mm (%)	5-2 mm (%)	2-1 mm (%)	<1 mm (%)	pH H <sub>2</sub> O	C.E. (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	N <sub>Total</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	M.O. (%)	Na <sup>+</sup> (cmol(+)/Kg)	Mg <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	Ca <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	C.I.C. (cmol(+)/Kg)	
Hv (%) C.C. (20 Kpa)	1,000**																				
Hv (%) P.M. (1.500 kPa)	-,711**	1,000**																			
Agua útil para las plantas (%)	0,212	-0,333	1,000**																		
Arena (%)	-0,269	0,515	-,762**	1,000**																	
Limo (%)	-0,105	0,096	-,874**	0,352	1,000**																
Arcilla (%)	0,428	-0,450	0,224	-0,254	-0,133	1,000**															
AG 10-5mm (%)	0,083	-0,414	0,389	-0,502	-0,186	0,553	1,000**														
AG 5-2mm (%)	0,249	-0,304	-0,064	-0,234	0,267	-0,074	0,171	1,000**													
AG 2-1mm (%)	0,152	-0,176	0,114	-0,369	0,112	-0,260	0,042	,695**	1,000**												
AG <1mm (%)	-0,162	0,033	0,522	-0,043	-,722**	0,211	0,219	-0,185	-0,040	1,000**											
pH H <sub>2</sub> O	-0,060	-0,143	,759**	-0,373	-,818**	0,352	0,274	-0,237	-0,072	,887**	1,000**										
C.E. (dS/m)	0,234	-0,283	-0,281	-0,149	0,518	0,129	-0,075	0,266	0,422	-0,501	-0,436	1,000**									
CaCO <sub>3</sub> (%)	-,736**	,582*	0,074	0,247	-0,292	-0,045	0,029	-0,417	-0,310	0,509	0,452	-0,544	1,000**								
N <sub>Total</sub> (%)	0,181	-0,292	-0,385	-0,079	,616*	0,108	-0,037	0,110	0,390	-0,433	-0,423	,897**	-0,506	1,000**							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	0,227	-0,390	-0,272	-0,086	0,458	-0,015	0,047	,590*	0,288	-0,531	-0,541	,696**	-0,523	0,465	1,000**						
M.O. (%)	,619*	-0,443	,687**	-,569*	-,567*	0,237	0,061	0,310*	0,382	0,206	0,420	0,135	-0,408	-0,099	0,061	1,000**					
Na <sup>+</sup> (cmol(+)/Kg)	0,336	-0,344	0,232	-0,453	0,004	-0,016	0,079	,790**	0,402	-0,272	-0,142	0,257	-0,460	-0,072	,662*	0,547	1,000**				
Mg <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	,573*	-,760**	,575*	-,725**	-0,287	0,440	0,315	0,076	0,228	0,024	0,300	0,270	-0,423	0,294	0,126	0,500	0,218	1,000**			
Ca <sup>2+</sup> (cmol(+)/Kg)	0,089	0,135	-0,171	0,151	0,134	-0,171	0,088	-0,292	-0,157	-0,328	-0,393	-0,171	-0,248	0,045	-0,305	-0,271	-0,413	0,018	1,000**		
C.I.C. (cmol(+)/Kg)	0,244	-0,036	-0,027	-0,030	0,061	-0,093	0,149	-0,202	-0,070	-0,343	-0,343	-0,102	-0,381	0,081	-0,231	-0,097	-0,273	0,222	,973**	1,000**	

### 4.2.5.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Se ha realizado un ACP utilizando el método de extracción para los valores de las variables obtenidas, cuyo resultado se muestra en la figura 4.131. El análisis de componentes principales indica que existen dos componentes factoriales que explican un elevado porcentaje de la varianza (54%), de manera que la primera componente (C1) contribuye con un 31% de la varianza y la segunda componente (C2) contribuye con el 23% (tabla 4.46). La matriz de componentes para C1 y C2 se muestra en la tabla 4.47.

**Tabla 4.46.** Análisis factorial y valores de la varianza explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7,225	31,413	31,413	7,225	31,413	31,413
2	5,298	23,036	54,449	5,298	23,036	54,449

**Tabla 4.47.** Matriz de componentes principales.

	Componente	
	C1	C2
Hv (%) C.C. (20 Kpa)	<b>0,855</b>	0,001
Hv (%) P.M. (1.500 kPa)	<b>-0,857</b>	-0,122
Agua útil para las plantas (%)	<b>0,690</b>	-0,056
Arena (%)	<b>0,855</b>	0,001
Limo (%)	<b>-0,857</b>	-0,122
Arcilla (%)	0,365	<b>0,842</b>
AG 10-5mm (%)	<b>-0,608</b>	-0,406
AG 5-2mm (%)	-0,071	<b>-0,913</b>
AG 2-1mm (%)	<b>0,415</b>	0,326
AG <1mm (%)	0,293	<b>0,346</b>
pH H <sub>2</sub> O	<b>0,486</b>	-0,273
C.E. (dS/m)	<b>0,409</b>	-0,172
CaCO <sub>3</sub> (%)	-0,192	<b>0,822</b>
N <sub>Total</sub> (%)	-0,001	<b>0,949</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	0,468	<b>-0,599</b>
Na <sup>+</sup> (cmol+)/Kg)	0,357	<b>-0,613</b>
Mg <sup>2+</sup> (cmol+)/Kg)	0,482	<b>-0,581</b>
Ca <sup>2+</sup> (cmol+)/Kg)	<b>0,697</b>	0,431
C.I.C. (cmol+)/Kg)	<b>0,588</b>	-0,100
M.O. (%)	<b>0,777</b>	0,454

Como se puede observar, la primera componente (C1) agrupa una mayor parte de los parámetros físico-químicos. Entre ellos destacar los parámetros con una elevada influencia inversa entre las propiedades físicas (humedad en punto de marchitez permanente, contenido de limo y agregados de mayor tamaño de 10-5 mm). Mientras que el contenido de humedad a capacidad de campo (20 kPa), agua útil, arena, agregados de 2-1 mm, y propiedades químicas (pH, C.E., calcio, C.I.C. y materia orgánica total) se muestran positivas.

La segunda componente (C2) agrupa parámetros como arcilla, agregados de menor tamaño (<1 mm), carbonatos, y nitrógeno total con influencia positiva. Mientras que los agregados de tamaño 5-2 mm, contenido de fósforo, así como los cationes sodio y magnesio, presentan una influencia negativa sobre este segundo componente.

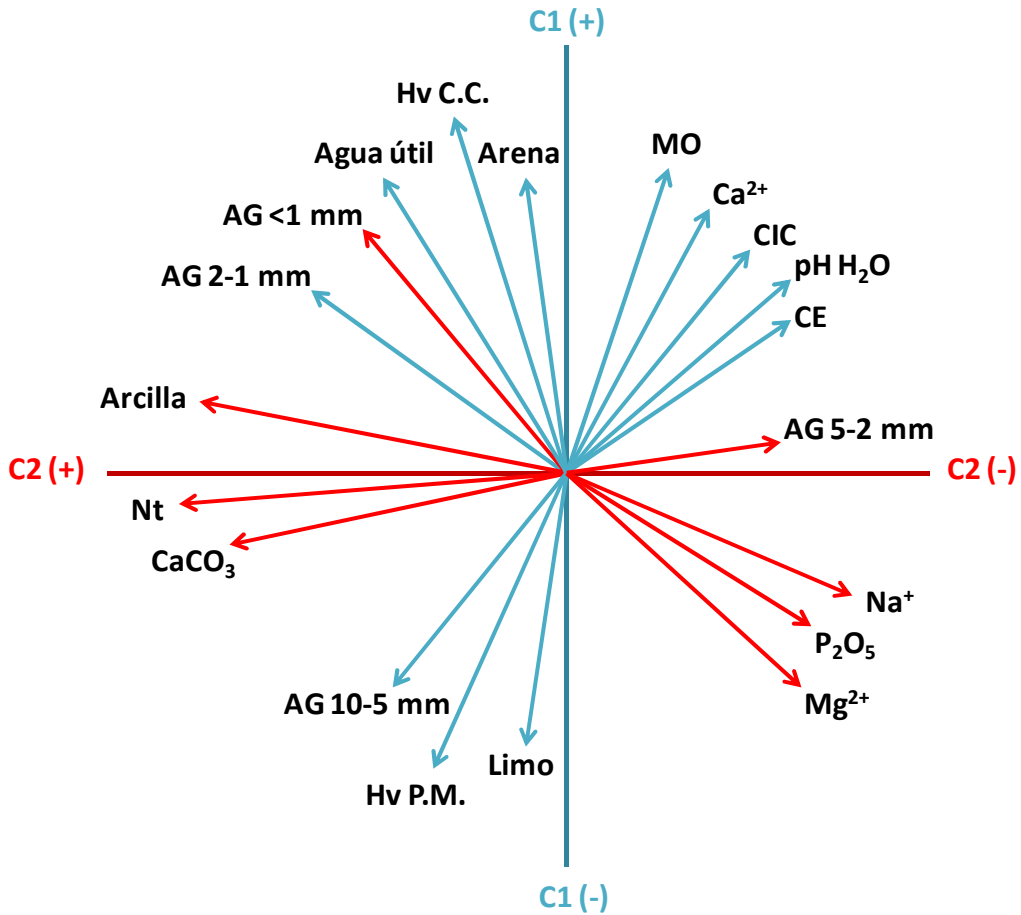


Figura 4.131. Gráfico de componentes principales.

#### 4.2.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS PERFILES DE SUELO DE LA CUENCA. EDAD DE ABANDONO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Los perfiles muestreados se localizan en bancales de 60, 45 y 15 años de abandono (5, 5 y 3 perfiles, respectivamente).

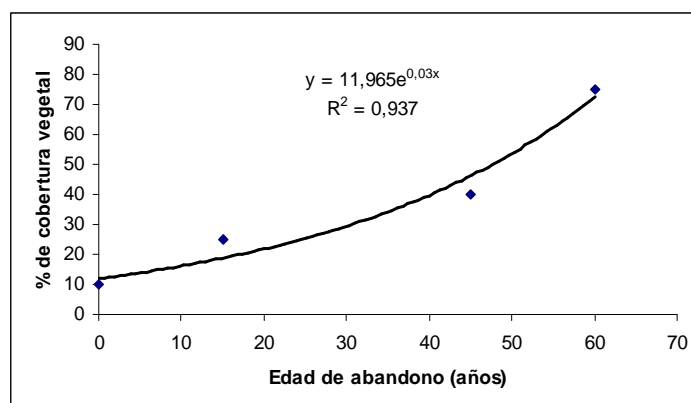
En la tabla 4.48 se indican las especies vegetales dominantes y la cobertura vegetal del suelo de las terrazas estudiadas, por grupos de edad de abandono.

**Tabla 4.48.** Evolución de la vegetación y de la cobertura del suelo tras el abandono de las prácticas agrícolas. N = nº parcelas; D.E.= Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 95%.

VEGETACIÓN	EDAD DE ABANDONO (años)		
	≤15 (N=3)	15-45 (N=5)	≥60 (N=5)
Tipo	Aliagas, aromáticas de poco porte	Herbáceas, aromáticas, aliagas, pinos	Herbáceas, matorral denso, pinos, carrasacas
% de cobertura del suelo (media ± D.E.)	25 ± 13 <sup>a</sup>	40 ± 15 <sup>a</sup>	75 ± 4 <sup>b</sup>

A medida que aumenta la edad de abandono aumenta el porcentaje de cobertura del suelo y la estructura de la vegetación se hace más compleja, pasando desde el estrato herbáceo o leñoso de poco porte y poca cobertura tras los primeros años de abandono, hasta el 75% de cobertura y los tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbolado) cuando han transcurrido al menos 60 años desde el abandono (tabla 4.48). Estos resultados son similares a los obtenidos para entornos climáticos y geomorfológicos equivalentes en el Pirineo Central (García-Ruiz et al., 1991), quienes observaron que tras 10-15 años de abandono agrícola el estrato de matorral coloniza la superficie del suelo, mientras que entre los 50 y 100 años la vegetación recupera también el estrato arbóreo.

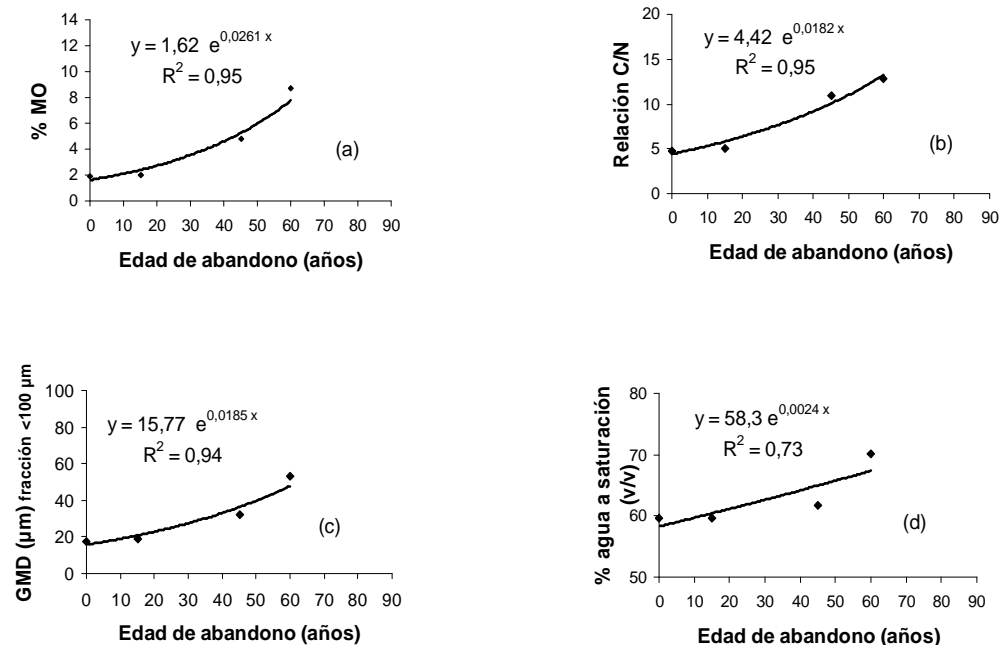
Al representar gráficamente los datos de cobertura vegetal correspondientes a los tres grupos de edad de abandono de la tabla 4.48, y añadir el valor de cobertura estimado para el bancal de abandono más reciente (10%, herbáceas fundamentalmente), y ajustar los valores medios a distintos modelos matemáticos utilizando las herramientas de Excel, el mejor ajuste se obtiene para un modelo de crecimiento exponencial. Los parámetros de dicho modelo se indican en la figura 4.132.



**Figura 4.132.** Evolución de la cobertura vegetal del suelo agrícola en terrazas marginales con la edad de abandono.

Asumiendo como válidos para este tipo de agroecosistema los valores críticos de cobertura vegetal para los que la vegetación ejerce un control de la erosión en zonas mediterráneas de clima semiárido (30%, en Francis y Thornes, 1990), al observar los datos de cobertura indicados en la figura 4.132, el agroecosistema estudiado empezaría a recuperar su funcionalidad hidrológica hacia los quince años de abandono de las prácticas agrarias.

En la figura 4.133 se indican las variaciones (valores medios) del contenido de materia orgánica del suelo (a), de la relación C/N (b), del diámetro medio de microagregados (fracción de suelo <100  $\mu\text{m}$ ) (c) y de la capacidad de retención de agua del suelo a saturación (d). Como se observa en la figura 4.133, los cambios en estas propiedades están relacionados con las variaciones en la cobertura vegetal indicadas en la figura 4.132 y, de la misma forma que ésta, los mejores ajustes se obtienen para un modelo de variación exponencial con la edad de abandono. Los parámetros del modelo y el valor de  $R^2$  del ajuste, para cada una de las propiedades indicadas, se muestran también en la figura 4.133.



**Figura 4.133.** Variaciones con la edad de abandono de las prácticas agrícolas del (a) contenido de materia orgánica del suelo; (b) relación C/N; (c) diámetro medio de microagregados (fracción de suelo <100  $\mu\text{m}$ ); y (d) % de agua a saturación.

Al comparar la tasa de variación media del % de cobertura vegetal (0,03, figura 4.132) con las correspondientes a las del contenido de materia orgánica (0,026, (a) figura 4.133); la relación C/N (0,0182, (b) figura 4.133); el diámetro medio de microagregados (0,0185, (c) figura 4.133); y el % de agua a saturación (0,0024, (d) figura 4.133), se observa claramente que dichas variaciones son relativamente bajas en los primeros años de abandono y son inducidas por el aumento de la cobertura vegetal. El efecto ecológico de la vegetación sobre el suelo que más tarda en producirse es el de la mejora de la porosidad y la retención de agua, tal como indica el parámetro del modelo que afecta al valor de  $x$  (0,0024, en el gráfico (d) de la figura 4.133. Para esta propiedad del suelo, el valor de  $R^2$  de

los modelos exponencial y lineal (no mostrado) son similares, y sus variaciones pueden explicarse a través de ambos.

Las tasas medias de variación de estas propiedades con la edad de abandono son menores que las de la cobertura del suelo, lo que resulta lógico ya que se requiere cierto tiempo de interacción de la vegetación con el suelo para que se produzca, en primer lugar, la incorporación neta de materia orgánica al suelo (gráfico a), los procesos de humificación (gráfico b), que éstos actúen facilitando los mecanismos de formación y estabilización de la estructura, aumentando las uniones entre partículas finas de limo y arcilla para formar microagregados (gráfico c) y, posteriormente, que estos cambios se traduzcan en un aumento de la capacidad de retención de agua a saturación (sin cambios significativos a capacidad de campo y punto de marchitamiento, aunque no mostrados) y, por tanto de la porosidad total (gráfico d).

En la tabla 4.49 se indica el tipo y el número de microartrópodos identificados en las muestras de suelo con distinta edad de abandono de las prácticas agrícolas.

**Tabla 4.49.** Variaciones de la actividad biológica en el suelo con la edad de abandono de las prácticas agrícolas, utilizando la población de microartrópodos como indicador. N = nº parcelas; D.E.= Desviación estándar.

MICROARTRÓPODOS	EDAD DE ABANDONO (años)		
	≤15 (N=3)	15-45 (N=5)	≥60 (N=5)
Tipo	Colémbolos	Colémbolos, oribátidos	Colémbolos, oribátidos, gamásidos
Nº de individuos y D.E.	15 ± 2	33 ± 7	45 ± 18

Además de la mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo, como puede observarse en la tabla 4.49, también se produce un aumento de la actividad biológica que se traduce en un mayor nº de microartrópodos y en una mayor diversidad de éstos. Nuestros resultados son coherentes con los encontrados por Vreeken-Buijs et al., (1998), quienes relacionan la biomasa de microartrópodos en el suelo con el tipo de suelo, y el uso con el contenido de materia orgánica. En dicho trabajo, la población de colémbolos aumenta en los suelos de pasto respecto de los agrícolas, y dicho aumento se relaciona con el aumento del contenido de materia orgánica y la porosidad del suelo. Al comparar suelos con vegetación natural de matorral y arbolado y suelos de utilización agrícola recientemente abandonados, Cerdá et al., (1998, 2012) encuentran una relación directa entre el aumento de cobertura del suelo, el aumento de la infiltración, la mejora de la agregación y la mejora de la actividad biológica. Este tipo de interrelaciones, que no son específicas de los agroecosistemas, sino que son un rasgo general de los procesos edáficos en los ecosistemas mediterráneos, han sido reconocidas ampliamente en la bibliografía (ver, por ejemplo, Imeson, 2002).

Tal como indican las propiedades físicas, químicas y biológicas del agroecosistema estudiado, se produce una mejora de la calidad del suelo con la edad de abandono, y dicha mejora depende de forma directa de la cobertura vegetal y de los aportes de materia orgánica al suelo procedente de ella. Para evaluar el alcance de dicha mejora del suelo y valorar la resiliencia del agroecosistema, podemos comparar los resultados obtenidos con los correspondientes al suelo de mejor calidad de la zona, que es el del suelo natural no cultivado. En la tabla 4.50 se indican las características correspondientes al suelo natural.

Tabla 4.50. Características del suelo natural de la zona de estudio.

% Cobertura vegetal	% MO	Relación C/N	Diámetro medio de microagregados (fracción <100 $\mu\text{m}$ )	% Hv agua a saturación
80	15	9	60	72

Al utilizar los valores correspondientes al suelo natural como variable dependiente en los modelos de variación indicados en las figuras 4.132 y 4.133, podemos estimar el tiempo tras el abandono en que se alcanzaría una recuperación de la calidad del suelo próxima a la del suelo natural. Esta recuperación se produciría entre los 60 y los 90 años tras el abandono.

Las variaciones indicadas en la figura 4.133 y en la tabla 4.49 se interpretan como el resultado de la disminución de la perturbación ejercida sobre el suelo por el laboreo, por un creciente papel de control de la vegetación sobre los procesos de erosión, y por el consiguiente aumento de microambientes edáficos más favorables (Bochet et al., 2002; Lasanta et al., 2010; Chamizo et al., 2010).

La evolución de la materia orgánica y el proceso de formación y estabilización de los agregados obtenidos, son coherentes con los resultados y los procesos edáficos obtenidos al comparar suelos labrados, no labrados y naturales en áreas tan distintas como Australia (Six et al., 1998, 1999) y Canadá (Carter, 2002). Paradójicamente, nuestros resultados difieren de los encontrados en los estudios sobre la misma problemática realizados en el área, aunque bajo condiciones climáticas más áridas y condiciones de uso tras el abandono mucho más limitantes para la recuperación del suelo y de la vegetación como son los incendios y el pastoreo (Bonet, 2004). Este hecho confirma la enorme importancia de la interacción clima-cambios de uso del suelo en los procesos de degradación o recuperación de los agroecosistemas tras el abandono de la agricultura.

Bajo condiciones de clima mediterráneo subhúmedo, las características de los suelos estudiados no perturbados por efectos antrópicos se dirigen hacia las propiedades de suelos clímax afectados por la vegetación que soportan. Estas características incluirían el contenido de materia orgánica, macroagregación y estabilidad de agregados, capacidad de intercambio catiónico y algunos de los nutrientes esenciales. Mientras que para suelos de cultivos abandonados van asociadas al proceso de recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En terrazas de agricultura marginal que no han sufrido otros cambios de uso tras el abandono, es paralelo a la recuperación de la vegetación y al incremento de materia orgánica en el suelo, y éstos aumentan exponencialmente con la edad de abandono de las prácticas agrícolas. Los datos obtenidos nos indican que los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo considerados como indicadores de la evolución de la calidad del suelo, aumentan con la edad de abandono, y dichos cambios están relacionados con la evolución de la cobertura vegetal y de la materia orgánica en el suelo. La mayor parte de las propiedades analizadas siguen un modelo de variación exponencial con la edad de abandono. La calidad del suelo mejora de forma relativamente lenta durante los primeros quince años tras el abandono, y aumenta rápidamente cuando el suelo alcanza niveles de cobertura vegetal superiores al 25%. Los resultados obtenidos sugieren que, para condiciones climáticas y experimentales similares a las de la zona de estudio, la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas a los niveles del suelo natural se produce hacia los 60-90 años del cese de las prácticas agrícolas.

### 4.3. APLICACIÓN DEL MODELO EUROSEM-2010 EN LA CUENCA DE ESTUDIO

A partir de los distintos mapas generados con el SIG de la cuenca (Abbott et al., 1986) se obtienen los diferentes polígonos, y con los datos particulares de cada polígono se crea la base de datos utilizada en el modelo de simulación EuroSEM-2010 (Quinton, 1994; Ronggui et al., 2001; Moret et al., 2007; Marignani et al., 2008; Jager, 1994; Chisci et al., 1988). El mapa del Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio (figura 4.134), muestra que la altitud de la cuenca oscila entre los 756 m hasta los 979 m. Y en el mapa litológico se diferencian dos zonas, una de litología calizas y la segunda desarrollada sobre margas (figura 4.135).

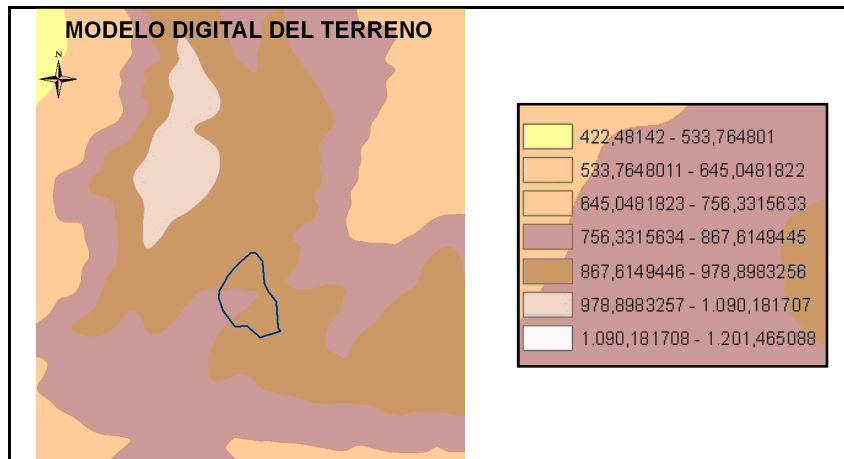


Figura 4.134. Mapa del Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio.

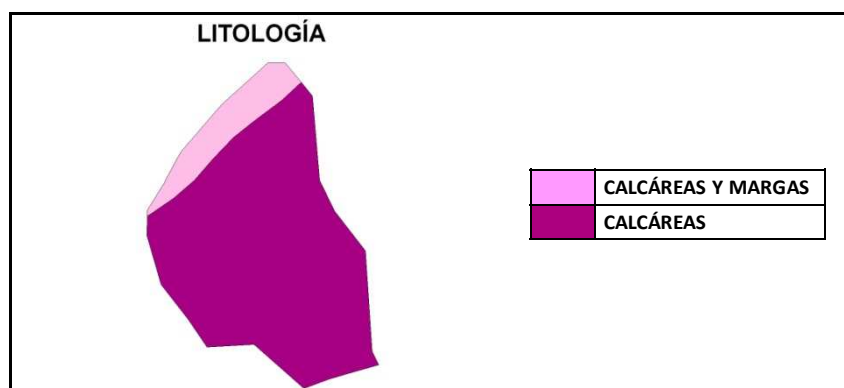


Figura 4.135. Mapa que representa las características litológicas de la cuenca de estudio.

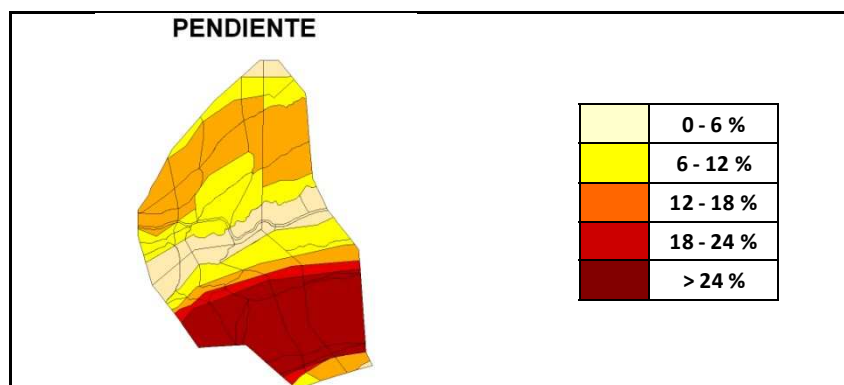
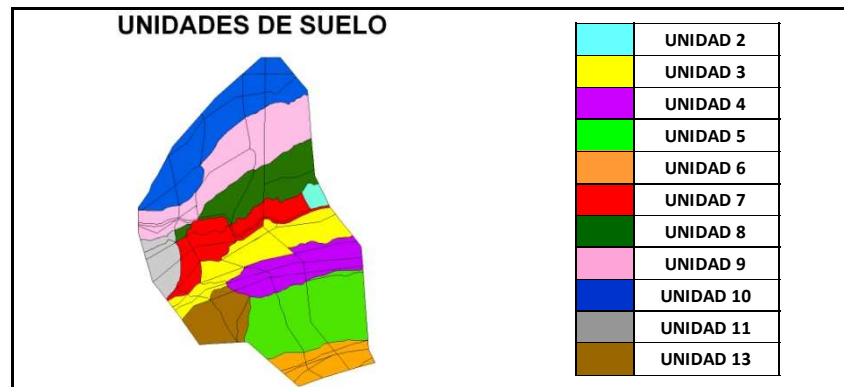
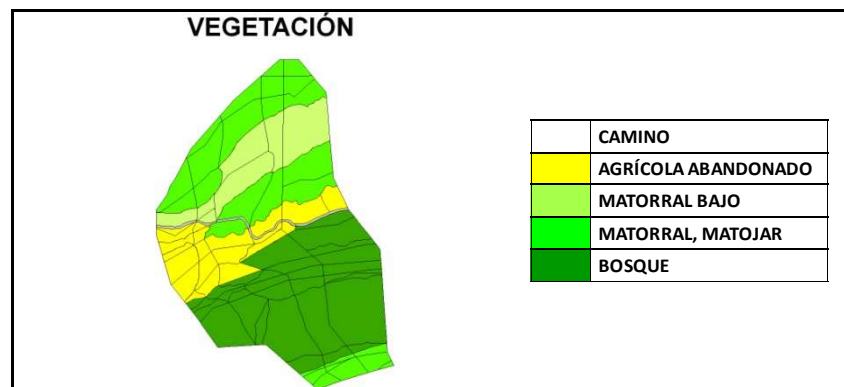


Figura 4.136. Mapa de pendientes de la cuenca de estudio.





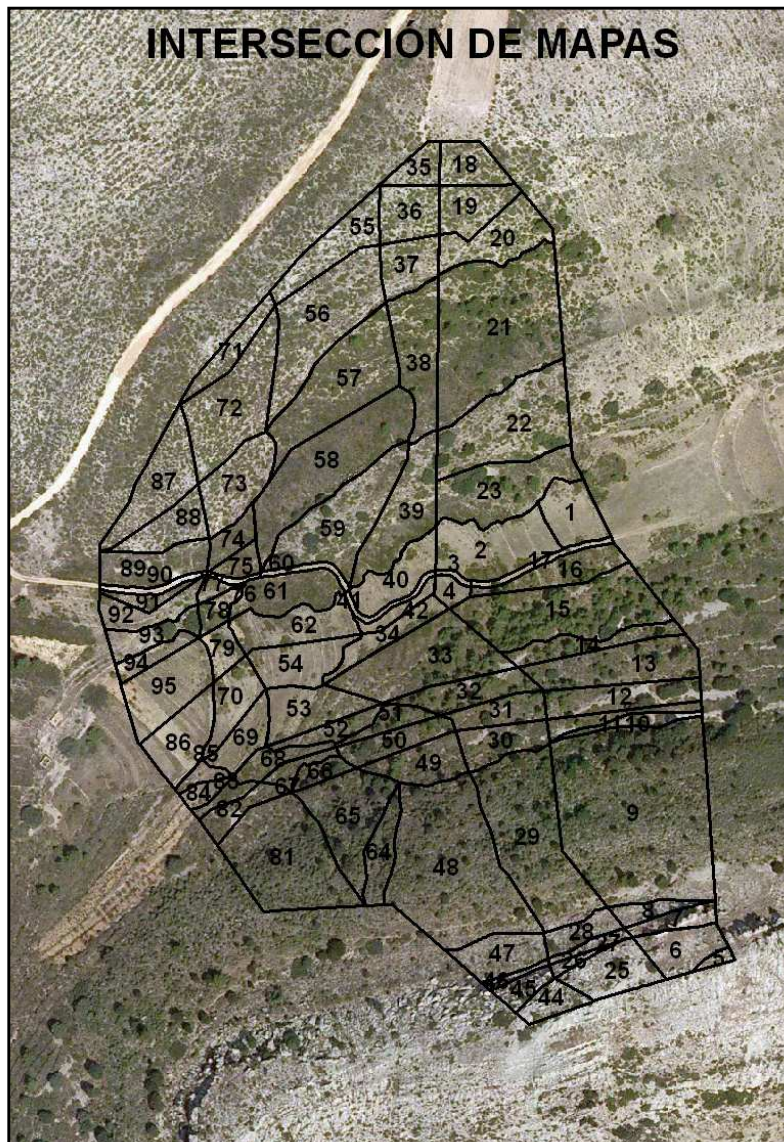
**Figura 4.137.** Mapa de las unidades de suelo de la cuenca de estudio.



**Figura 4.138.** Mapa de las unidades de vegetación de la cuenca de estudio.

La figura 4.137 muestra un total de 11 unidades de suelo en la cuenca de estudio. El mapa de vegetación delimita 5 zonas que presentan diferentes tipos de vegetación con las denominaciones camino, agrícola abandonado, matorral bajo, matorral-matojar y bosque (figura 4.138).

Para la aplicación del modelo EuroSEM se esquematiza la cuenca y se genera la base de datos del medio físico, dando como resultado el mapa de la cuenca de estudio donde se localizan los diferentes polígonos.



**Figura 4.139.** Esquema de la cuenca resultado de la intersección de los distintos mapas.

El mapa se divide en 95 polígonos (figura 4.139), con 11 cascadas de polígonos independientes que terminan todas ellas en el canal de salida de la cuenca, formado éste por 5 unidades también independientes (figura 4.140).

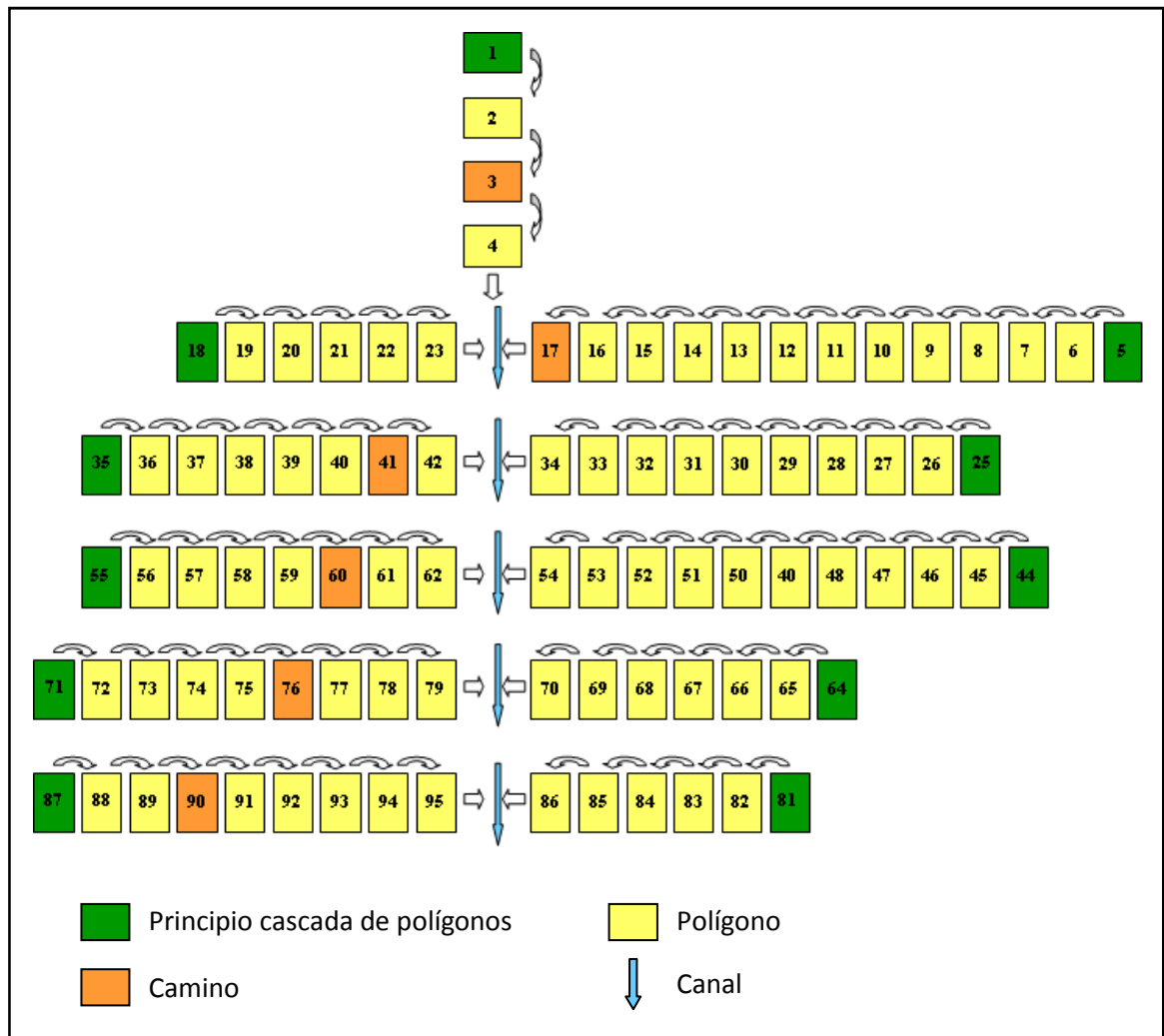


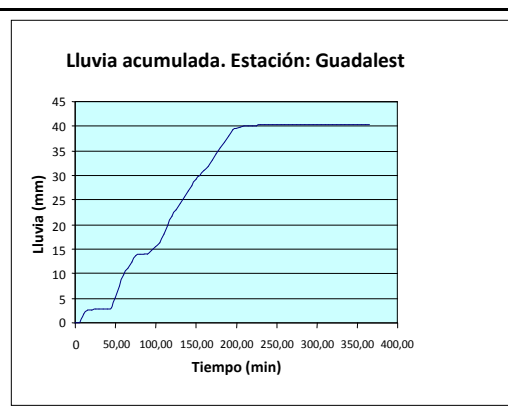
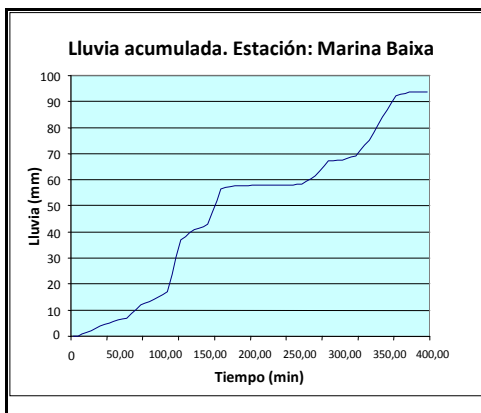
Figura 4.140. Esquema mostrando el orden de introducción de los polígonos de la cuenca en EuroSEM-2010.

#### 4.3.1. FRAGMENTACIÓN DE LOS EVENTOS DE PRECIPITACIÓN. BASE DE DATOS DE LA PRECIPITACIÓN

Los eventos de lluvia seleccionados en intervalos de 5 minutos utilizados en el modelo de simulación EuroSEM se muestran en la tabla 4.51, calculando la intensidad media en el intervalo de 30 minutos ( $I_{\max 30 \text{ min}}$ , expresada en milímetros). El valor máximo de la lluvia correspondiente a la estación pluviométrica de Guadalest (intensidad de lluvia en 30 minutos) es de 21,6 mm, mientras que para la estación pluviométrica de la Marina Baixa es de 40 mm. También se puede observar gráficamente la evolución de la lluvia, en cuanto a lluvia acumulada, en función del tiempo (figura 4.141).

**Tabla 4.51.** Datos de lluvia de la estación pluviométrica de la Marina Baixa (izquierda) y Guadalest (derecha), disgregados en intervalos de 5 minutos.

MARINA BAIXA 26/09/09 AL 1/10/09						GUADALEST 13/09/09 AL 17/09/09					
TIEMPO (min.)	LLUVIA ACU. (mm.)	I MAX 30 min. (mm.)	TIEMPO (min.)	LLUVIA ACU. (mm.)	I MAX 30 min. (mm.)	TIEMPO (min.)	LLUVIA ACU. (mm.)	I MAX 30 min. (mm.)	TIEMPO (min.)	LLUVIA ACU. (mm.)	I MAX 30 min. (mm.)
0.00	0.00	0.00	200.00	57.67	0.13	0	0.00	0.00	185	36.80	12.93
5.00	0.00	0.00	205.00	57.93	0.27	5	0.00	0.00	190	38.00	11.07
10.00	0.93	1.87	210.00	58.00	0.40	10	1.73	0.00	195	39.20	9.20
15.00	1.40	2.80	215.00	58.00	0.27	15	2.60	5.60	200	39.53	6.80
20.00	2.20	4.40	220.00	58.00	0.13	20	2.67	5.73	205	39.87	4.40
25.00	3.00	4.13	225.00	58.00	0.00	25	2.73	2.40	210	40.20	2.00
30.00	3.80	4.80	230.00	58.00	0.00	30	2.80	0.80	215	40.20	1.47
35.00	4.47	4.53	235.00	58.00	0.00	35	2.87	5.20	220	40.20	0.93
40.00	5.13	4.27	240.00	58.00	0.00	40	2.93	9.60	225	40.20	0.40
45.00	5.80	4.00	245.00	58.07	0.13	45	3.00	14.00	230	40.27	0.40
50.00	6.20	3.47	250.00	58.13	0.27	50	5.27	16.53	235	40.33	0.40
55.00	6.80	2.93	255.00	58.20	0.40	55	7.53	19.07	240	40.40	0.40
60.00	7.00	2.40	260.00	58.33	2.53	60	9.80	21.60	245	40.40	0.27
65.00	8.67	4.93	265.00	60.47	4.67	65	11.13	17.20	250	40.40	0.13
70.00	10.33	7.47	270.00	61.60	6.80	70	12.47	12.80	255	40.40	0.00
75.00	12.00	10.00	275.00	63.47	8.27	75	13.80	8.40	260	40.40	0.00
80.00	12.67	8.00	280.00	65.33	9.73	80	13.87	7.20	265	40.40	0.00
85.00	13.33	6.00	285.00	67.20	11.20	85	13.93	6.00	270	40.40	0.00
90.00	14.00	4.00	290.00	67.33	7.73	90	14.00	4.80	275	40.40	0.00
95.00	15.00	4.67	295.00	67.47	4.27	95	14.73	8.40	280	40.40	0.00
100.00	16.00	5.33	300.00	67.60	0.80	100	15.47	12.00	285	40.40	0.00
105.00	17.00	6.00	305.00	68.13	1.80	105	16.20	15.60	290	40.40	0.00
110.00	23.67	17.33	310.00	68.67	2.40	110	18.07	16.67	295	40.40	0.00
115.00	30.33	28.67	315.00	69.20	3.20	115	19.93	17.73	300	40.40	0.00
120.00	37.00	40.00	320.00	71.20	6.13	120	21.80	18.80	305	40.40	0.00
125.00	38.27	29.20	325.00	73.20	9.07	125	23.07	17.47	310	40.40	0.00
130.00	39.53	18.40	330.00	75.20	12.00	130	24.33	16.13	315	40.40	0.00
135.00	40.80	7.60	335.00	78.13	13.87	135	25.60	14.80	320	40.40	0.00
140.00	41.47	6.40	340.00	81.07	15.73	140	26.80	14.00	325	40.40	0.00
145.00	42.13	5.20	345.00	84.00	17.60	145	28.00	13.20	330	40.40	0.00
150.00	42.80	4.00	350.00	86.73	17.20	150	29.20	12.40	335	40.40	0.00
155.00	47.40	11.87	355.00	89.47	16.80	155	30.07	12.53	340	40.40	0.00
160.00	52.00	19.73	360.00	92.20	16.40	160	30.93	12.67	345	40.40	0.00
165.00	56.60	27.60	365.00	92.67	11.87	165	31.80	12.80	350	40.40	0.00
170.00	57.00	19.20	370.00	93.13	7.33	170	33.07	13.47	355	40.40	0.00
175.00	57.40	10.80	375.00	93.60	2.80	175	34.33	14.13	360	40.40	0.00
180.00	57.80	2.40	380.00	93.60	1.87	180	35.60	14.80	365	40.40	0.00
185.00	57.80	1.60	385.00	93.60	0.93						
190.00	57.80	0.80	390.00	93.60	0.00						
195.00	57.80	0.00	395.00	93.60	0.00						



**Figura 4.141.** Lluvia acumulada en función del tiempo. Estación pluviométrica de la Marina Baixa (izquierda) y Guadalest (derecha).

### 4.3.2. ESCENARIOS DE APLICACIÓN DEL MODELO EUROSEM-2010 EN LA CUENCA DE ESTUDIO

Se valora la pérdida de suelo por erosión de la cuenca hidrográfica considerando las propiedades de los suelos, la topografía e inclinación del terreno, la cobertura vegetal con las diferentes especies vegetales y el sistema radicular, los aportes de restos vegetales, el periodo vegetativo de la planta, etc., para estudiar su influencia en la aparición de flujos preferenciales.

Se han realizado 12 simulaciones aplicando el modelo EuroSEM-2010, combinando los datos de humedad del suelo, infiltración, etc., y en cada una de las simulaciones se han combinado los datos para dos épocas del año distintas, invierno y verano. Todas las simulaciones se han realizado considerando dos eventos de lluvia de intensidades medias distintas, una de carácter fuerte correspondiente a la estación meteorológica de la Marina Baixa registrada entre los días 26/09/2009 y 01/10/2009, y una lluvia de carácter moderado obtenida en la estación meteorológica de Guadalest entre los días 13/09/2009 y 17/09/2009.

**Tabla 4.52.** Esquema de las condiciones aplicadas en cada uno de los escenarios de las distintas simulaciones realizadas en la cuenca de estudio.

Lluvia: Estación meteorológica de GUADALEST				
ESCENARIOS	SIMULACIÓN	HUMEDAD	ESCENARIO	INFILTRACIÓN
a	Simulación 1	Intermedia	a1	Invierno
	Simulación 2	Intermedia	a2	Verano
b	Simulación 5	Invierno	b1	Invierno
	Simulación 6	Verano	b2	Verano
c (hidrofobia por polígono)	Simulación 9	Invierno	c1	Invierno
	Simulación 10	Verano	c2	Verano

Lluvia: Estación meteorológica de MARINA BAIXA				
ESCENARIOS	SIMULACIÓN	HUMEDAD	ESCENARIO	INFILTRACIÓN
d	Simulación 3	Intermedia	d1	Invierno
	Simulación 4	Intermedia	d2	Verano
e	Simulación 7	Invierno	e1	Invierno
	Simulación 8	Verano	e2	Verano
f (hidrofobia por polígono)	Simulación 11	Invierno	f1	Invierno
	Simulación 12	Verano	f2	Verano

#### 4.3.2.1. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario a y d: condiciones de humedad intermedia, infiltración verano/invierno, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa

En la simulación del escenario a hemos aplicado datos de humedad intermedia combinándolos con datos de infiltración de verano e invierno, realizando las simulaciones con un evento de lluvia moderado (estación meteorológica de Guadalest), con una intensidad media de 21,6 mm.

En el escenario **a1** (condiciones de invierno) (figura 4.142), la erosión se produce en la parte alta de la ladera norte y en la parte central de la ladera sur. En la ladera norte la erosión se produce íntegramente en las unidades de suelo 5 y 6, caracterizadas por la pendiente media más elevada de toda la ladera (valores superiores al 30% en la unidad de suelo 6, y cercanos al 30% en la unidad 5), ambas unidades con una capacidad de infiltración baja. La unidad de suelo 6 también se caracteriza por tener escasa cobertura vegetal, baja pedregosidad y un suelo de textura arcillosa, mientras que la unidad 5 tiene mayor cobertura vegetal y pedregosidad más elevada que la unidad de suelo 6 (tabla 4.53).

En la parte más baja de la ladera norte, como consecuencia de la disminución de la pendiente, se deposita todo el material erosionado que se produce en las unidades más altas de la ladera. Esta zona en su mayor parte está formada por las unidades de suelo 3 y 7, con uso del suelo agrícola abandonado. Estas unidades se caracterizan por tener una pendiente media muy baja con un 4% de media, una elevada capacidad de infiltración, bajos porcentajes de rocas (10%) y escasa cobertura vegetal (6%) (tabla 4.53). En la unidad de suelo 4, situada en la parte media-baja de la ladera, también se encuentran niveles parecidos de deposición. Esta unidad de suelo tiene características distintas a las unidades 3 y 7, ya que dispone de una pendiente media del 10%, una elevada cobertura vegetal (85%), la mayor de toda la cuenca, y una capacidad de infiltración baja.

En la ladera sur, en la unidad de suelo 9 con mayor pendiente de la ladera (15%), se produce casi la total erosión de la ladera (figura 4.142), además algunos de sus polígonos tienen una baja cobertura vegetal, fundamentalmente de matorral bajo, y una baja capacidad de infiltración. En este escenario, el resto de polígonos de la unidad de suelo 9 aparecen en blanco, ya que los valores de erosión/sedimentación son muy bajos o cercanos a cero, debido a que toda el agua de lluvia se infiltra y por lo tanto no hay desplazamiento de partículas sólidas.

Las zonas con mayor deposición están en la parte media-baja, correspondiéndose con las unidades de suelo 7, 8 y 11 (figura 4.142), que se caracterizan por una pendiente media baja (inferior al 10%), elevada capacidad de infiltración, así como baja cobertura vegetal (unidad 7 y 11), alcanzando en la parte más baja valores del 6% (tabla 4.53). En esta zona se sitúa el canal de salida de la cuenca, formado casi en su totalidad por la unidad de suelo 7, con pendiente muy baja y acumulación de todos los sedimentos superiores de la cuenca, se trata pues de una zona de deposición.



**Figura 4.142.** Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **a1**: invierno y **a2**: verano.

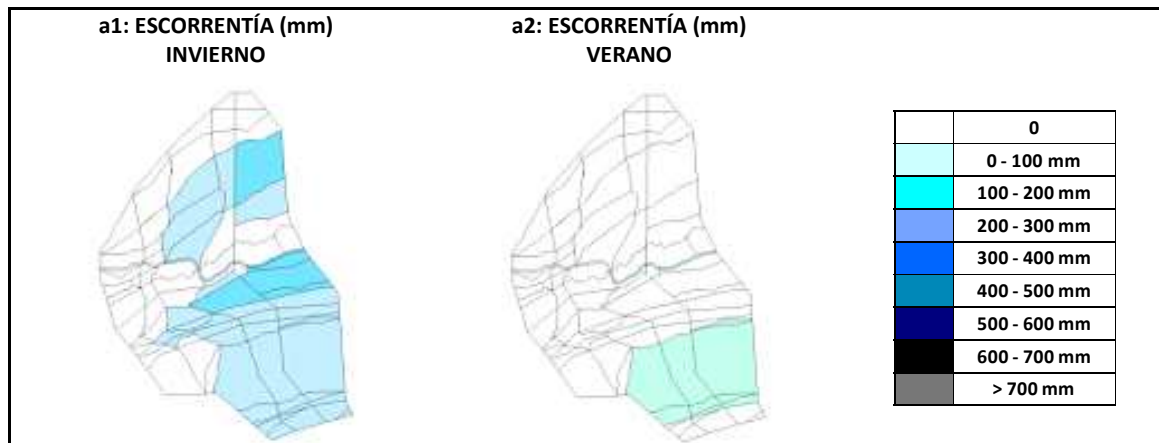
En el escenario **a2** (condiciones de verano) prácticamente toda la lluvia se infiltra, debido a que esta simulación se ha realizado con un evento de lluvia relativamente débil, utilizando datos de infiltración de verano correspondientes a la época seca del año, siendo la infiltración elevada y el contenido de humedad muy bajo. Aparecen sólo tres polígonos en la parte central de la cuenca, camino, donde se producen niveles mínimos de erosión.

**Tabla 4.53.** Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, **a1, a2:** lluvia Guadalest y **d1, d2:** lluvia Marina Baixa.

Ladera Norte	Moisture content (w/v) initial invierno a1-d1	Moisture content (w/v) initial verano a2-d2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno a1-d1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano a2-d2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 13	0.20	0.20	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	1.26
UNIDAD 7	0.20	0.20	27	32	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 6	0.09	0.09	6	12	0.42	0.15	0.20	0.015	105	0.91
UNIDAD 5	0.20	0.20	6	12	0.62	0.70	0.75	0.070	75	1.27
UNIDAD 4	0.20	0.20	3	20	0.45	0.85	0.75	0.085	75	1.35
UNIDAD 3	0.20	0.20	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	75	0.82
Ladera Sur	Moisture content (w/v) initial invierno a1-d1	Moisture content (w/v) initial verano a2-d2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno a1-d1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano a2-d2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 8	0.20	0.20	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	0.86
UNIDAD 9	0.20	0.20	2	20	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 9 (21,38)	0.20	0.20	2	20	0.42	0.15	0.20	0.015	55	0.76
UNIDAD 9 (57,58)	0.20	0.20	2	20	0.62	0.70	0.75	0.070	55	0.76
UNIDAD 10	0.15	0.15	39	49	0.45	0.85	0.75	0.085	90	0.96
UNIDAD 11	0.20	0.20	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	55	1.26

En cuanto al comportamiento de la escorrentía, en el escenario **a1** (condiciones de invierno) se comprueba que en la ladera norte los polígonos situados en las zonas más altas de la ladera presentan los valores más bajos de escorrentía. Los planos intermedios presentan escorrentía media-alta y los planos situados en la base de la ladera son los que presentan los valores más altos, debido probablemente a que tienen los valores más bajos de infiltración, cohesión alta, menor porcentaje de rocas, textura bastante fina, humedad bastante más alta y a que, por efecto topográfico, en esta zona se acumula toda la escorrentía que se produce en la ladera. En la ladera sur la escorrentía aparece en la parte media, coincidiendo con las unidades con mayor pendiente y menor cobertura vegetal (figura 4.143).

En el escenario **a2** (condiciones de verano), solamente se encuentra escorrentía en algunos polígonos de las unidades de suelo 5 y 6 de la ladera norte y en la parte central de la cuenca. La escorrentía que se encuentra en la ladera norte se corresponde con las unidades de suelo con una pendiente media más elevada junto con una escasa cobertura vegetal (unidad 6), mientras que en la parte central de la cuenca la escorrentía aparece en los polígonos que forman el camino, estos polígonos al tratarse de un camino tienen unas características particulares, como mayor cohesión y prácticamente nula cobertura vegetal, características que facilitan la escorrentía.



**Figura 4.143.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **a1**: invierno y **a2**: verano.

Las simulaciones del escenario **d** se realizaron con los mismos datos que la simulación **a**, pero aplicando a la cuenca un evento de lluvia fuerte (Marina Baixa, intensidad media 40 mm).

Los niveles de erosión en el escenario **d1** son mucho más elevados que en el escenario **a1**, debido a que el evento de lluvia aplicado tiene prácticamente el doble de intensidad media. En la ladera norte se encuentran niveles altos de erosión en la parte alta de la ladera (figura 4.144), alcanzándose en algunos polígonos (unidades de suelo 5 y 6) valores de entre 5 y 12 t/ha. La unidad de suelo 6 se caracteriza por tener la pendiente media más elevada de toda la cuenca, escasa cobertura vegetal y niveles muy bajos de infiltración (tabla 4.53). La unidad de suelo 5 tiene elevada pendiente con valores de erosión algo más bajos, probablemente por la mayor cobertura vegetal y mayor pedregosidad que facilitan los procesos de infiltración.

La deposición en la ladera norte se localiza en la parte media-baja de la ladera, y los valores más altos de deposición están en la parte más baja de toda la ladera donde se acumulan sedimentos, en la unidad de suelo 7 y en algunos polígonos de la unidad de suelo 3, con muy baja pendiente, elevada capacidad de infiltración y características de suelo agrícola abandonado, actualmente con escasa cobertura vegetal (6%) y poca pedregosidad (10%). Las unidades de suelo donde aparece la deposición media son la 4 y algunos polígonos de la unidad de suelo 3, la unidad 4 fundamentalmente tiene una pendiente media algo más elevada, así como mayor cobertura vegetal y muy bajos valores de infiltración (figura 4.144 y tabla 4.53).

La zona donde se produce mayor erosión es en la ladera sur zona media-alta. La unidad de suelo 9 presenta los valores más elevados (2 y 5 t/ha), con algunos polígonos con vegetación formada por matorral bajo, pendiente media en torno al 15%, menor cobertura vegetal que el resto de polígonos de la zona, y niveles muy bajos de infiltración. Corresponden a los polígonos con niveles más altos de erosión.

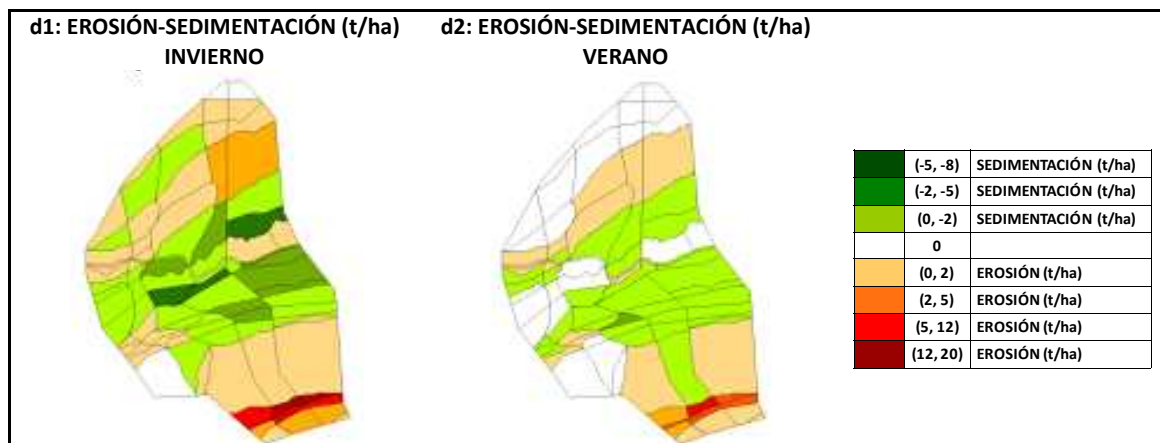
Los niveles de erosión medios corresponden a la unidad de suelo 10, con características similares a la unidad de suelo 9, pero con una capacidad de infiltración mucho más elevada.

La deposición en la ladera sur se produce en las unidades de suelo que presentan una pendiente media más baja, menor cobertura vegetal y elevada capacidad de infiltración



(unidades de suelo 8, 10 y 11). La unidad de suelo 8 presenta los niveles máximos de deposición (entre 5 y 8 t/ha).

En el escenario **d1** (lluvia fuerte de Marina Baixa, invierno) se encuentran algunos polígonos con valores de erosión máximos (12-20 t/ha) y valores máximos de deposición (5-8 t/ha), mientras que en la simulación **a1** (lluvia moderada de Guadalest, invierno) estos mismos polígonos obtienen valores máximos de erosión y deposición próximos a las 2 t/ha.

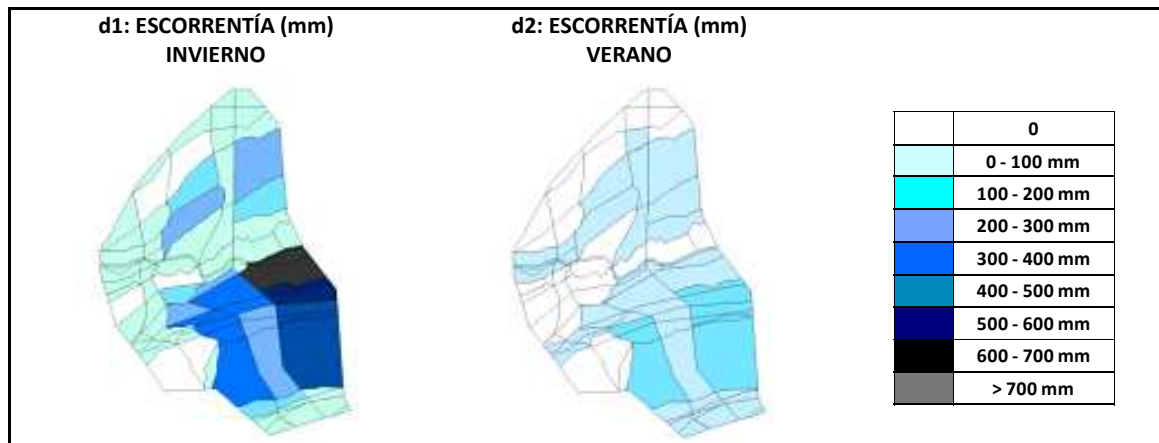


**Figura 4.144.** Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **d1**: invierno y **d2**: verano.

En el escenario **d2** (lluvia Marina Baixa, verano) se puede observar que la erosión se comporta igual que en las anteriores simulaciones, es decir, en la ladera norte se encuentran los valores más elevados de erosión, concretamente en las unidades de suelo que presentan una pendiente media más elevada, menor cobertura vegetal y valores de infiltración más bajos. Ocurre lo mismo en la ladera sur, aunque con valores más moderados. La deposición también se localiza en las unidades de suelo que tienen la pendiente media menor, una elevada tasa de infiltración y menor cobertura vegetal.

A diferencia del escenario **a2** (lluvia Guadalest, verano) donde se infiltra toda la lluvia, en el escenario **d2** (lluvia Marina Baixa, verano) se produce erosión-deposición en un elevado número de polígonos, alcanzando los valores máximos de erosión y deposición en la ladera norte, con niveles de erosión entre 5 y 12 t/ha, y niveles de deposición entre 2 y 5 t/ha.

En el escenario **d1** (lluvia Marina Baixa, invierno) se producen elevados valores de escorrentía (figura 4.145), principalmente en la ladera norte, con escorrentía en todos los polígonos a excepción de la parte oeste, en la que se localizan dos polígonos de la unidad de suelo 13 en los que toda la lluvia se infiltra. En la parte alta se encuentran los valores más bajos de escorrentía y, a medida que vamos descendiendo, los valores van aumentando hasta encontrar los niveles máximos en la parte más baja, esto es debido a que a medida que vamos descendiendo va disminuyendo la pendiente y, por ello, en la parte baja es donde se acumula prácticamente toda la escorrentía. En la ladera sur se encuentran los polígonos con mayor escorrentía en la parte central, siendo estos polígonos los que tienen mayor pendiente y menor porcentaje de cobertura vegetal.



**Figura 4.145.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **d1**: invierno y **d2**: verano.

La escorrentía en el escenario **d2** (lluvia Marina Baixa, verano) aparece también en mayor cantidad en la ladera norte, produciéndose los valores más altos en la parte alta-media de la ladera, concretamente en la unidad de suelo 5 que presenta muy baja capacidad de infiltración. En esta simulación, no se acumula la escorrentía en la parte baja de la ladera como en invierno, debido probablemente a la elevada capacidad de infiltración que presentan las unidades de suelo de esta zona en verano.

La ladera sur presenta niveles bajos de escorrentía en la parte media, coincidiendo con las unidades de suelo que presentan una mayor pendiente y una cobertura vegetal más escasa.

Al aplicar valores de infiltración de verano, por lo tanto más elevados, aparecen en la cuenca bastantes polígonos en blanco, lo que nos indica que toda la lluvia se infiltra en estos polígonos y los valores de escorrentía son próximos a cero.

En los escenarios **a** y **d**, los valores máximos de escorrentía se encuentran en la simulación **d1** (datos de invierno, lluvia Marina Baixa), donde aparecen algunos polígonos con valores de escorrentía de hasta 700 mm, mientras que en la simulación **a1**, realizada también con datos de invierno pero con una lluvia moderada (Guadalest), los valores máximos que se alcanzan son de 200 mm.

#### **4.3.2.2. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario b y e: condiciones de humedad verano/invierno, infiltración verano/invierno, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa**

La simulación del escenario **b** se ha realizado combinando los datos de humedad del suelo en invierno con capacidad de infiltración en invierno, y los datos de humedad del suelo en verano con capacidad de infiltración en verano.

En el escenario **b1** (lluvia Guadalest, invierno), al aplicar un evento de lluvia bastante moderado de la estación de Guadalest, se producen niveles bajos de erosión en ambas laderas, principalmente en la ladera norte es donde se encuentra mayor cantidad de polígonos con erosión. Estos polígonos se localizan en las unidades de suelo 5 y 6, ambas presentan la pendiente media más elevada de toda la ladera, así como una capacidad de infiltración baja. La unidad de suelo 6 también se caracteriza por tener poca cobertura

vegetal (15%) y menor pedregosidad que la unidad 5, factores que favorecen la erosión (tabla 4.54).

Como se puede apreciar en la figura 4.146, aparecen niveles bajos de deposición en la parte baja de la ladera norte (unidad de suelo 3 y algunos polígonos de la unidad 4). Estas unidades de suelo tienen características topográficas favorables, para que en ellas se depositen los sedimentos provocados por la erosión que se produce en zonas más altas de la ladera, debido a que presentan una pendiente media baja. La unidad de suelo 3, con algunos de sus polígonos con características de suelo agrícola abandonado, tiene una elevada capacidad de infiltración que junto con la escasa pendiente son los factores que favorecen la deposición.

La unidad de suelo 7, situada en la parte central de la cuenca y formando parte del canal de salida de la cuenca, es otro de los puntos donde también se localiza deposición, presentando esta unidad características muy parecidas a la unidad de suelo 3, pendiente escasa y elevada capacidad de infiltración.

En la ladera sur sólo se encuentra erosión en la unidad de suelo 9 (figura 4.146), situada en la parte media de la ladera, esta unidad se caracteriza por tener una pendiente media elevada, y algunos de sus polígonos (los formados por matorral bajo) con muy poca cobertura vegetal, sobre todo se caracterizan por tener la capacidad de infiltración más baja de toda la ladera.

La deposición en esta ladera aparece solamente en la unidad de suelo 8 que, como se puede observar en la tabla 4.54, tiene una elevada capacidad de infiltración, y una pendiente algo más moderada que las unidades de suelo colindantes.



**Figura 4.146.** Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **b1**: invierno y **b2**: verano.

En el escenario **b2**, se han aplicado datos de humedad del suelo e infiltración correspondientes a la época de verano (tabla 4.54). Sólo se produce erosión en dos polígonos de la ladera norte, y en la parte central de la cuenca en las unidades que corresponden con el camino que atraviesa la cuenca (figura 4.146), mientras que la deposición sólo aparece en dos polígonos de la parte central de la cuenca.

Los polígonos con erosión de la ladera norte pertenecen a la unidad de suelo 6, que tiene la pendiente más elevada de toda la cuenca, una baja capacidad de infiltración y una baja cobertura vegetal. Los otros polígonos que tienen erosión corresponden al camino, situado en la parte central de la cuenca, estos polígonos por tratarse de un camino tienen

unas características especiales, el suelo está más apelmazado, apenas hay vegetación y la capacidad de infiltración es muy baja.

La deposición aparece justo en dos polígonos situados en la parte inferior del camino, probablemente donde se acumula la erosión que se produce en éste.

**Tabla 4.54.** Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, **b1, b2:** lluvia Guadalest y **e1, e2:** lluvia Marina Baixa.

Ladera Norte	Moisture content (wv) initial invierno b1-e1	Moisture content (wv) initial verano b2-e2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno b1-e1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano b2-e2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 13	0.31	0.03	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	1.26
UNIDAD 7	0.21	0.03	27	32	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 6	0.18	0.04	6	12	0.42	0.15	0.20	0.015	105	0.91
UNIDAD 5	0.34	0.04	6	12	0.62	0.70	0.75	0.070	75	1.27
UNIDAD 4	0.34	0.04	3	20	0.45	0.85	0.75	0.085	75	1.35
UNIDAD 3	0.21	0.03	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	75	0.82
Ladera Sur	Moisture content (wv) initial invierno b1-e1	Moisture content (wv) initial verano b2-e2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno b1-e1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano b2-e2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 8	0.18	0.02	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	0.86
UNIDAD 9	0.24	0.02	2	20	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 9 (21,38)	0.24	0.02	2	20	0.42	0.15	0.20	0.015	55	0.76
UNIDAD 9 (57,58)	0.24	0.02	2	20	0.62	0.70	0.75	0.070	55	0.76
UNIDAD 10	0.15	0.02	39	49	0.45	0.85	0.75	0.085	90	0.96
UNIDAD 11	0.21	0.03	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	55	1.26

En el escenario **b1** (lluvia Guadalest, invierno), la escorrentía aparece en la ladera norte en todos los polígonos, a excepción de los de la unidad de suelo 13 situados en la parte oeste de la ladera, donde toda la lluvia que cae se infiltra, dados los altos valores de infiltración. En esta ladera, a medida que vamos descendiendo se va suavizando la pendiente y va aumentando la cantidad de escorrentía, encontrando los valores máximos en la zona más baja, que es el lugar donde se acumula toda la escorrentía que se produce en la ladera. En cambio, en la ladera sur la escorrentía sólo aparece en la parte media de la ladera, en la unidad de suelo 9, que es la que presenta la pendiente más elevada de toda la ladera junto con unos niveles bajos de infiltración. En las demás unidades de la ladera toda el agua de lluvia se infiltra, como se puede apreciar en la figura 4.147, apareciendo los polígonos en blanco con valores próximos a cero.

El escenario **b2** (lluvia de Guadalest, verano) presenta valores muy bajos de escorrentía, localizados en la ladera norte, y en la parte central de la cuenca en los polígonos que forman el camino. En la ladera norte aparece en las unidades de suelo que tienen una mayor pendiente media, mientras que en la parte central aparece en los polígonos que forman el camino, que como unidad de suelo tienen un comportamiento especial con altos valores de cohesión, escasa infiltración y muy poca cobertura vegetal.



**Figura 4.147.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **b1**: invierno y **b2**: verano.

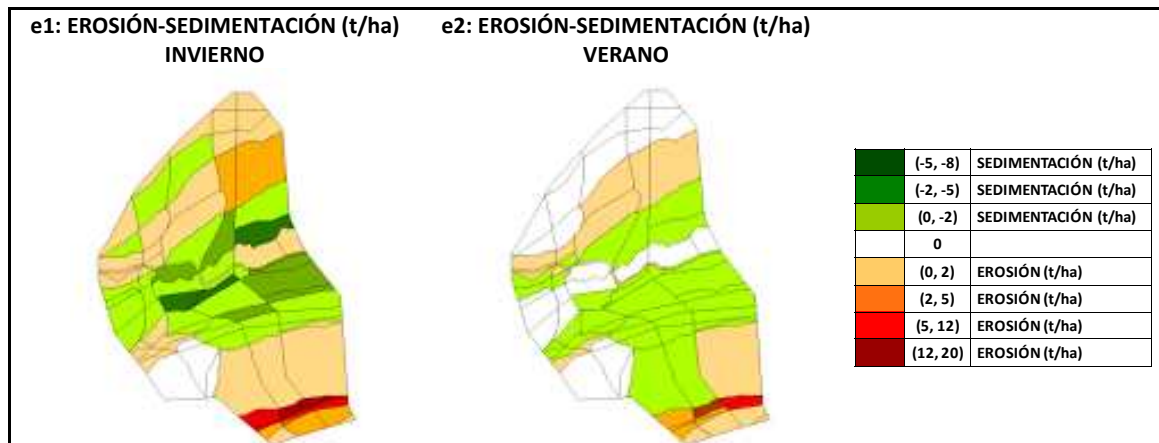
Para la simulación **e** se han aplicado los mismos datos que en la simulación **b**, pero en esta simulación se ha utilizado un evento de lluvia fuerte de la estación Marina Baixa.

Como en todas las simulaciones anteriores, en el escenario **e1** se obtienen los valores más altos de erosión en la ladera norte. En todos los polígonos de las unidades de suelo 5 y 6 se encuentra erosión, habiendo polígonos que alcanzan valores entre 12-20 t/ha. Estas unidades se distinguen del resto de unidades de la ladera norte por tener la pendiente media más elevada, también presentan baja capacidad de infiltración. En las unidades de suelo 3 y 4, se deposita toda la erosión que se produce en unidades superiores. En la unidad de suelo 4 se encuentra una deposición media, esta unidad dispone de una pendiente media moderada, una elevada cobertura vegetal y una capacidad de infiltración media. Los valores máximos de deposición en la ladera norte aparecen en la unidad de suelo 3, que se caracteriza principalmente por tener una pendiente media muy suave, por debajo del 6%, así como una elevada capacidad de infiltración, la mayor de toda la ladera.

Como se puede observar en la figura 4.148, en la parte oeste de la ladera norte aparecen varios polígonos de color blanco, lo que indica que no hay ni erosión ni deposición, esto es debido a la alta capacidad de infiltración que tiene ésta unidad y la elevada cobertura vegetal que propician que toda la lluvia se infiltre.

En la ladera sur también ocurre lo mismo que en anteriores simulaciones, los niveles máximos de erosión se localizan en la unidad de suelo 9, que es la que tiene la pendiente media más elevada junto con una baja capacidad de infiltración. También en la unidad de suelo 10 aparece erosión, pero con niveles más bajos, presentando esta unidad una pendiente media bastante suave.

La deposición aparece en la parte media-baja de la ladera, con los valores más altos en la parte baja de la ladera, donde están las unidades de suelo con menor pendiente y mayor capacidad de infiltración. También aparecen tres polígonos de la unidad de suelo 10, en la parte alta de la ladera, donde se produce deposición, esto probablemente ocurra por la elevada capacidad de infiltración de esta unidad de suelo.



**Figura 4.148.** Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **e1**: invierno y **e2**: verano.

En el escenario **e2** (lluvia Marina Baixa, verano) la cuenca responde de manera parecida, pero al tratarse de la época seca del año los niveles de erosión-deposición son bastante menores, y aparecen una serie de polígonos donde toda la lluvia se infiltra (figura 4.148). Los valores máximos de erosión también se localizan en las unidades de suelos más altas de la ladera norte, en las unidades de suelo 5 y 6 que, como se ha explicado anteriormente, son las unidades con la pendiente media más elevada y la capacidad de infiltración menor. La deposición se concentra en la parte media-baja de la ladera, en las unidades de suelo con pendiente media más suave y manteniéndose constante en una tasa de 0-2 t/ha. Por su parte, en la ladera sur se comprueba que en la zona alta toda la lluvia se infiltra, las unidades de esta zona tienen una pendiente media baja y una elevada capacidad de infiltración, lo cual hace que haya poca erosión y escorrentía. En la zona media de la ladera, en la unidad de suelo 9, se encuentran niveles discretos de erosión, esta unidad tiene la pendiente más elevada de la zona y la capacidad de infiltración más baja. En la parte más baja de la ladera es donde se depositan los sedimentos, también en un nivel muy discreto. En la parte central de la cuenca aparecen todos los polígonos en blanco, esto indica que toda la lluvia se infiltra, ésta es la zona de toda la cuenca donde la pendiente media es menor y donde se acumula la escorrentía de toda la ladera.

En el escenario **e1** (lluvia Marina Baixa, invierno) se producen niveles elevados de escorrentía, llegando a alcanzar valores de más de 700 mm en algunos polígonos. Se encuentran los valores más altos de escorrentía en la ladera norte, en la parte más alta aparecen los niveles más bajos y a medida que vamos descendiendo va aumentando, encontrando los niveles más altos en la parte más baja, donde la pendiente es menor (figura 4.149), y observando claramente la influencia de la vegetación.

En la ladera sur no ocurre lo mismo que en la norte, ya que los niveles más altos de escorrentía se encuentran en la parte media de la ladera, coincidiendo con las unidades de suelo que tienen mayor pendiente, en los demás polígonos aparece escorrentía pero en niveles más bajos, sin que ésta se llegue a acumular de forma importante en la parte baja de la ladera. En ambas laderas aparecen polígonos donde toda el agua de la lluvia se infiltra directamente, estos polígonos pertenecen a unidades de suelo con una alta capacidad de infiltración.



**Figura 4.149.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **e1**: invierno y **e2**: verano.

En todas las simulaciones **b** y **e**, se comprueba que los valores más altos de erosión-deposición y de escorrentía se producen en las simulaciones realizadas para la época de invierno, es decir, los escenarios **b1** y **e1**. También se observa con claridad, como el evento de lluvia fuerte (Marina Baixa) es el que provoca los niveles más altos de erosión-deposición y escorrentía. Los valores más altos de erosión-deposición y de escorrentía se encuentran en la simulación **e1**, donde se alcanzan los valores máximos de erosión en la ladera norte, con valores entre 12 y 20 t/ha en algunos polígonos, y los valores máximos de deposición en la ladera sur y la parte central de la cuenca, llegando a obtener valores de 5-8 t/ha. Los niveles más altos de escorrentía aparecen en la parte central de la cuenca y la parte más baja de la ladera norte, donde se alcanzan valores de más de 700 mm.

En invierno, el suelo tiene niveles de humedad más altos, mayor saturación de agua y una capacidad de infiltración menor, factores que favorecen la erosión-deposición y la escorrentía.

#### **4.3.2.3. Comparación de los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 al escenario c y f: condiciones de humedad verano/invierno, infiltración verano/invierno, valores k hidrofobia variables para cada polígono, con eventos de lluvia Guadalest/Marina Baixa**

Se han realizado simulaciones **c** y **f** considerando un coeficiente de hidrofobia específico ( $k$ ), en función de las características de cada polígono, obtenido para cada especie vegetal dominante.

Para ello, se ha tenido en cuenta el tipo de vegetación y sus características en cada polígono, estimando el coeficiente  $k$  de hidrofobia (tabla 4.55) de acuerdo con los valores de hidropelencia determinados por Soriano et al., (2003) para las especies vegetales presentes en esta zona, en función de la época del año (Capriel et al., 1995; Contreras et al., 2003; Giovanini et al., 1983; Nacci et al., 1991; De Gryzze et al., 2006). Además, se ha aplicado el tiempo de encharcamiento de cada unidad de suelo, en base a los datos de las simulaciones de lluvia realizadas por Boix-Fayos (1999). También se han aplicado los datos de humedad del suelo e infiltración en función de la época del año, realizando las simulaciones con dos eventos de lluvia de intensidades distintas, utilizando los datos meteorológicos de las estaciones de Guadalest y Marina Baixa.

Tabla 4.55. Coeficiente de hidrofobia (k) aplicado en los escenarios c y f.

UNIDADES DE SUELO	k INVIERNO	k VERANO
UNIDAD 2	0,08	0,55
UNIDAD 3 POLÍGONOS 11, 34, 35	0,15	0,35
UNIDAD 3 POLÍGONOS 12, 13, 36, 37, 38, 39, 73, 75, 76	0,108	0,12
UNIDAD 4	0,086	0,152
UNIDAD 5	0,068	0,173
UNIDAD 6	0,15	0,35
UNIDAD 7	0,08	0,55
UNIDAD 8 POLÍGONOS 47, 78, 90	0,05	0,6
UNIDAD 8 POLÍGONOS 0, 16, 61	0,15	0,35
UNIDAD 9 POLÍGONOS 48, 49, 50, 77, 86, 89	0,044	0,12
UNIDAD 9 POLÍGONOS 17, 59	0,037	0,127
UNIDAD 9 POLÍGONOS 51, 52	0,031	0,135
UNIDAD 10	0,02	0,7
UNIDAD 11	0,2	0,4
UNIDAD 13	0,068	0,173
CANAL	0,02	0,7
CAMINO	0,95	0,9

En el escenario **c1** (lluvia Guadalest, invierno), se encuentran los niveles más altos de erosión en la ladera sur, concretamente en la unidad de suelo 9 (figura 4.150), esta unidad se caracteriza por tener la pendiente media más elevada de toda la ladera y una baja capacidad de infiltración, además en esta simulación por sus características se le ha aplicado un coeficiente de hidrofobia muy bajo, que provoca que la duración de la repelencia sea mayor en el tiempo, como consecuencia del conjunto de factores se obtienen valores más altos de erosión. En la parte inferior de la unidad de suelo 9 es donde se acumula la deposición, en esta zona se encuentra la unidad de suelo 8. En esta unidad 8 la pendiente es mucho más moderada y la capacidad de infiltración es alta. En la parte alta de la ladera se observa que toda la lluvia se infiltra directamente.

En la ladera norte, se encuentran valores homogéneos de erosión en prácticamente todos los polígonos de las unidades de suelo 5 y 6. Estas unidades se caracterizan por su elevada pendiente y su baja capacidad de infiltración. La deposición también se localiza en la parte inferior de estas unidades, el efecto topográfico provoca que la erosión producida en las unidades más altas se deposite en las unidades más bajas como son las unidades 3 y 4. La unidad 3 se caracteriza por tener la pendiente media más baja y una elevada capacidad de infiltración.

En la simulación **c2** (lluvia Guadalest, verano) prácticamente toda la lluvia se infiltra, esto se debe a que se trata de una lluvia débil aplicada en unas condiciones de verano, es decir, con muy poca humedad en el suelo y con una capacidad de infiltración muy elevada. Se aprecia erosión en dos polígonos de la unidad de suelo 6, en la ladera norte, justo en la zona donde la pendiente es más pronunciada, y en la parte central de la cuenca en los polígonos que forman el camino que atraviesa la cuenca, al tratarse de un camino tiene características particulares (cobertura vegetal y pendiente). Se encuentran valores bajos de deposición en dos polígonos situados justo debajo del camino.



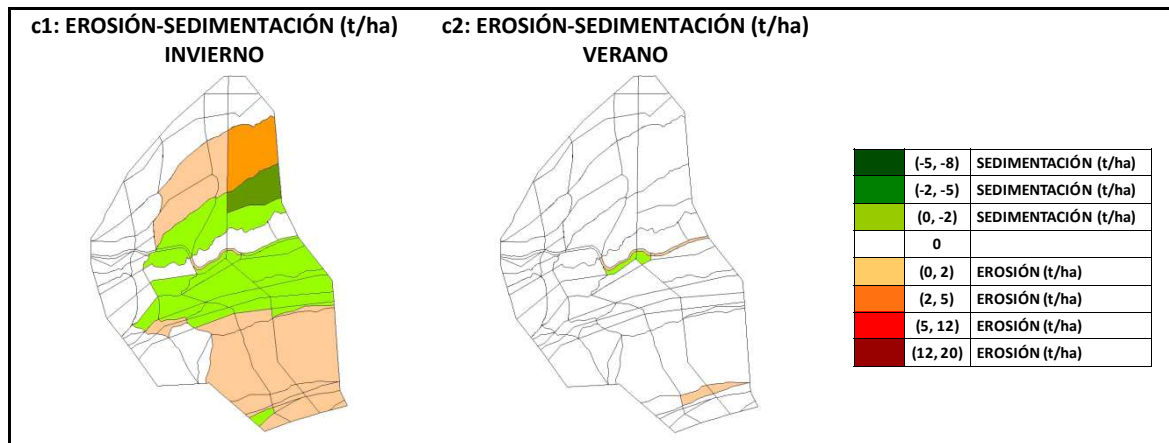


Figura 4.150. Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **c1**: invierno y **c2**: verano.

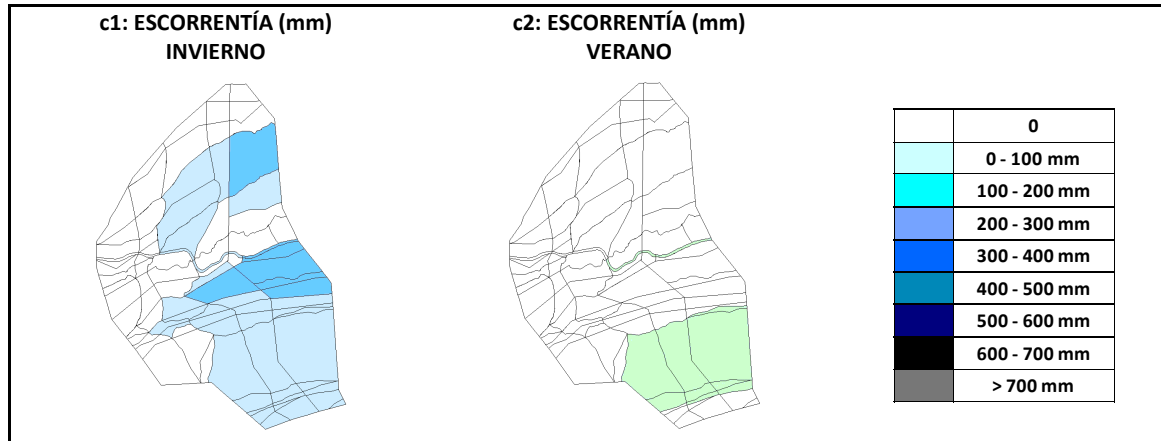
Tabla 4.56. Detalle de los datos de entrada aplicados en EuroSEM-2010 para las unidades de suelo de las laderas norte y sur para las simulaciones de invierno y verano, **c1**, **c2**: lluvia Guadalest y **f1**, **f2**: lluvia Marina Baixa.

Ladera Norte	Moisture content (w/v) initial invierno c1-f1	Moisture content (w/v) initial verano c2-f2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno c1-f1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano c2-f2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 13	0.31	0.03	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	1.26
UNIDAD 7	0.21	0.03	27	32	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 6	0.18	0.04	6	12	0.42	0.15	0.20	0.015	105	0.91
UNIDAD 5	0.34	0.04	6	12	0.62	0.70	0.75	0.070	75	1.27
UNIDAD 4	0.34	0.04	3	20	0.45	0.85	0.75	0.085	75	1.35
UNIDAD 3	0.21	0.20	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	75	0.82
Ladera Sur	Moisture content (w/v) initial invierno c1-f1	Moisture content (w/v) initial verano c2-f2	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) invierno c1-f1	Saturated hydraulic conductivity (mm/h) verano c2-f2	Rock fragment cover (fraction)	Canopy cover (fraction)	Plant height (m)	Plant basal area (fraction)	Initial recession factor (mm)	DW's M Interrill (m)
UNIDAD 8	0.18	0.02	39	49	0.05	0.70	0.75	0.070	75	0.86
UNIDAD 9	0.24	0.02	2	20	0.10	0.06	0.25	0.006	55	0.76
UNIDAD 9 (21,38)	0.24	0.02	2	20	0.42	0.15	0.20	0.015	55	0.76
UNIDAD 9 (57,58)	0.24	0.02	2	20	0.62	0.70	0.75	0.070	55	0.76
UNIDAD 10	0.15	0.02	39	49	0.45	0.85	0.75	0.085	90	0.96
UNIDAD 11	0.21	0.03	39	54	0.10	0.06	0.25	0.006	55	1.26

En el escenario **c1** la escorrentía está presente en casi todos los polígonos de la ladera norte (figura 4.151), apareciendo los valores bajos en la zona alta donde la pendiente es más pronunciada y la capacidad de infiltración es más baja, y encontrando los valores más elevados en la parte más baja de la ladera, donde pese a su elevada capacidad de infiltración por efecto de la topografía se produce acumulación en la parte baja.

En la ladera sur no ocurre lo mismo, ya que los valores de escorrentía más elevados se encuentran en la parte media de la ladera, en la unidad de suelo 9. Esta unidad presenta la pendiente media más elevada de toda la ladera y una baja capacidad de infiltración. Casi la totalidad de la escorrentía de esta ladera se encuentra en esta unidad, sin que se acumule en la parte inferior como ocurre en la ladera norte, probablemente porque su capacidad de infiltración supera los valores de escorrentía.

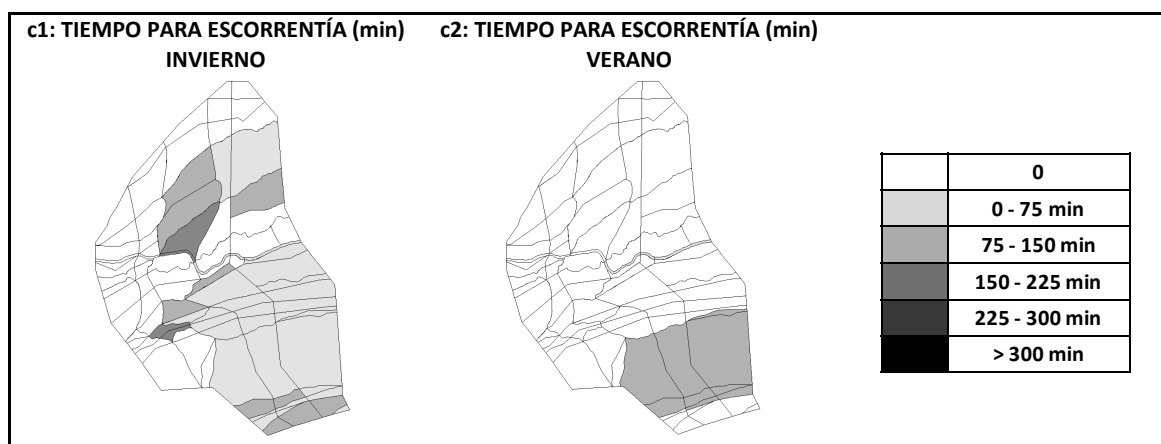
En el escenario **c2** (lluvia Guadalest, verano), hay niveles de escorrentía muy bajos en la ladera norte y en la parte central de la cuenca. En la ladera norte se encuentra en la parte media-alta, en las unidades con elevada pendiente y baja capacidad de infiltración, mientras que en la zona central se localiza en los polígonos que forman el camino (figura 4.151).



**Figura 4.151.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **c1**: invierno y **c2**: verano.

El comportamiento del tiempo necesario para que empiece la escorrentía, en el escenario **c2** (condiciones de verano), presenta en general una respuesta conforme a los valores del coeficiente de hidrofobia  $k$ . En este sentido, algunos polígonos de las unidades de suelo 8 y 9, tienen valores más bajos de  $k$  que junto con valores altos de infiltración, hacen que se alargue el tiempo de inicio de la escorrentía. También la unidad de suelo 5, por ejemplo, tiene un tiempo más largo aunque su valor de  $k$  sea un poco más alto, dado que posee un valor de infiltración bajo.

Solamente en algunos polígonos, debido a la influencia de otros parámetros como la infiltración, humedad, pedregosidad, pendiente, etc., dan respuestas diferentes (figura 4.152). Así, las unidades que presentan tiempos más largos para la producción de escorrentía se localizan en las unidades 3, 4 y 6, aún teniendo los valores más altos de  $k$ . También otros ejemplos como las unidades 9 y 10 confirman bajos tiempos de inicio de la escorrentía asociados a valores bajos de  $k$ .



**Figura 4.152.** Representación cartográfica del tiempo necesario para que empiece la escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Guadalest, escenarios **c1**: invierno y **c2**: verano.

En el escenario **c2** (condiciones de verano) en general los tiempos son bajos o casi instantáneos para iniciar la escorrentía, como resultado de las características de repelencia de la superficie del suelo. Sólo las unidades de suelo 5 y 6 tienen tiempos más largos, probablemente debido a sus porcentajes de pedregosidad y moderada infiltración que hacen que el tiempo se alargue más. En ambas simulaciones, en algunos polígonos es también un factor determinante la pendiente media (figura 4.136) que favorece tiempos más breves.

La tabla 4.55 muestra los valores de *k* estimados en cada polígono, a partir de los valores medios por especies vegetales (tabla 4.57), para los polígonos de cada unidad de suelo en situación de invierno y verano.

**Tabla 4.57.** Valores medios del coeficiente de hidrofobia (*k*) de las especies vegetales presentes en la cuenca de estudio, en condiciones de invierno y verano.

	Rosmarinus officinalis INVIERNO	Quecus rotundifolia INVIERNO	Juniperus oxycedrus INVIERNO	Brachypodium retusum INVIERNO	Pasillo pedregoso INVIERNO
Repelencia al agua (min)	15.8	5.5	8.6	129.4	0.4
K hidrofóbica estimada	0.2	0.55	0.35	0.02	0.95
	Rosmarinus officinalis VERANO	Quecus rotundifolia VERANO	Juniperus oxycedrus VERANO	Brachypodium retusum VERANO	Pasillo pedregoso VERANO
Repelencia al agua (min)	18	39.7	7.7	4.7	3
K hidrofóbica estimada	0.14	0.08	0.4	0.7	0.9

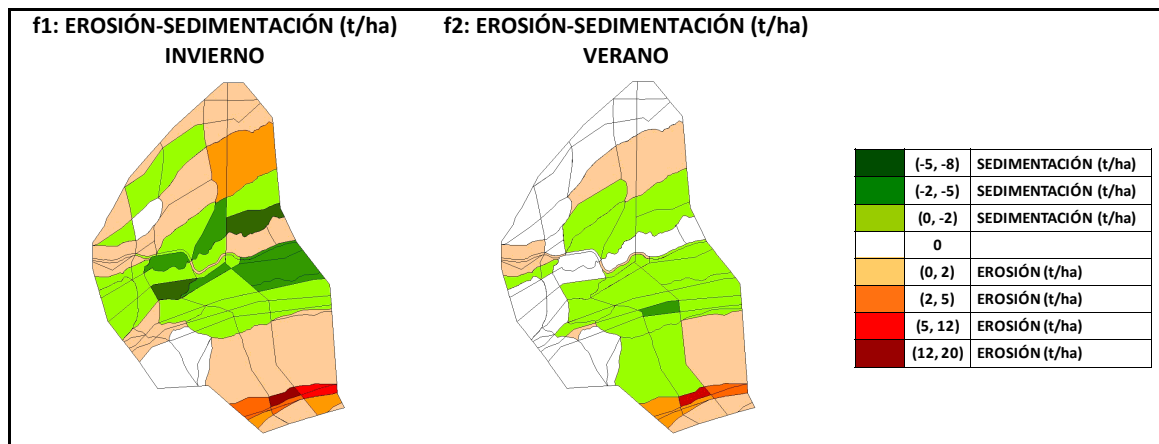
La simulación **f** se ha realizado utilizando un evento de lluvia fuerte (estación meteorológica de la Marina Baixa).

El comportamiento de la erosión en el escenario **f1**, básicamente es similar al de las anteriores simulaciones, pero al aplicar un nuevo parámetro como es un coeficiente de hidrofobia característico de cada polígono, los valores son más similares a la realidad. Los niveles más altos de erosión se encuentran en la ladera norte, en la unidad de suelo 6, esta unidad tiene una pendiente media alta, una baja capacidad de infiltración, muy poca cobertura vegetal y baja pedregosidad, factores que propician la erosión, sobretodo al aplicar un evento de lluvia de fuerte intensidad como en este caso. En la unidad de suelo 5 aparecen niveles más moderados de erosión, esta unidad también posee una pendiente elevada y una baja capacidad de infiltración, pero a diferencia de la unidad de suelo 6 tiene una elevada cobertura vegetal, motivo por el que se reducen bastante los niveles de erosión. La deposición en esta ladera aparece en las zonas más bajas, encontrando los niveles más altos en las unidades de suelo 3 y 7, situadas en la parte inferior, donde la pendiente es muy baja y la capacidad de infiltración es alta, estos suelos tienen características de suelo agrícola abandonado con escasa cobertura vegetal y muy poco contenido en piedras. En la unidad de suelo 4 se encuentran los niveles medios de deposición, esta unidad tiene la pendiente media bastante moderada, una baja capacidad de infiltración, así como una alta cobertura vegetal (figura 4.153).

En la ladera sur se mantiene la tendencia de las simulaciones anteriores, los niveles más altos de erosión aparecen en la zona media de la ladera, en la zona donde la pendiente media es más elevada y la capacidad de infiltración es más baja, correspondiendo con la

unidad de suelo 9 que se caracteriza también por tener bajos niveles de cobertura vegetal en algunos de sus polígonos. Paradójicamente aparecen niveles bajos de erosión en la parte alta de la ladera, en la unidad de suelo 10, que tiene una elevada capacidad de infiltración, probablemente al aplicarle a esta unidad un coeficiente de hidrofobia muy bajo ( $k = 0,02$ ), que hace que se mantenga durante más tiempo la hidrofobia, y provoque que en algunos polígonos aparezcan niveles bajos de erosión.

La deposición se localiza en la parte más baja de la ladera, en la unidad de suelo 8, donde la capacidad de infiltración es muy elevada y la pendiente es más baja.

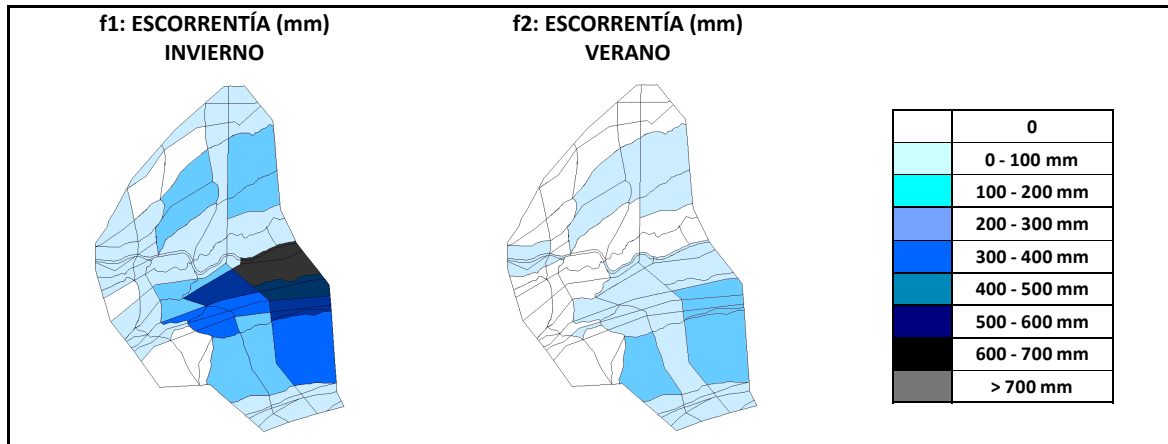


**Figura 4.153.** Representación cartográfica de los valores de erosión-sedimentación que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **f1**: invierno y **f2**: verano.

La escorrentía en el escenario **f1** (invierno) se produce fundamentalmente en la ladera norte, apareciendo los niveles más bajos en la parte alta de la ladera y los niveles más altos en la parte más baja, esto es debido a que por efecto topográfico a medida que vamos descendiendo la ladera va disminuyendo la pendiente, de manera que en la parte baja es donde se acumula toda la escorrentía de la ladera (figura 4.154). Es lógico que esta ladera presente los niveles más altos de escorrentía de la cuenca, ya que en esta ladera también es donde aparecen los niveles más elevados de erosión.

La ladera sur se comporta de manera diferente, en esta ladera los niveles más altos de escorrentía se encuentran en la zona donde la pendiente media es más elevada y la capacidad de infiltración menor, en la unidad de suelo 9, sin llegarse a acumular la escorrentía en la parte baja de la ladera, en las demás unidades de suelo de la ladera aparecen niveles bajos de escorrentía.

En el escenario **f2** (verano) la escorrentía es mucho menor, se localiza principalmente en la parte media-alta de la ladera norte, justo en la unidad de suelo 5, que está por debajo de la unidad de suelo donde se producen los niveles de erosión mayores, en los demás polígonos de la ladera hay escorrentía pero en niveles mucho más bajos. En la ladera sur, sólo aparece escorrentía en la unidad de suelo 9 que, como se ha citado anteriormente, es la zona de la ladera con la pendiente más elevada y la capacidad de infiltración más baja.



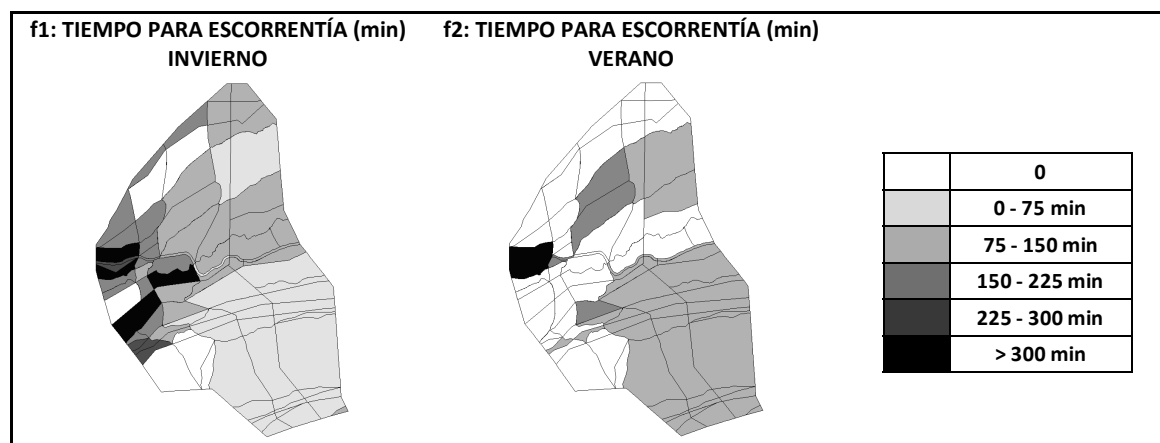
**Figura 4.154.** Representación cartográfica de los valores de escorrentía que se producen en la cuenca en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **f1**: invierno y **f2**: verano.

El tiempo que tarda en aparecer la escorrentía, en los escenarios **f1** (condiciones de invierno) y **f2** (condiciones de verano), tiene un comportamiento distinto (figura 4.155). En las unidades de suelo 4, 5, y 6 de la ladera norte, la escorrentía tarda más tiempo en aparecer en verano (escenario **f2**), debido a que en esta época del año el suelo presenta los valores más bajos de humedad y la capacidad de infiltración es mayor. En la unidad de suelo 13 de esta misma ladera, el tiempo para que empiece la escorrentía es prácticamente igual a cero en las dos épocas del año, ya que toda la lluvia se infiltra, esta unidad tiene valores altos de infiltración en verano y en invierno, siendo su coeficiente de hidrofobia mayor en verano.

En la ladera sur, las unidades de suelo 8 y 10 necesitan más tiempo para que comience la escorrentía en invierno (escenario **f1**), época en la que el coeficiente de hidrofobia  $k$  presenta valores mucho más pequeños que en verano (tabla 4.55), lo cual haría pensar en un tiempo más breve, sin embargo, probablemente en la respuesta predominan otras características de la superficie del suelo que hacen que se invierta la tendencia. El tiempo necesario para que comience la escorrentía en verano es casi cero en prácticamente todos los polígonos, debido fundamentalmente a que en esta época del año ambas unidades de suelo tienen un coeficiente de hidrofobia bastante elevado, lo que hace que la repelencia del suelo sea escasa, sumando a una alta capacidad de infiltración y un bajo contenido de humedad en el suelo. La unidad de suelo 9, también de la ladera sur, se comporta de manera distinta al resto de unidades de la misma ladera, necesitando menos tiempo para que comience la escorrentía en invierno, época en la que presenta un contenido en humedad del suelo elevado y muy baja capacidad de infiltración, mientras que en verano el contenido de humedad en el suelo es escaso y la capacidad de infiltración es más elevada, factores que hacen que la escorrentía tarde más tiempo en empezar.

En la parte central de la cuenca se observa que el comportamiento de la unidad de suelo 7 es el mismo que el de las unidades de suelo de la ladera norte, es decir, en invierno con un coeficiente de hidrofobia mucho más bajo y un contenido en humedad del suelo mayor, necesita menos tiempo para que comience la escorrentía. Las demás unidades de suelo de la parte central de la cuenca, la unidad 2 y la 11, presentan un comportamiento similar al de la ladera sur, en invierno (escenario **f1**) con un coeficiente de hidrofobia menor y un mayor contenido de humedad en el suelo, necesitan más tiempo para que comience la escorrentía, mientras que en verano (escenario **f2**) al tener un coeficiente de hidrofobia

mayor, junto con una elevada capacidad de infiltración y un bajo contenido de humedad del suelo, el tiempo es prácticamente igual a cero.



**Figura 4.155.** Representación cartográfica del tiempo necesario para que empiece la escorrentía en las simulaciones realizadas con lluvia de Marina Baixa, escenarios **f1**: invierno y **f2**: verano.

En los escenarios **c** y **f** los valores más altos de erosión-deposición y escorrentía se localizan íntegramente en el escenario **f1** (datos de invierno, lluvia Marina Baixa). En esta simulación aparecen los valores más elevados de erosión en la ladera norte, alcanzando valores de 12-20 t/ha, mientras que los valores máximos de deposición se localizan en la ladera sur y la parte central de la cuenca, con valores que oscilan entre las 5-8 t/ha. En cuanto a la escorrentía, los valores más altos se localizan íntegramente en la parte central de la cuenca y en la parte más baja de la ladera norte, alcanzando valores de hasta 700 mm.

### 4.3.3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS EN LOS ESCENARIOS DE APLICACIÓN DEL MODELO EUROSEM-2010

#### ▪ En cuanto a escorrentía superficial:

1. Los valores más altos de escorrentía se presentan en la simulación realizada con los datos de invierno y la lluvia Marina Baixa (**d1** y **e1**). Los valores más altos se localizan en la parte central de la cuenca y en la parte más baja de la ladera norte, alcanzando valores de hasta 600-700 mm (unidad de suelo 3 y 4). En la ladera sur, los valores más elevados de escorrentía se localizan en la parte central de la ladera, en la unidad de suelo 9, alcanzando valores de hasta 200-300 mm.
2. En las simulaciones realizadas con datos de invierno con la lluvia Guadalest (**a1** y **b1**), el comportamiento de la escorrentía superficial es similar al de las anteriores simulaciones, sin embargo, los niveles de escorrentía son considerablemente menores, máximos de escorrentía entre 100-200 mm, tanto en la parte baja de la ladera norte (unidad de suelo 3) como en la parte media de la ladera sur (unidad de suelo 9). Aparecen un mayor número de polígonos donde prácticamente toda la escorrentía es nula.
3. Los escenarios de verano con la lluvia Guadalest (**a2** y **b2**), presentan valores muy bajos de escorrentía, alcanzando valores máximos de 100 mm, sólo en la ladera norte (unidad de suelo 5) y en la parte central de la cuenca en los polígonos que forman el

camino, que tienen un comportamiento especial con altos valores de cohesión, escasa infiltración y cobertura vegetal.

4. En los escenarios de verano con la lluvia Marina Baixa (**d2** y **e2**), se observa un aumento de la escorrentía principalmente en la ladera norte, donde se alcanzan valores máximos de entre 100-200 mm (unidad de suelo 5), en las demás unidades de esta ladera los valores de escorrentía obtenidos se sitúan entre 0-100 mm. En la ladera sur, se presentan valores de escorrentía comprendidos entre 0-100 mm en la mayoría de sus polígonos.
5. Todas las zonas de pendiente media alta que presentan alta escorrentía se caracterizan por tener baja capacidad de infiltración, elevada humedad del suelo y escasa cobertura vegetal.
6. Los polígonos que presentan mayor escorrentía en las zonas bajas de ladera se caracterizan por tener alta cohesión, menor porcentaje de rocas, textura bastante fina, humedad relativamente más alta pese a tener valores altos de infiltración y disposición topográfica con pendientes muy bajas. En esta zona, se acumula la escorrentía debido a un fenómeno de saturación del terreno, ya que los aportes que recibe son superiores a su capacidad de infiltración.
7. La exposición de las laderas es un factor importante en la pérdida del suelo, pues modifica la cobertura vegetal y las interferencias y, como consecuencia, la escorrentía superficial.

▪ **En cuanto a erosión-sedimentación:**

8. En los escenarios **a**, **b**, **d** y **e**, los valores más elevados de erosión-sedimentación se encuentran en las simulaciones realizadas con datos de invierno combinadas con un evento de lluvia fuerte (lluvia Marina Baixa), escenarios **d1** y **e1**. Los valores máximos de erosión se localizan en la ladera norte (unidades de suelo 5 y 6), alcanzándose valores de erosión de entre 12-20 t/ha. En la ladera sur, la zona donde mayor erosión se produce es la unidad de suelo 9, concretamente estos polígonos tienen mayor pendiente y menor cobertura vegetal, esta unidad también se caracteriza por tener una baja capacidad de infiltración.
9. La deposición se localiza fundamentalmente en ambas laderas en la parte media-baja (unidades de suelo 8 y 11 en la ladera sur, y unidades de suelo 3 y 4 en la ladera norte), y en la zona central con uso agrícola abandonado (unidades de suelo 2 y 7), estos polígonos tienen pendientes medias bajas, rugosidad superficial moderada-alta y alta capacidad de infiltración.
10. En las simulaciones realizadas con datos de invierno aplicando la lluvia Guadalest (**a1** y **b1**), se reduce considerablemente la cantidad de erosión-sedimentación. Los valores de erosión son similares en ambas laderas, oscilando entre 0-2 t/ha y localizándose en las unidades más altas de la ladera norte (unidades de suelo 5 y 6), así como en la unidad de suelo 9 situada en la parte central de la ladera sur, todas estas unidades se caracterizan por una elevada pendiente, baja capacidad de infiltración y elevado contenido de humedad en el suelo. La sedimentación aparece en la parte media-baja de ambas laderas y en la parte central de la cuenca, con valor máximo de 2-5 t/ha en algunos de los polígonos de la unidad de suelo 8. En toda esta zona se encuentra una disminución importante de la escorrentía, así como una elevada capacidad de infiltración y muy bajo contenido de humedad en el suelo.

**11.** En las simulaciones realizadas combinando los datos de verano con la lluvia Marina Baixa (escenarios **d2** y **e2**), la respuesta de la cuenca es parecida a las simulaciones realizadas con datos de invierno. Se reducen considerablemente los niveles de erosión-sedimentación en toda la cuenca, es mayor el número de polígonos donde la escorrentía es prácticamente nula. Los niveles más altos de erosión aparecen en la parte alta de la ladera norte, con valores de entre 5-12 t/ha, mientras que en la ladera sur los valores de erosión son de 0-2 t/ha, íntegramente en la unidad de suelo 9. La sedimentación se deposita en la parte baja de ambas laderas, presentando valores homogéneos de 0-2 t/ha.

**12.** En las simulaciones realizadas combinando datos de verano con la lluvia Guadalest (**a2** y **b2**), apenas existe erosión-sedimentación en la cuenca. Casi la totalidad de la lluvia se infiltra, solamente se encuentran niveles mínimos de erosión (0-2 t/ha) en dos polígonos de la unidad de suelo 5, y en el camino que atraviesa la parte central de la cuenca. La sedimentación se localiza exclusivamente en la parte inferior del camino, que es donde se deposita la escasa erosión que se produce en éste.

▪ **En cuanto a tiempo para que empiece la escorrentía:**

**13.** El comportamiento del tiempo necesario para que empiece la escorrentía presenta diferentes valores en los escenarios **f1** (condiciones de invierno) y **f2** (condiciones de verano) realizados con la lluvia Marina Baixa, en la simulación **f2** las unidades de suelo de la ladera norte necesitan más tiempo para que empiece la escorrentía, debido a que en esta época del año el suelo presenta valores más bajos de humedad y la capacidad de infiltración es mayor.

**14.** En el escenario **c2** (condiciones de verano) aplicando la lluvia Guadalest, los tiempos para que empiece la escorrentía son prácticamente instantáneos o muy bajos, resultado de la combinación de las características del suelo y de los valores de repelencia aplicados para esta época del año.

**15.** En general, en igualdad de condiciones superficiales y características del horizonte superficial, la pendiente media es también factor determinante, cuanto más pronunciada es favorece tiempos más breves.

**16.** En base a los resultados obtenidos, se puede decir que la respuesta hidrológica está regulada fundamentalmente por los valores de infiltración y los contenidos de humedad inicial.

▪ **En resumen:**

Aplicando el modelo EuroSEM-2010 de predicción de pérdida del suelo y considerando los parámetros relacionados con las propiedades físicas, químicas e hidrológicas de los suelos, presencia y arquitectura de la vegetación y geomorfología, teniendo como base los estudios realizados precedentemente en la zona de estudio integrándolo con nuevos parámetros, se ha evaluado la respuesta hidrológica e identificado la dirección de los flujos preferenciales de la cuenca hidrográfica, estimando las zonas sujetas a erosión por pérdida de suelo y a deposición por acúmulo de sedimentos en diferentes hipótesis de escenarios, a partir del modelo digital del terreno generando los mapas de pendientes, suelo, litología y vegetación. Y la esquematización de la cuenca hidrográfica y polígonos con los requisitos de EuroSEM-2010, como resultado de la intersección de la información de los distintos mapas.



Los resultados obtenidos de la aplicación del modelo de valoración de la erosión en la cuenca de estudio tras realizar 12 simulaciones, combinando los datos de infiltración y humedad del suelo para dos épocas del año diferentes, invierno y verano, y considerando dos eventos de lluvia de intensidades medias distintas, lluvia moderada (Guadalest) y lluvia fuerte (Marina Baixa), se pueden resumir en los puntos que se detallan a continuación.

Los valores más elevados de escorrentía superficial se encuentran en las simulaciones realizadas con datos correspondientes a la época de invierno, cuando el contenido en humedad del suelo es mayor y la capacidad de infiltración del suelo es menor.

Los polígonos situados en las zonas bajas de ladera que presentan mayor escorrentía, se caracterizan por tener alta cohesión, menor contenido de rocas, textura bastante fina, humedad relativamente más alta a pesar de tener valores elevados de infiltración y pendientes muy bajas. En esta zona, la escorrentía se acumula debido a un fenómeno de saturación del terreno, debido a que los aportes que recibe son superiores a su capacidad de infiltración.

En la mayor parte de los escenarios, los valores más elevados de erosión-sedimentación se encuentran en las simulaciones realizadas con datos de invierno combinadas con un evento de lluvia fuerte (lluvia Marina Baixa).

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que la respuesta hidrológica está regulada fundamentalmente por los valores de infiltración y los contenidos de humedad inicial, siendo de menor importancia la influencia de los coeficientes de hidrofobia, es decir, sólo en los casos en que los tres parámetros siguen una tendencia paralela se pone en evidencia la importancia, y conllevan diferencias significativas las variaciones del coeficiente de hidrofobia en los primeros momentos de la simulación de lluvia.



**Figura 4.156.** Bancales abandonados en la cuenca de estudio.

La exposición de las laderas se manifiesta como un factor importante en la pérdida del suelo, dado que modifica la cobertura vegetal y las interferencias y, como consecuencia, la escorrentía superficial.

La utilización del modelo EuroSEM-2010 ha permitido subdividir el área de estudio en unidades hidrológicas en forma de planos homogéneos interconectados por canales de flujo, y representar el movimiento del agua y los sedimentos en la cuenca hidrográfica. Como modelo de predicción se muestra útil, tanto para la identificación, valoración y cuantificación de las zonas con riesgo de pérdida de suelo por erosión, así como de las zonas de deposición efectivas.

La información derivada de la aplicación del modelo EuroSEM-2010, pone en evidencia los puntos críticos donde se presentan fenómenos erosivos, esto es de gran relevancia a la hora de aplicar medidas paliativas, específicas según la problemática de cada zona, para prevenir y mitigar la erosión del suelo y sus efectos sobre el territorio.

## **5. CONCLUSIONES**

## 5. CONCLUSIONES

La caracterización de los suelos desarrollados en condiciones ambientales semihúmedas de la zona de estudio localizada en el municipio de Castell de Castells, en las proximidades del pico Cocoll, muestra una gran variabilidad temporal y espacial, observando que el factor vegetación influye de manera directa sobre las propiedades de los suelos allí desarrollados, siendo un factor clave sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

Los suelos desarrollados corresponden a Luvisoles, Calcisoles y Leptosoles, con un contenido elevado de microporos y arcilla que eleva el agua retenida por la estructura del suelo.

La vegetación herbácea favorece altos contenidos de humedad gravimétrica del suelo con una disminución temporal al final del invierno, y de abril a julio, con gran variabilidad entre especies. El aumento del contenido de humedad junto a la acción agregante de las raíces eleva la estabilidad de los agregados, obteniendo tanto para suelo seco como húmedo, la mayor estabilidad bajo la especie *Brachypodium retusum*, seguido por los suelos bajo aromáticas y leñosas de mayor porte, y por último pasillos, hecho que se manifiesta también en los meses en los que existe aumento de precipitación (enero y octubre), con un acusado descenso en meses secos (julio).

La vegetación de cobertura continua como la cubierta de *Brachypodium retusum*, produce la disminución de la densidad aparente, así como el mantenimiento de la humedad en el suelo y la estabilidad de la estructura. Las plantas aromáticas favorecen igualmente la disminución de la densidad aparente, posiblemente por el aporte de residuos vegetales que realiza un efecto protector sobre la estructura del suelo, mejorando su estabilidad y la formación de agregados de mayor tamaño. Los máximos valores de densidad aparente se han obtenido en los suelos de los pasillos, y se corresponden con una mayor compactación y mínima porosidad, indicando de nuevo el efecto beneficioso de la vegetación.

Los suelos de los pasillos sin vegetación poseen baja porosidad, y disminuye todavía más con el aumento de la pedregosidad, debido a la compactación del suelo y al paso de aire y solutos.

Temporalmente se observa la disminución de los valores medios de porosidad en los meses fríos y un aumento desde marzo hasta junio, a partir de este mes los valores vuelven a descender, obteniendo valores bajos los meses de septiembre y enero.

El estado de agregación se manifiesta como un parámetro indicador de la calidad del suelo en la zona, con una distribución de agregados predominante a lo largo del año que sigue la pauta (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). Con acusadas variaciones estacionales entre las fracciones mayores (>10 y de 10-5 mm). La fracción intermedia (5-2 mm) es predominante en los suelos variando en superficie estacionalmente.

Los valores más elevados, tanto de diámetro medio de los microagregados como de microagregados estables al agua, se alcanzan en los suelos bajo *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*, obteniendo los valores más bajos en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* y en los pasillos. Mientras que la fracción fina microagregada, se eleva en el suelo bajo *Lavandula latifolia* alcanzando el valor más alto, le siguen con valores algo inferiores y muy similares entre ellos los suelos bajo

*Brachypodium retusum*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Thymus vulgaris*, siendo bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos donde se obtienen los menores contenidos.

El índice de agregación relativo indica las unidades microestructurales, con valores medios más elevados en los suelos bajo *Brachypodium retusum*, seguido de los suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*, mientras que bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos se observan también los valores más bajos de índice de agregación relativo.

El tiempo de abandono de los suelos ha permitido una recuperación de sus propiedades químicas, valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica, carbonatos totales, contenidos de nitrógeno y fósforo asimilable, valores de CIC elevados, alto contenido en materia orgánica y de la fracción fina de estos suelos. El efecto de la vegetación se hace patente en los distintos microambientes, en lo que se refiere a la relación entre la estabilidad de agregados y los diferentes niveles de materia orgánica anuales y temporales y las fracciones e índices utilizados. Los cambios estacionales en la transformación de la materia orgánica dada su mayor mineralización en la época estival, afectan directamente a este parámetro.

La recuperación del contenido de materia orgánica de los suelos tras el abandono de las prácticas agrícolas en zonas marginales de clima mediterráneo subhúmedo y litología calcárea, depende del tipo de cobertura vegetal que recoloniza el suelo. Comparado con el suelo desnudo, la cobertura de herbáceas de tipo *Brachypodium retusum* favorece la acumulación de materia orgánica y su humificación frente a coberturas de tipo leñosas subarborescentes y aromáticas. No obstante, se detecta una gran variabilidad en estos dos tipos de cobertura lo que sugiere una contribución distinta de cada tipo de planta, posiblemente por la cantidad y la composición de los restos vegetales que se incorporan al suelo en épocas del año contrastadas.

La valoración por el método químico de oxidación permite analizar el comportamiento diferencial del suelo en un gradiente de menor a mayor contenido de materia orgánica en distintas épocas del año. Este comportamiento diferencial también se ha podido constatar mediante el estudio de espectroscopía de infrarrojos y de microscopía electrónica/RX. La cuantificación del C en cada fracción es necesaria para comprender el proceso de humificación en el suelo, y éste depende del tipo de residuos vegetales pero también del microclima del suelo y de la actividad biológica en cada microambiente edáfico.

La actividad biológica valorada por el número de artrópodos que componen la diversidad de fauna edáfica que habita en los puntos de muestreo, muestra como más representativos los colémbolos (en especies aromáticas), ácaros oribátidos y gamásidos (en leñosas de mayor porte y aromáticas), seguido de larvas de coleópteros, pselafognatas, craspedosomidos, ácaros acarídidos, tejedores, arácnidos, chilopodas, dípteros, así como pulgones, trips y chinches en menor abundancia. En principio, cualquier influencia externa negativa en el suelo tales como la eliminación de la vegetación o cobertura vegetal, disminución de la mesofauna por parte de los microorganismos del suelo producida por la influencia del tipo de cobertura, cambio en las condiciones climáticas, influencia de la pendiente topográfica en los distintos puntos de estudio, o incluso variación de ciertas propiedades químicas como la cantidad de carbonato cálcico que favorece la cementación de los agregados, el aumento de la conductividad eléctrica por la presencia de sales que producen dispersión de agregados, o bien el aumento de

cationes bivalentes como el calcio que aumentan la agregación y producen la floculación de la estructura, etc., podrían modificar este parámetro.

En el análisis estadístico el estudio del cluster muestra dos grupos diferenciados, el primero de ellos corresponde a los microambientes con mayor cobertura en el que se incluyen los suelos bajo *Brachypodium retusum*, plantas aromáticas y algunas leñosas de mayor porte, frente al grupo de suelos de pasillos, desnudos y cubiertos por piedras. El suelo bajo *Juniperus oxycedrus* marca el nexo de unión entre ambos tipos de ambientes. En el análisis de componentes principales, las variables se distribuyen en dos factores el *factor indicador de la nutrición de la planta* y el *factor orgánico*. Los resultados del estudio estadístico en perfiles de suelos, muestran gran número de correlaciones significativas entre parámetros físicos y químicos (humedad, arena y limo, tamaño de los agregados, pH, conductividad eléctrica, carbonato cálcico, nitrógeno y fósforo, bases de cambio y materia orgánica). En condiciones de clima mediterráneo subhúmedo, la recuperación de la vegetación y el incremento de materia orgánica en el suelo aumenta siguiendo un modelo exponencial con la edad de abandono de las prácticas agrícolas, incrementando su calidad durante los primeros 15 años tras el abandono, la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas a los niveles del suelo natural se produce hacia los 60-90 años del cese de las prácticas agrícolas.

La aplicación del modelo EuroSEM de valoración de la erosión en la cuenca de estudio, combinando los datos de infiltración y humedad del suelo estacionalmente, muestra que la respuesta hidrológica está regulada temporalmente por los valores de infiltración y los contenidos de humedad inicial, y el efecto de la hidrofobia.

Espacialmente, tanto la orientación como la posición en las laderas se manifiesta como un factor importante en la pérdida de suelo, dado que modifica la cobertura vegetal y las interferencias y, como consecuencia, la escorrentía superficial. Los polígonos en las zonas bajas de ladera (alta cohesión, menor porcentaje de rocas, textura bastante fina, humedad relativamente alta), pese a tener valores altos de infiltración y escasa pendiente, tienen mayor escorrentía.

La información derivada de la aplicación del modelo EuroSEM manifiesta los puntos críticos donde se presentan fenómenos erosivos, importante para aplicar medidas paliativas, específicas según la problemática de la zona, para prevenir y mitigar la erosión del suelo y sus efectos sobre el territorio.



## **6. BIBLIOGRAFÍA**



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aballe, M., López Ruiz, J., Badía, J.M., Adeva, P. 1996. Microscopía electrónica de Barrido y microanálisis por Rayos X. Editorial Rueda, S.L., Madrid. 476 p.

Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, A. J., O'Connell, P. E., Rasmussen, J. 1986. An introduction to the European Hydrological System – *Système Hydrologique Européen*, "SHE", 1. History and philosophy of a physically-based distributed modelling system', *Journal of Hydrology*, 87, 45–59.

Addison, J.A., Trofymow, J.A., Marshall, V.G. 2003. Abundance, species diversity, and community structure of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology* 24, 233–246.

Adriano D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag Berlin, 533 pp.

Agnelli, A., Celi, L., Degli'Innocenti, A., Corti, G., Ugolini, F.C. 2002. Chemical and spectroscopic characterization of the humic substances from sandstone-derived rock fragments. *Soil Science* 165: 314-326.

Aleksandrova, L.N. 1960. Utilización del pirofosfato sódico para extraer sustancias húmicas libres y sus compuestos orgánico-minerales. *Pochvovedenie*, núm.2, 90-07.

Almendros, G., Gonzalez-Vila, F.J. 1987. Degradative studies on a soil Humic fraction- Sequential degradation of inherited humin. *Soil Biol. Biochem.* 19: 513-520.

Almendros, J. 2000. Caracterización molecular de la materia orgánica del suelo en situaciones representativas de diferentes procesos de degradación de los ecosistemas forestales del centro de España. Tesis doctoral.

Almendros, G., Sanz, J. 1992. Structural study on the soil humin fraction. Boron trifluoride methanol transesterification of soil humin. *Soil Biol, Chem.* 23, 1147-1154.

Armas, C., Miranda, J.D., Padilla, F.M., Pugnaire, F.I. 2011. Deserts of the World Part IV. Iberian Southeast. *Journal of Arid Environments*, 1241–1243.

Arnau-Rosalén, E., Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Lavee, H., Sarah, P. 2011. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain) *Geomorphology*, 101, Issue 4, 595–606.

Arroyo, J., Iturrondobeitia, J.C. 2006. Differences in the diversity of oribatid mite communities in forests and agrosystems lands. *Eur. J. Soil Biol.* 42, 259–269.

Auerswald, K. Schmidt, F. 1986. Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen, GLA-Fachberichte 1, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Auerswald, K., Kainz, M., Fiener, P. 2003. Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. *Soil Use and Management.* 19, 4, 305–311.

Baddi, G.A., Hafidi, M., J., Cegarra, J.A., Albuquerque, J., González, V., Gilard, M., Revel, J.C. 2004. Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and C-<sup>13</sup>NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw. *Biores. Technol.* 93, 285-290.

Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53: 215-230.

Balogh, J. 1972. The oribatid genera of the world. Budapest, Hungary, Akademiai Kiado. 188 pp.

Baver, LD., Gardner, WH., Gardner WR. 1972. Soil physics. Wiley, New York, 498 p.

Beare, MH., Hendrix, PF, Coleman DC. 1994a. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no tillage soils. *Soil Soc. Am. J.* 58: 777-786.

Beare, MH., Cabrera, ML., Hendrix PF., Coleman, DC. 1994b. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci Soc Am J.* 58, 787-795.

Bedano, J.C., Cantú, M.P., Doucet, M. E. 2006a. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Appl. Soil Ecol.* 32, 293–304.

Bedano, J., Cantú, M., Doucet, MD. 2006b. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina) *European Journal of Soil Biology.* 42, 2, 107–119.

Bedano, JC., Cantú, MP. 2003. Los microartrópodos edáficos de un Argiudol típico no alterado de la cuenca del arroyo El Bañado, Córdoba, Argentina. *Neotropica*, 49, 1-10.

Bedano, JC., Cantú, MP., Doucet, ME. 2001. La utilización de ácaros edáficos como indicadores de calidad de suelos en agroecosistemas del centro de Argentina. *Bol. Soc. Cubana. Suelo* 4, III-80, 1-4.

Bejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., Dao, T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High-Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.

Biederbeck, V.O., Janzen, H.H., Campell, C.A., Zentner, R.P. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil. Biol. Biochem.* 26:1647-1656.

Black, CA, 1965. Methods of soil analysis. A.L. Page, Editor. 9,2, 1143 p.

Bochet, E., Rubio, J.L., Poesen, J. 2002. Influence of plant morphology on splash erosion in a mediterranean matorral. *Z. Geomorph. N.F.* 46: 223-243.

Boix-Fayos, C., Calvo, A., Cerdá, A., Imeson, A.C., Soriano, M.D., Tienessen, I.R. 1995. Vulnerability of Mediterranean ecosystems to climate change. Study of soil degradation under different climatological conditions in an altitudinal transect in the south east of

Spain. In Zwerver et al. (Eds.): Limate change research evaluation and policy implications, Elsevier.763-766.

Boix, C., Calvo, A., Schoorl, J.M., Soriano, M.D. 1996. Influencia de la estructura y usos en las características de retención hídrica de suelos mediterráneos sobre litología caliza. Cuadernos de Geografía, 21, 588-596.

Boix-Fayos, C., Calvo, A., Imeson, A.C., Soriano, M.D., Tienessen, I.R. 1998. Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a Mediterranean climatological gradient. Catena 33, 123-138.

Boix, C. 1999. Procesos geomorfológicos en diferentes condiciones ambientales mediterráneas: el estudio de la agregación y la hidrología de los suelos. Tesis doctoral. Universitat de València. 394 p.

Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. C., Soriano- Soto, M. D. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena 44, 47-67.

Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C. 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain Geomorphology. 50, 1–3, 1, 269–291.

Bonet, A. 2004. Secondary sucesión of semi-arid Mediterranean old-fields in south-eastern Spain: insghits for conservation and restoration of degraded lands. Journal of Arid Environments, 56, 213-233.

Borselli, L., Torri, D. 2007. A model for reducing soil erosion by tillage. Journal of soil and water conservation, 70, 1, 158A-158A.

Borselli, L., Torri, D. 2010. Soil roughness, slope and surface storage relationship for impervious areas. Journal of Hydrology. 393-389.

Bragato, G., Primavera, F. 1998. Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 1313-1319.

Briggs, D., Giordano, A. 1992. CORINE: soil erosion risk and important land resources, Commision of the European Communities, Brussels, Publication No. EUR 13233 EN.

Bronick, C. J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124, 1, 3-22.

Brussaard, L., Ruitter, P.C., Brown, G.G. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. Agric. Ecosyst. Environ. 121, 233–244.

Burns, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. Soil Biology and Biochemistry. 14, 5, 423-427.

Burns, R.G., Jared, L., DeForest, I., Marxsen, J., Robert, L., Sinsabaugh, I., Stromberger, ME., Wallenstein, MD., Weintraub, MN., Zoppini, A. 2013. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. Soil Biology and Biochemistry, Volume 58, 216-234.

- Burt, J. E. Barber, G. M. 1996. Elementary statistics for geographers. II ed. Guilford Press, New York, NY.
- Cabria, F., Calandroni, M., Monterubbianesi, G. 2001. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Ciencia del Suelo* 20, 2, 69-80.
- Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Imeson, A.C. 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *50, 1-3, 1 269-291.*
- Calvo-Cases, A., Sole-Benet, A., Cantón, Y. 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos*, 165, 69-96.
- Campell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P., Lafond, G.P. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71, 363-376.
- Cantón, Y., Solé, A., Benet, A., de Vente, J., Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Asensio, C., Puigdefábregas, J. 2011. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain *Journal of Arid Environments*. 75, 12, 1254-1261.
- Capriel, P., Beck, T., Borchert, H., Gronholz, J., Zachmann, G. 1995. Hydrophobicity of the organic matter in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 27, 1453-1458.
- Cardenas, L. 1991. Estudio de las propiedades pedogeomorfológicas y características de la vegetación en dos toposecuencias de la Estación Experimental "La Iguana", estado Guárico. Trabajo especial de Grado Licenciada en Biología. Caracas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. 135 p.
- Carrión, J.S., Fernandez, S., Jimenez-Moreno, G., Fauquette, S., Gil-Romera, G., Gonzalez-Samperiz, P., Finlayson, C. 2010. The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. *Journal of Aridi*, 74. 113-119.
- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that mantain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.
- Cassagnea, N., T., Gauquelin, M., Bal-Serinc, Gersb, C. 2006. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. *Pedobiologia*, 127-134.
- Cerdá, A. 1994. Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas. El caso del País Valenciano. *Cuadernos de Geografía* 56, 135-154.
- Cerdá, A., García-Alvarez, A., Imeson, A.C. 1998. Microbial activity and hydrological characteristics of soils along a catena in a semiarid environment in southeast Spain. Implications for land degradation. In: A. Rodriguez, C.C. Jiménez y M.L. Tejedor (Eds.): *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*, 33-48. Geofoma Ediciones. Logroño.

Cerdá, A., Boix, C., Soriano, M.D., Calvo, A., Imeson, A.C. 1995. Degradación del suelo en una catena sobre margas afectada por el abandono del cultivo en un ambiente semiárido. *Cuaternario y Geomorfología* 9, 3-4, 59-74.

Cerdá, A., Lavee, H., Romero-Díaz, A., Hooke, J., Montanarella, L. 2010. Soil erosion and degradation in mediterranean type ecosystems. *Land Degradation & Development*, 21, 73-74.

Cerdá, A., Gimenez, L., Burguet, M., Arcenegui, V., Gonzalez, A., Garcia-Orenes, F., Pereira, P. 2012. Impacto del cultivo, el abandono y la intensificación de la agricultura en la pérdida de agua y suelo. *Cuadernos de Geografía*, 38, 75-94.

Cerdà, A., Morera, A. G., Burguet, M., Arcenegui, V., Peñaloza, F. G., García-Orenes, F., Pereira, P. 2013. The impact of the farming, abandonment and agricultural intensification on loss of water and soil. the example of the northern slopes of the Serra Grossa, Eastern Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38, 1, 75-94.

Cerli, C., Celi, L., Kaiser, K., Guggenberger, G., Johansson, M.-B., Cignetti, A., Zanoni, E. 2008. Changes in humic substances along an age sequence of Norway spruce stands planted on former agricultural land. *Organic Geochemistry*, 39, 1269–1280.

Chagas, CL., Maarelli, HJ., Grottola, MC., Rienzi, EA. 1995. Interrill erosion in a Typic Agiudol of Argentina the effect of prior land use. *Soil Sci Soc. AM.J.*, 39:957-963.

Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Miralles-Mellado, I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F. 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos*, 165, 145-163.

Chan, K.Y., Bowman, A., Oates, A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.* 166, 61-67.

Chapman, R. F. 1982. *The insects: Structure and Function*. Harvard University Press: Massachussets.

Chefetz, B., Tarchitzky, J., Deshmukh, A.P., Hatcher, P.G., Chen, Y. 2002. Structural characterization of soil organic matter and humic acids in particle-size fractions of an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66,129-141.

Chisci, G., Morgan, R. P. C. 1988. Modelling soil erosion by water: why and how, in Morgan, R. P. C. and Rickson, R. J. (Eds), *Erosion Assessment and Modelling*, Commission of the European Communities Report No. EUR 10860 EN, 121–146.

Christiansen, K. A., Bellinger, P. 1980. *The Collembola of North America, north of the Rio Grande : a taxonomic analysis*, 2nd ed. Grinnell College, Grinnell, Iowa. 4 volumes, 1518 p.

Collins, H.P., Rasmussen, P.E., Douglas, C.L. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:783-788.

Contreras, S., Solé-Benet, A. 2003. Hidrofobia en suelos mediterráneos semiáridos: implicaciones hidrológicas para una pequeña cuenca experimental en el SE ibérico. *Rev. C. & G.*, 17, 1-2, 29-45.

Corell, A. 1998. Procesos de degradación y potencial de recuperación de los suelos en zonas de montaña mediterránea: Gestión de las terrazas de cultivo abandonadas como medio para la conservación de suelos y aguas. Memoria de proyecto de investigación. Caja Madrid. Inéd. 124 p.

Costa, J. 1977. El marquesat de Dènia, estudio geográfico. Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia. Valencia. 595 p.

Cotler, H. Ortega-Larrocea, M. P. 2006. Effects of land use on soil erosion in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Catena* 65, 107-117.

Dalal, R.C., Mayer, R.J. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 24, 301-309.

Davies, P. 1985. Influence of organic matter content, moisture status and time, after reworking on soil shear strength. *J. Soil Sci*, 36:299-306.

Davis, J.C. 1986. *Statistics and data analysis in Geology*. Jhon Wiley and Sons Ed., New York, 646 p.

De Gryzse, S., Jassogne, L., Bossuyt, H., Six, J., Merckx, R. 2006. Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *European Journal of Soil Science* 57: 235-246.

Deharveng, L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a case study in the Pyrenees (France). *Conservation Biology* 10, 74-84.

De Liñan, C. 1998. *Entomología agroforestal*. Ed. Agrotécnicas, DL, 1998-1309.

Dexter AR. 1988. Advances in characterization of soil structure. In *Soil and Tillage Research* 11, 199-238.

Duchaufour P. 1965. *Manual de edafología*. Primera edición española. Toray-Masson SA Barcelona.

Edwards, A. P., Bremner, J. M. 1967. Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 18, 1, 64-73.

Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H., Bachmann, J., Goebel, M.O. 2005. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 57-66.

Ellies, A., Grez, R., Ramirez, C. 1995. Potencial de humectación y estabilidad estructural de suelos sometidos a diferentes manejos. *Agricultura técnica*. 55, 3-4, 220-225.

Ellies, A., Ramirez, C., Mac Donald, R. 2003. Wetting capacity distribution in aggregates from soils with a different management. *Food, Agriculture & Environment* 1, 2, 229-233.

Elliot, E.T., Burke, I.C., Monz, C.A., Frey, S.D. 1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. 179-191.

Ellmer, F. 2006 Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Appl. Soil Ecol.* 33, 278–285.

Emerson, W. 1995. Water retention, organic carbon, and soil texture. *Aust. J. Soil Res.* 33, 241–251.

F.A.O. 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma, 70 p.

F.A.O. 1998. World Reference Base for Soil Resources. Roma, 91 p.

FAO-UNESCO. 1988. Soil map of de world. Revised legend. 1:5.000.000. Roma.

Farres, P.J. 1987. The dynamics of rainsplash erosion and the role os soil aggregate stability. *Catena*, 14, 50, 1-4.

Fleming, I., Williams, D.H. 1974. Métodos espectroscópicos en Química Orgánica. Urmo, S.A. Bilbao. 48-82.

Francis, C.F., Thornes, J.B. 1990. Runoff hidrographs from three Mediterranean vegetation cover types. In J.B. Thornes (Ed.): *Vegetation and Geomorphology*, 363-385. Wiley. Chichester.

Francis, C.F., 1986. Variaciones sucesionales de la vegetación en campos abandonados de la provincia de Murcia. España. *Ecología*, 4, 35-47.

García, C., Gil-Sotres, F., Hernandez, T., Trasar-Cepeda, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa, Madrid. 371 p.

García-Ruiz, JM. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, Volume 81, Issue 1, 15, 1–11.

García-Ruiz, J. M., Lana-Renault, N. 2011. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region—a review. *Agriculture, ecosystems environment*, 140. 3, 317-338.

García-Ruiz, J.M., Ruiz-Flaño, P., Lasanta, T., Montserrat, G., Martínez-Rica, J.P., Pardini, G. (1991): Erosion in abandoned fields, what is the problem?. In M. Sala, J.L. Rubio, J.M. García-Ruiz (Eds.): *Soil erosion studies in Spain*, Geforma Ediciones. Logroño. 97-108.

Gimeno, J.V. 1990. Análisis por microscopia electrónica. Departamento de química analítica. Universidad de Valencia.

Giovanini, G., Luchesi, S. 1983. Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Science* 136: 231-236.

Greenland, D.J. 1971. Changes in the nitrogen status and physical conditions of soil under pasture, with special reference to the maintenance of fertility of Australian soils used in rowing wheat. *Soil fertility*. 24, 237-251.

Greenslade, P. 1991. Collembola (Springtails). *The Insects of Australia: a textbook for students research workers/ the division of Entomology, Commonwealth Scientific and*

Industrial Research Organization. Volume II, Chap 11. Cornell University Press, Ithaca, New York 2nd ed. 252-264.

Guggenberger, G., Christensen, B.T., Zech, W. 1994. Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. *European Journal of Soil Science*, 45: 449-458.

Haghighi, F., Gorji, M., Shorafa, M. 2010. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land Degrad. Develop.* 21: 496–502.

Hamblin AP, Greenland, DJ. 1977. Effect of organic constituents and complexed metal ion on aggregate stability of some East Anglian Soils (England) *J. Soil Sci.*, 28, 410-416.

Hatcher, P.G., Schnitzer, M., Dennis, L.W., Maciael, G.E. 1981. Aromaticity of humic substances in soils. *Aromaticity of Humic Substances in Soils*: Vol. 45 No. 6, 1089-1094.

Heisler, C., Kaiser, E.A., 1995. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. *Biol. Fertil. Soils* 19, 159–165.

Hopkin, S.P. 1997. *Biology of springtails (Insecta:Collembola)*. Oxford University Press, Oxford. 333 pp.

I.G.M.E. 1983. *Geología de España. Libro Jubilar* J.M. Ríos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 237 p.

Imeson, A. C., Perez-Trejo, F., Lavee, H., Calvo-Cases, A. 1999. Modelling and exploring the impact of climate change on ecosystem degradation, hydrology and land use along a transect across the Mediterranean. *Global Change: Climate Change and Climate Change Impacts*, 173-185.

Imeson, A.C. 2002. Inter-linkages between climate change and soil conservation functions: some key issues. In: J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins, V. Andreu (Eds.): *Man and soil at the third millennium*, Geoforma Ediciones. Logroño. I, 153-163.

Imeson, A.C., Vis, M. 1984. Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34, 185-200.

Jäger, S. 1994. Modelling regional soil erosion susceptibility using the universal soil loss equation and GIS. En: Rickson, R. J. (Ed.), *Conserving Soil Resources: European Perspectives*, CAB International, Wallingford, UK, 161–177.

Janzen, H.H. 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67:845-856.

Kiehl, E. 1985. *Fertilizantes Orgánicos*. Editora Agronômica “Ceres” Ltda. São Paulo, Brasil. 192 p.

Kononova, M. M. 1982. *Materia Orgánica del Suelo. Su Naturaleza, Propiedades y Métodos de Investigación*. Ediciones Oikos-tau, S.A. 365 pp.

Lal R. 1991. Soil structure and sustainability. *Sust. Agric.* 1 (4):67-92.



- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano, M. P., Serrano, V., García-Ruiz, JM. 2010. Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la Estación Experimental Valle de Aísa” Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España) Pirineos 165: 115-133.
- Le Bissonnais, Y. 1995. Soil characteristics and aggregate stability. pp. 41-60. In: M. Agassi (ed.). Soil erosion, conservation, and rehabilitation. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. Eur. J. Soil Sci. 47: 425-437.
- Letey J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. Soil Sci. 1, 277-294.
- Li, XR, He, MZ, Duan, ZH, Xiao, HL, Jia, XH. 2007. Recovery of topsoil physiochemical properties in revegetated sites in the sand-burial ecosystems of the Tengger Desert, northern China. Geomorph 88, 254–265.
- Llorens, P., Gallart, F. 1992. Short-term sediment budget for a small drainage basis in a Mediterranean mountainous abandoned farming area. IAHS publication.
- Lloret, I., Ollero, M.I., Pons, V., Soriano, M.D., 2001. Relación entre las variables climáticas y algunas propiedades de los suelos determinantes de su fertilidad en antiguos sistemas agrarios abandonados. Congreso Español de Climatología. AEC, Valencia.
- Lobkov, V.T. 1999. Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. Eurasian Soil Science 32:664-668.
- López Bermudez, F. 1994. Degradación del suelo. ¿Fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. Papeles de Geografía, 20, 39-64.
- López-Bermudez, F. 1996. La degradación de tierras en ambientes áridos y semiáridos. Causas y consecuencias. En: Lasanta, T.; García Ruiz, J.M. (eds.), Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, 51-72.
- Lotti, Y., Galoppini, T. 1986. Análisis químico agrario. Editorial Alhambra. Madrid. 352-353.
- Low, A.J. 1954. The study of soil structure in the field and in the laboratory. Journal of Soil Science, 5, 19-54.
- Low, A.J. 1967. Measurement of stability of moist soil aggregates to falling waterdrops according to Low. En: West-European methods for soil structure determination, State Faculty of Agricultural Sciences, Gent, 51-78.
- Lynch, J.M., Bragg, E. 1985. Micro-organisms and soil aggregate stability. Advances in Soil Science 2, 133-171.
- Lynch, J. 1984. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. Plant Soil. 76:307-318.

Lynch, J. 1984. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. *Plant Soil*. 76:307-318.

Lynch, J., Brugg E. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*. 2:133-171.

Mafra, A.L., Senesi, N., Brunetti, G., Miklos, A.A.W., Melfi, A.J. 2007. Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro river basin, Amazonas: chemical and spectroscopic characterization. *Geoderma* 138, 170–176.

M.A.P.A. 1986. *Metodos oficiales de analisis de suelos*, III. Madrid.

Marignani, M., Rocchini, D., Torri, D., Chiarucci, A., Maccherini, S. 2008. Planning restoration in a cultural landscape in Italy using an object-based approach and historical analysis. *Landscape and Urban Planning* 84, 28–37.

Marinari, S., Dell' Abate, M.T., Brunetti, G., Dazzi, C. 2010. Differences of stabilized organic carbon fractions and microbiological activity along Mediterranean Vertisols and Alfisols profiles. *Geoderma*. 156. 379–388.

Márquez, C. O. 2001. Dynamics of aggregates and carbón associated with aggregates under different riparian zones. Ph.D. diss. Iowa State Univ. Ames, USA. 215 p.

Márquez, C. O., Garcia, V. J., Cambardella, C. A., Schultz, R. C., Isenhardt, T. M. 2004. Aggregate size stability distribution and soil stability. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 68, 3, 725-735.

Martin, J. 1971. Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. *Soil Biol. Biochem.* 341 p.

Martin, J., Hardier, K.. 1971. Microbial activity in relation to soil humus formation. *Soil Sci.* 111:54-63. Trinidad, H. Cotler, J. D. Etchevers-Barra, Víctor M. Ordaz-Chaparro, F. de León-González.

Martínez-Fernández, J., López-Bermudez, F., Martínez-Fernández, J., Romero-Díaz, A. 1995. Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal, Murcia, Spain CATENA Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Proceedings Memorial Symposium Prof. Jan Ploey. *Changes*. 25, 1–4, 153–167.

Martínez-Trinidad, S., Cotler, H., Etchevers-Barra, J. D., Ordaz-Chaparro, V. M., De León-González, F. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana*, 26, 4, 299-307.

Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Garcia-Orenes, F., Barcenas, G., Torres, MP. 2009. Forest Fire effects on soil microbiology. En: *Fire effects on soil and restoration strategies Vol 5, Land restoration strategies, vol 5, Land reconstruction and management* (Cerdeira A., Robichaud PR ed), Science Publishers, New Hampshire, 133-175 p.

Mather, AE, Stokes, M. 2003. Long-term landscape development in southern Spain. *Geomorphology*. Volume 50, Issues 1–3, 1, 1–2.

Mazzoncini, M., Canali, S., Giovannetti, M., Castagnoli, M., Titarelli, F., Antichi, D., Nannelli, Cristiani, C., Barberi, P., 2010. Comparison of organic and conventional

stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Appl. Soil Ecol.* 44, 124–132.

Mbagwu, J. 2004. Aggregate stability and soil degradation in the tropics. Invited presentations College on Soil Physics 2003. Trieste, Italy. 245-252.

Miller, H.G. 1991. Forest response to changes in land use and implications for ecosystem functioning and management. Proceedings of the First European Symposium on Terrestrial Ecosystems: Forest and Woodland. CEE. Florence.

Ministerio de Agricultura 1986. Métodos oficiales de análisis de suelos, III. Madrid. 166 p.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1974. Métodos de Análisis de suelos. Madrid.

Minor, M.A., Cianciolo, J.M. 2007. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. *Appl. Soil Ecol.* 35, 140–153.

Molina, M.J., Llinares, J.V., Soriano, M.D. 1999. La degradación de las propiedades del suelo en dos sistemas agroforestales de la Comunidad Valenciana. Implicaciones ecológicas ante el cambio climático y argumentos para la planificación, Geoforma Ediciones, Logroño. 83 p.

Molina, M. J., Soriano, M. D., Pons, V. 2004. Suelos, Agua y Desertificación. En L. Lapeña y I. Queral (Eds.) “Preservar l’aigua, conservar la vida” 53-64 pp. Anuari de l’agrupació Borriana de Cultura. Revista de Recerca Humanística y Científica nº 15. ISSN 1130-4235. Universitat Jaume I y Projecte Aigua de la Caja de Ahorros del Mediterrani.

Monnier, G. 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Tesis. Institut Agronomique. Paris.

Moran, K.K., Six, J., Horwath, W.R., Van Kessen, C. 2005. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 1730-1736.

Morel-Seytoux, H.J., 1978. Derivation of equations for variable rainfall infiltration. *Water Resources Research* 14, 4, 561-568.

Morel-Seytoux, H.J., Verdin, J.P. 1981. Extension of the Soil Conservation Service.

Moret, D., Arrue, J.L. 2007. Dynamic of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil and Tillage research* 96, 2003- 2013.

Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Styczen, M. E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth surface processes and landforms*, 23, 6, 527-544.

Mrabet, R. 2002. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil and Tillage Research* 66, 119–128.

- Muñoz, C., Zagal, E., Ovalle, C. 2007. Influence of trees on soil organic matter in Mediterranean agroforestry systems: an example from the 'Espinal' of central Chile. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 728–735.
- Nacci, S., Pla, I. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos FONAIAP. Serie B, N1 17. Maracay. 40 p.
- Nakamoto, T. Y., Tsukamoto, M. 2006. Abundance and activity of soil organisms in fields of maize grown with a white clover living mulch. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115, 34–42.
- Nannipieri P, B Ceccanti, S Cervelli, P Sequi. 1990. Stability and kinetic properties of humus-urease complexes. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 143-147.
- N'dayegamine, A., Angers. D. 1993. Organic matter characteristic and water-stable aggregation of sandy loam soil after 9 years of wood-residues applications. *Can. J. Soil Sci.* 73, 115-122.
- Nielsen, U.N., Oslera, G.H.R., Van Der Wal, R., Colin Campbella, D., Burslemc, D.F.R.P. 2008. Soil pore volume and the abundance of soil mites in two contrasting habitats. *Soil Biol. Biochem.* 40, 1538–1541.
- Norussis, M. J. 1996. *Advanced Statistics SPSS-PC for the IBM Pc. Inc, Chicago, 1986 p.*
- Novo, J. J., Cerrillo, R. M. N. 2014. Variabilidad y respuesta a distintos estreses en poblaciones de encina (*Quercus ilex L.*) en Andalucía mediante una aproximación proteómica. *Revista Ecosistemas*, 23, 2, 99-107.
- Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and soil*, 76(1-3), 319-337.
- Ollero, M.I. 2001. Relación entre las variables climáticas y algunos parámetros de los suelos que condicionan su fertilidad. Trabajo Fin de Carrera E.U.I.T.A. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ollero, M.I., Lloret, I., Pons, V., Soriano, M.D. 2001. Valores de torrencialidad R en la Comarca de la Marina Alta (Alicante). Congreso Español de Climatología. AEC, Valencia.
- Olsen, S. R. Dean, L.A. 1965. Phosphorus. In *Methods of soil science*. Black, C.A. ed. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Omay, A.B., Rice, C.W., Maddux, L.D., Gordon, W.B. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61,1672-1678.
- Ortiz, R. 1990. Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas.. Ed: J.Albaladejo, M.A.Stocking, E.Díaz, (C.S.I.C.), 47-68.
- Ospina Sánchez C.M., Rodríguez J y D. Peck. 2009. Clave para la identificación de géneros de Collembola en agroecosistemas Colombianos. *Revista Colombiana Entomología* 35 (1) 57-61.

Palacios-Vargas, J.G., G., Castaño-Meneses, Mejía-Recamier B.E. 2000. Collembola., Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento, Volumen II, III Grupos de Hexapoda, En Llorente Bousquets, J.E., González Soriano, E. & Papavero, N. México, 249-264.

Pardini, G., Dunjó, G., Gispert, M., Barrena, R., Vigna Guido, G. 2002. Land use effects on soil response to runoff generation and sediment yield in the Serra de Rodes catchment, Alt Empordà, NE Spain. In J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.): Man and soil at the third millennium Vol II, 1323-1339. Geofoma Ediciones. Logroño.

Peech, M. 1965. Hidrogen-ion activity. En: C. A. Black (ed.), Methods or Soil Analisis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA 2, 914-916.

Peirano, P., Aguilera, M., Borie, G., Caiozzi, M. 1992. Actividad biológica en suelos volcánicos y su relación con la dinámica de la materia orgánica. Agricultura Técnica (Chile) 52, 367-371.

Pérez-Badía, M.R. 1997. Flora vascular y vegetación de la comarca de la Marina Alta. Diputación de Alicante, 566 p.

Pérez-Badía, R. P., Piñón, M. L., Cases, A. C., & González, F. F. (2001). Diversidad florística de los matorrales calcáreos en la Montaña del Norte de Alicante. Acta Bot. Boranoti. 17, 155-163.

Pérez-Cueva, A. 1995. Atlas climático de la Comunidad Valenciana. Conselleria d' Agricultura, Pesca y Alimentació. València.

Peris, J.V., Molina, M.J., Llinares, J., Soriano, M.D. 2007. Agregación, materia orgánica y retención de agua de suelos con diferente textura tratados con residuos vegetales. En N. Bellinfante & A. Jordán (eds.) Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-84-690-4129-1.

Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance Nº 32. Universidad Central de Venezuela. 91p.

Pla, I. 1993. Degradación de suelos y sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Memorias de la Segunda Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Guanare – Portuguesa. 16-18.

Porta, J. 1986. Técnicas y Experimentos en Edafología. Publicado por Col.legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona. 282 p.

Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. 2003. Edafología. Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 929 p.

Prieto, D., Hernández, L.M. 1991. Evaluación ecológica de la fauna de invertebrados asociada a la hojarasca de la manigua costera del Jardín Botánico Nacional. Rev. Jardín Botánico Nac. 12, 153-161.

Prieto-Fernandez, A., Villar, M. C., Carballas, M., & Carballas, T. (1993). Short-term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an Atlantic forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(12), 1657-1664.

Piccolo, A. 1996. Humus and soil conservation. En: Piccolo, A. (ed.). *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. 225–264. Elsevier. Amsterdam.

Piccolo, A., Conte, P., Spaccini, R., Mbagwu, J.S.C. 2005. Influence of land use on the characteristics of humic substances in some tropical soils of Nigeria. *European Journal of Soil Science* 56, 343–352.

Primo, E., Carrasco, J. M. 1987. *Química Agrícola I: Suelos y Fertilizantes*. Ediciones Alambra. Madrid. 22-35.

Puchol, L. 2003. Caracterizació de les substàncies húmiques mitjançant anàlisi qualitatiu dels grups funcionals de sols davall diferents espècies vegetals. Trabajo final de carrera. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología (ETSMRE)-UPV. 174 pp.

Puget, P., Chenu, C., Balesdent, J. 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 51:595-605.

Puigdefàbregas, J. 1998. Implications of regional scale policies on land condition and land degradation in the Mediterranean basin In *Global Change & Terrestrial Ecosystems* (Ed): *The Earth Changing Land*. GCTE-LUCC Open Conference on Global Change. GCTE. Barcelona.

Puigdefàbregas, J., Sánchez, G. 1990. Erosión y colonización vegetal en campos abandonados. Informe del Proyecto LUCDEME.

Puigdefàbregas, J., Solé, A.L., Gutiérrez, G. Del Barrio. 1999. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews* 48, 39-70.

Pujola, M. 1989. Els fangs de depuradora com adobs: Efectes sobre la fracció orgànica dels sòls. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

Quereda-Sala, J.J. 1978. Comarca de La Marina, Alicante. *Estudio de Geografía Regional*, p. 431. Excm. Diputación Provincial, Alicante.

Quézel P. 2004. Large-scale post-glacial distribution of vegetation structure in the Mediterranean region. In: Mazzoleni S, Di Pasquale G, Mulligan M, Di Martino P, Rego F (eds) *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*, J. Wiley & Sons, Chichester, 3-12.

Quintero, R., Ferrera-Cerrato, R., García-Calderón, E., Rodríguez, R., Aguilar, A., Santelises, J., Etchevers, D., Alcántar, Gz. 2003 Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra*, Vol 21, nº 1, 21: 73-80.

Quinton, J. N. 1994. The validation of physically-based erosion models with particular reference to EUROSEM, PhD Thesis, Cranfield University.

Rainfall-Runoff Methodology of Ungaged Watershed. Federal Highway Administration, Environmental Division, Washington D.C. Report No.81-10.

Rey, J., Fumanal, M.P., Ferrer, C., Viñals, M.J., Yébenes, A. 1993. Correlación de las unidades morfológicas cuaternarias (dominio continental y plataforma submarina) del sector Altea-la Vila joiosa, País Valenciano (España). Cuadernos de geografía, 54. 249-267.

Reynés, A., Alomar, G., Ferrer, I., Grimalt, M., Rodriguez, R. 2002. The PATTERN programme, a European initiative aiming at the cataloguing and the preservation of terraced lands in the Mediterranean area. In J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.): Man and soil at the third millennium Vol I, 799-808. Geoforma Ediciones. Logroño.

Reynolds, S.G. 1970. The gravimetric method of soil moisture determination. Part I. A study of equipment and methodological problems. Journal of Hydrology, 11, 258-273.

Reynolds, S.G. 1970b. The gravimetric method of soil moisture determination. Part II. Typical required sample sizes and methods of reducing variability. Journal of Hydrology, 11, 274-287.

Reynolds, S.G. 1970c. The gravimetric method of soil moisture determination. Part III. An examination of factors influencing soil moisture variability. Journal of Hydrology, 11, 288-300.

Richards, R., Rebetzke, G., Condon, A., Van Herwaarden, A. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42(1): 111-121.

Rivas Martínez, S., 1987, Pisos bioclimáticos de España, Lazaroa, 5, 33-43.

Rivero, C. 1993. Evaluación de la materia orgánica nativa e incorporada en suelos de importancia agrícola de Venezuela. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. UCV. 200 p.

Roca-Pérez, L., Arevalo, J., Boluda, R. 2005. The influence of C/N ratio, moisture and pH on the aerobic microbial activity of rice straw and sewage sludge blends. En: Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety. 247-249. FAO-CSIC. Murcia.

Ronggui, W., Tiessen, H. 2001. Effect of Land Use on Soil Degradation in Alpine Grassland Soil, China. 2002. Soil Science Society. Published in Soil Sci. Soc. Am. J.66:1648-1655.

Ronggui, W., Tiessen, H. 2008. Effect of Land Use on Soil Degradation in Alpine Grassland Soil, China. Journal of Agricultural Food and Environmental Sciences. 2, 2.

Roose, E. 2002. Traditional strategies for soil and water conservation in Mediterranean area. In J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.): Man and soil at the third millennium Vol I, 109-130. Geoforma Ediciones. Logroño.

Ros, M., Hernandez, M.T., García, C. 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. Soil Biol. Biochem. 35, 463-469.

Rosenfeld, A., Kak, A. C. 1982. Statistical properties: texture. In Digital picture processing (Vol. 2, p. 295). Academic Press New York.

- Rubio, J. L., Bochet, E., 1998. Desertification Indicators as Diagnosis Criteria for Desertification Risk Assessment in Europe, *Journal of Arid Environments*, 39, 113-120.
- Ruiz-Flaño, P., García-Ruiz, J.M, Ortigosa, L. 1992. Geomorphological evolution of abandoned fields. A case study in the Central Pyrenees. *Catena* 19: 301-308.
- Rutigliano, F.A., Castaldi, S., D'Ascoli, R., Papa, S., Carfora, A., Marzaioli, R., Fioretto, A., 2009. Soil activities related to nitrogen cycle under three plant cover types in Mediterranean environment. *Appl. Soil Ecol.* 43, 40–46.
- Salvador, P., Torri, D., Borselli, L., Poesen, J. Climate effects on soil erodibility. 2008. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33, 7, 1082–1097.
- Sánchez, G., 1995. Arquitectura y dinámica de las matas de esparto (*Stipa tenacissima* L.) efectos en el medio e interacciones con la erosión. Tesis Doctoral (Ined.).
- Sánchez, J., Boluda, R., Morell, C., Colomer, J.C., Artigao, A. 1998. Degradation index of desertification threatened soils in the Mediterranean region. Application in Castilla-La Mancha (Spain). En: RODRÍGUEZ, A., JIMÉNEZ, CC., TEJEDOR, M.L. (eds). *The soil as a strategic resource: Degradation processes and conservation measures*. 441-448. Geofoma Ediciones. Logroño.
- Sánchez, J., Boluda, R., Morell, C., Colomer, J.C., Artigao, A., 2000. Assessment of soil degradation within the EFEDA area. En: BALABANIS, P.; PETER, D. GHAZI, A. TSOGAS, M. (eds). *Mediterranean Desertification. Research results and policy implications*. 387-396. European Comission. Directorate-General. Bruselas.
- Schaefer, M., Schauerermann, J. 1990. The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and moder soil. *Pedobiologia* 34, 299–314.
- Schipper, L.A, Sparling, G.P. 2000. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 300-311.
- Schnürer, J., Clarholm, M., Rosswall, T. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. Biochem.* 17, 611-618.
- Senessi, N., D'Orazio, V., Ricca, G. 2003. Humic acids in the first generation of EUROSOILS. *Geoderma*. 116, 325–344.
- Shuping, Q., Chunsheng, Hu., Xinhua, H., Dong, W., Cui, J., Wang, Y. 2010. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management. *Applied Soil Ecology*, 45, 3, 152-159.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1367-1377.
- Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Smets, T., Borselli, L., Poesen, J., Torri, D. 2011. Evaluation of the EUROSEM model for predicting the effects of erosion-control blankets on runoff and interrill soil erosion by water. *Geotextiles and Geomembranes*, 29, 3, 285-297.



- Smith, D. W. 1970. Concentration of soil nutrients before and after fire. *Canadian J. Soil Science.*, 50, 17-29.
- Smith, M.S., Rice, C.W., Paul, E.A. 1989. Metabolism of labelled organic nitrogen in soil: Regulation by inorganic nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 768-773.
- Soane, B. 1970. The effects of traffic and implements on soil compaction. *J. Proc. Inst. Agric. Eng.* 25: 115-126.
- Socarrás, A., Rodríguez, M.E. 1999. Comportamiento de la mesofauna del suelo en áreas recultivadas en la zona minera de Mao. *Cuba. Poeyana*, 470-475: 31-35.
- Socarrás, A., Rodríguez, M.E., Avila, A., Izquierdo, I. 2003. Utilización de la mesofauna edáfica como indicador biológico del estado de los suelos. *Cuba Cocuyo*, 13; 11-14 p.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J. 1995. *Biometry*. W.H. Freeman and Company, New York, 887.
- Solé-Benet, A., Lázaro, R., Domingo, F., Cantón, Y., Puigdefábregas, J. 2011. Why most agricultural terraces in steep slopes in semiarid SE Spain remain well preserved since their abandonment 50 years ago?. *Pirineos* 165, 215-235.
- Soriano, M.D., Pons, V. 1989. *Prácticas de Edafología y Climatología*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, p. 245.
- Soriano, M.D., 1994. Soil Properties. En: *Modelling and Exploring the impact of climate change on ecosystem degradation, hidrology and land use along a transect across the Mediterranean*. Ermes I, Interin report.
- Soriano, MD., Boix, C., Calvo, A., Imeson, A., Cerdá, A, Perez-Trejo, F. 1993. Metodología y diseño de campo experimental en ecosistemas degradados en un transecto altitudinal en la provincia de Alicante. *Cuadernos de Geografía*, 54, 268-284.
- Soriano-Soto, M.D., Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Imeson A.C. 1995. Effect of climate on some soil properties and related thresholds controlling the erosional response of soils in a limestone area. *Physics and Chemistry of the Earth*. 20, 3-4, 281-286.
- Soriano, M.D., Calvo, A., Boix, C., Pons, V. 1996. Variaciones en las propiedades de los suelos y su agregación en un transecto altitudinal de la provincia de Alicante. *Cuaternario y Geomorfología*, 10, 45-58.
- Soriano, M.D., Lloret, I., Laborda, R., Pons, V. 2001. Soil degradation in mountain areas with abandonment of agricultural practices in the north of Alicante (Spain). Assessment and conservation. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid.
- Soriano, M.D., Molina, M.J., Lloret, I., Pons, V. 2003. Influencia de la edad de abandono agrícola en las propiedades de los suelos en terrazas marginales bajo clima mediterráneo subhúmedo (Alicante). *Edafología*, l. 10, 3, 49-55.
- SPSS. 2014. *SPSS para windows, version 17.0*. SPSS Inc.
- Stevenson, F. 1982. *Humus Chemistry*. Wiley, New York.

- Stevenson, F. 1994. Humus chemistry: genesis, composition, and reactions. John Wiley and Sons. (Ed.) New York. 496 p.
- Stevenson, F.J., Cole, M.A. 1999. Cycles of soil. p. 427. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, New York, USA. Stocking, F., Díaz, E. (eds), Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas, C.S.I.C., Murcia, 47-68.
- Stubing, G., Peris, J.B., 1998, Plantas silvestres de la Comunidad Valenciana. Ed. Jaguar, Madrid, 624 p.
- Symenakis, E., Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalen, E. 2007. Land Use Change and Land Degradation in in Southeaster Mediterranean Spain. *Environ Manager*, 40:80-94.
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., Menta, C., 2009. Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil Till. Res.* 105 135–142.
- Tafur, N., Forsythe, W. 1988. The effect of various methods of land preparation on soil resistance to penetration and yield of corn (*Zea mays* L.) Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and sweet potato (*Ipomoea batata* L.) in association. II. Effect on yield. *Turrialba* 35,4:371-376.
- Tate, R.L. 1987. Soil organic matter: Biological and ecological effects. 291 p. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Tisdall J.M. y J.M. Oades. 1982. Organic matter and water stables aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33: 141-163.
- Torri, D., Borselli, L. 2002. Clod movement and tillage tool characteristics for modelling tillage erosion. *Journal of soil and water Conservation* 57 (1) 24-28.
- Torri, D., Ciampalini, R., Accolti Gil, D. 1998. The Role of Soil Aggregates in Soil Erosion Processes. *Modelling Soil Erosion by Water* . NATO ASI Series Volume 55, 1998, pp 247-257.
- Trasar-Cepeda, C., Leirós, M.C., Gil-Sotres, F. 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 9, 2146-2155.
- Van Oost, K., Govers, E. 2006. Tillage erosion. In *Soil Erosion in Europe*. Ed. John Boardman and Jean Poen. Chichester: Wiley and Sons. 340 p.
- Vásquez, M., Palacios, J.G. 1990. Nuevos registros y aspectos biogeográficos de los colémbolos de la Sierra de la Laguna, B.C.S., México. *Folia Entomológica Mexicana* 78, 5-22.
- Villalobos, F. 1990. Collembola del Noreste de México. *Folia Entomológica Mexicana*. 80, 5-29.
- Vreeken-Buijs, M.J., Hassink, J., Brussaard, L. 1998. Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biol. Biochem.* 30, 97-106.

Walkey, A., Black, J.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37, 29-38.

Wallwork, J. A. 1976. *The distribution and Diversity of the Soil Fauna*. Academic Press, London.

Woolhiser, D. A., Smith, R. E., Goodrich, D. C. 1990. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.

Zavala, I.M., Gonzalez, F.A., Jordan, A. 2009. Intensity and persistence of water repellency in relation to vegetation types and soil parameters in Mediterranean SW Spain. *Geoderma* 152, 361-374.

Zhang' B., Deng, H., Wang, H., Yin, E., Hallett, P., Griffiths, B., Daniel, T.J. 2010. Does microbial habitat or community structure drive the functional stability of microbes to stresses following re-vegetation of a severely degraded soil?. *Soil Biology and Biochemistry*. 368 p.

Zunino, H., Borie, F., Aguilera, M., Martin, J.P., Haider, K. 1982. Descomposición of C<sup>14</sup>-labeled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. *Soil Biol. Biochem.* 14, 37-43.