

a 699102



FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA, FORMULACIÓN Y
APLICACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD
DE SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS PARA
CASTILLA-LA MANCHA**

VANESA GONZÁLEZ-QUIÑONES ORTAS

MADRID, 2006



C/3112

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA, FORMULACIÓN Y
APLICACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE
SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS PARA
CASTILLA-LA MANCHA**

PRESENTADA POR:

Vanesa González-Quiñones Ortas

DIRIGIDA POR:

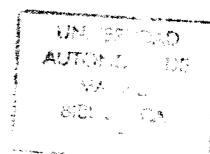
Dr. Raimundo Jiménez Ballesta y Dr. Alfredo Polo Sánchez

**Catedrático de Edafología y
Química Agrícola U.A.M**

**Investigador Científico del
CSIC**

Reg. FE 41.779

Madrid, Mayo de 2006



RAIMUNDO JIMÉNEZ BALLESTA, Catedrático de Edafología y Química Agrícola, del Dpto. de Geología y Geoquímica, de la Universidad Autónoma de Madrid, y

ALFREDO POLO SÁNCHEZ, Investigador Científico del Dpto. de Contaminación Ambiental del Instituto de Ciencias Agrarias del Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC) de Madrid.

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada: **METODOLOGÍA, FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS PARA CASTILLA-LA MANCHA**, que para optar al grado de Doctor en CC. Químicas presenta D^a **VANESA GONZÁLEZ-QUIÑONES ORTAS**, licenciada en Ciencias Ambientales, se ha llevado a cabo bajo nuestra dirección en los laboratorios del Dpto. de Geología y Geoquímica de la UAM y en los del Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC) de Madrid.

Considerando que la mencionada memoria representa trabajo de tesis, autorizamos su presentación ante la Comisión de Doctorado de la Universidad Autónoma de Madrid, al objeto de ser defendida y evaluada por el tribunal correspondiente.

Y para que conste firmamos el presente documento en Madrid a 28 de Abril de 2006.



Raimundo Jiménez Ballesta.



Alfredo Polo Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que de alguna forma han colaborado en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. D. Raimundo Jiménez Ballesta, al que no tengo palabras para expresar mi gratitud. Por confiar en mí este proyecto, por enseñarme tanto, trasladándome su pasión por los suelos, y especialmente por su cariño y amistad mediante sus constantes palabras de ánimo en todo momento. Y sobretodo, por enseñarme y abrirme un apasionante camino a seguir, el de la investigación.

Al Dr. D. Alfredo Polo Sánchez, por brindarme la oportunidad de investigar bajo su dirección, por su disposición en todo momento y por facilitar y hacer posible, mediante su cariño y dedicación, que mi estancia en el CSIC haya sido una experiencia inolvidable.

A la CICYT por su financiación en el proyecto AGL 2002-02294: "Propuesta de un Índice de Calidad para Suelos de Castilla-La Mancha".

A los investigadores que han colaborado y con los que he tenido el placer de trabajar en algún momento, a la Dra. D^a M^a Pilar García Rodríguez, a la Dra. D^a M^a Eugenia Pérez González, a la Dra. D^a M^a Carmen Muñoz León, al Dr. D. Francisco.J. García Navarro, al Dr. D. Alfonso Artigao, a la Dra. D^a Rosario García Jiménez y Dra. D^a Pilar Carral González y especialmente al Dr. D. Antonio Gutiérrez Maroto y la Dr. D^a Ana M^a Álvarez González no sólo por lo científicamente aprendido sino por su cariño demostrado durante este tiempo convertido en amistad.

A mis compañeros del Centro de Ciencias Medioambientes Pilar Tere, Feli, Diana, Josema, Raúl, Bea, Héctor, César, Laura y Paloma por su inestimable ayuda y amistad.

A mis compañeros de la Universidad Autónoma de Madrid Salva, Juan, Ana, Bea, Ricardo y Paz por su cariño y experiencias compartidas. Y en especial agradecerle a Adrián su implicación mediante buenos consejos, paciencia y ánimo dados en todo momento.

A mis amigos por su cariño y paciencia.

A mi familia. A Patricia, Cristian, Jose Luis, Lucía y Eduardo. A Silvia, por ser en todo momento mi mayor apoyo y en especial a mis padres Silvia y Fernando, a quienes dedico este trabajo, por creer en mí haciendo esto posible y por ser mis mejores guías en el camino.

A mis padres

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Evaluación de la capacidad de uso y calidad de suelos: ¿dos conceptos diferentes?	2
1.2. Degradación versus calidad	6
1.3. Sostenibilidad en el uso y calidad del suelo	9
1.4. Definición de calidad	11
1.5. Evaluación de la calidad	15
1.6. Indicadores de calidad	17
1.7. Trascendencia de los parámetros biológicos y bioquímicos.....	23
1.7.1. Parámetros biológicos	24
1.7.2. Parámetros bioquímicos	28
1.8. Métodos de evaluación de la calidad	32
1.8.1. Métodos Cualitativos	32
1.8.2. Métodos Cuantitativos	37
1.9. Objetivos	45
CAPÍTULO 2. MEDIO FÍSICO DE CASTILLA-LA MANCHA	49
2.1. Geología y Geomorfología	50
2.1.1. Geología	50
2.1.2. Geomorfología	51
2.2. Hidrografía.....	53
2.2.1. Recursos hídricos superficiales	54
2.2.2. Recursos hídricos subterráneos	54
2.3. Suelos	56
2.4. Climatología	58
2.4.1. Temperaturas.....	61
2.4.2. Precipitaciones.....	62
2.5. Vegetación y fauna.....	63
2.6. Agricultura	67
2.8. Estado de degradación de los suelos de Castilla-La Mancha	70

CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS	77
3.1. Métodos analíticos.....	79
3.1.1. pH.....	79
3.1.2. Conductividad eléctrica.....	79
3.1.3. Carbono orgánico fácilmente oxidable.....	79
3.1.4. Contenido en carbonatos.....	80
3.1.5. Contenido en caliza activa.....	80
3.1.6. Análisis granulométrico.....	80
3.1.7. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio	81
3.1.8. Contenido en nitrógeno total.....	81
3.1.9. Contenido en macroelementos asimilables.....	81
3.1.10. Densidad real.....	82
3.1.11. Densidad aparente.....	82
3.1.12. Porosidad.....	82
3.1.13. Color.....	83
3.1.14. Capacidad de campo.....	83
3.1.15. Punto de marchitamiento permanente.....	83
3.1.16. Agua útil.....	84
3.1.17. Humedad.....	84
3.1.18. Tasa de infiltración del agua.....	84
3.1.19. Identificación de arcillas.....	85
3.1.20. Índice de floculación.....	85
3.1.21. Fraccionamiento de arenas.....	86
3.1.22. Carbono de la biomasa microbiana.....	87
3.1.23. Respiración microbiana.....	87
3.1.24. Actividad Deshidrogenasa.....	88
3.1.25. Actividad Catalasa.....	88
3.1.26. Actividad Ureasa.....	89
3.1.27. Actividad Proteasa-BAA.....	89
3.1.28. Actividad Fosfatasa.....	90
3.1.29. Actividad β -Glucosidasa.....	90
3.2. Tratamientos Estadísticos.....	91
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	95
4.1. Descripción y resultados analíticos de los perfiles.....	96
4.2. Discusión macromorfológica de los perfiles.....	154
4.2. Discusión macromorfológica de los perfiles.....	154

4.3. Discusión de las propiedades analizadas	163
4.3.1. pH_{H_2O} , pH_{KCl}	166
4.3.2. Conductividad eléctrica.....	168
4.3.3. C orgánico, N total y Relación C/N.....	171
4.3.4. Carbonatos y caliza activa	174
4.3.5. Textura	177
4.3.6. C IC y bases intercambiables	180
4.3.7. Elementos asimilables	183
4.3.8. Densidad real, aparente y porosidad.....	188
4.3.9. Capacidad de campo, punto de marchitamiento y agua útil	191
4.3.10. Tasa de infiltración.....	194
4.3.11. Fraccionamiento de arenas	196
4.3.12. Mineralogía: Caolinita, illita y esmectita	200
4.3.13. Profundidad efectiva	203
4.3.14. Propiedades biológicas y bioquímicas	205
CAPÍTULO 5. FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD Y APLICACIÓN DEL MISMO.....	233
5.1. Métodos utilizados para elaborar un índice de calidad de suelos	233
5.2. Elaboración metodológica de un índice de calidad de suelos para Castilla-La Mancha.....	240
5.2.1. Establecimiento de un uso específico	241
5.2.2. Determinación de los parámetros implicados.....	241
5.2.3. Selección de un Conjunto Mínimo de Indicadores	241
5.2.4. Transformación de indicadores	273
5.2.5. Integración de los indicadores en un índice	303
5.2.6. Aplicación del índice propuesto.....	315
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	331
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA	337
CAPÍTULO 8. ANEXOS.....	365
8.1. Anexo I. Resultados de parámetros biológicos y bioquímicos	365
8.2. Anexo II. Índices de calidad obtenidos por la Estrategia 1	369
8.3. Anexo III. Índices de calidad obtenidos por la Estrategia 2	398

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases de productividad (Riquier et al., 1970).	4
Tabla 2. Indicadores de calidad propuestos por Wienhold et al. (2004).	22
Tabla 3. Velocidades y Clases de Infiltración (USDA, 1999).	39
Tabla 4. Superficie (Km ²) distribuida por intervalos altimétricos (IES, 2004).	51
Tabla 5. Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha (IGME, 1985).	54
Tabla 6. Pisos bioclimáticos (Plan de Conservación del Medio Natural).	59
Tabla 7. Tipos de ombroclima en Castilla-La Mancha.	60
Tabla 8. Temperaturas medias mensuales (°C). Periodo 1980-2002. (IES, 2004).	61
Tabla 9. Precipitaciones medias mensuales (mm). Periodo 1980-2000 (IES, 2004).	62
Tabla 10. Distribución general de la tierra (miles de has.) Castilla-La Mancha (IES,2004).	67
Tabla 11. Producción de los principales productos agrícolas (IES, 2004).	70
Tabla 12. Índices de floculación.	86
Tabla 13. Clasificación de las arenas según los criterios USDA.	86
Tabla 14. Parámetros físico-químicos de los suelos de la laguna de Villacañas, Toledo.	155
Tabla 15. Estadísticos descriptivos del pH _{agua} y pH _{KCl}	167
Tabla 16. Pruebas de normalidad del pH _{agua} y pH _{KCl}	167
Tabla 17. Estadísticos descriptivos de la conductividad eléctrica.	169
Tabla 18. Pruebas de normalidad de la conductividad eléctrica.	170
Tabla 19. Estadísticos descriptivos del C.Orgánico, N. total y C/N.	172
Tabla 20. Pruebas de normalidad del C.Orgánico, N. total y C/N.	173
Tabla 21. Estadísticos descriptivos del carbonato y caliza activa.	175
Tabla 22. Pruebas de normalidad del carbonato y caliza activa.	176
Tabla 23. Estadísticos descriptivos de la textura.	178
Tabla 24. Pruebas de normalidad de la textura.	178
Tabla 25. Estadísticos descriptivos de la C.I.C y bases de cambio.	181
Tabla 26. Pruebas de normalidad de la C.I.C y bases de cambio.	181
Tabla 27. Estadísticos descriptivos de los elementos asimilables.	185
Tabla 28. Pruebas de normalidad de los elementos asimilables.	185
Tabla 29. Estadísticos descriptivos de la densidad real, aparente y porosidad.	189
Tabla 30. Pruebas de normalidad de la densidad real, aparente y porosidad.	189
Tabla 31. Estadísticos descriptivos de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.	192
Tabla 32. Pruebas de normalidad de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.	192
Tabla 33. Estadísticos descriptivos de la tasa de infiltración.	194
Tabla 34. Pruebas de normalidad de la tasa de infiltración.	195
Tabla 35. Estadísticos descriptivos de las arenas.	197
Tabla 36. Pruebas de normalidad de las arenas.	197

Tabla 37. Estadísticos descriptivos de las arcillas.	201
Tabla 38. Pruebas de normalidad de las arcillas.	201
Tabla 39. Estadísticos descriptivos de la profundidad efectiva	204
Tabla 40. Pruebas de normalidad de la profundidad efectiva.	204
Tabla 41. Valores de referencia de actividades enzimáticas (García et al., 2000).	206
Tabla 42. Valores de referencia de catalasa en diferentes suelos (Trasar et al., 2003).	206
Tabla 43. Estadísticos descriptivos de las propiedades biológicas.	208
Tabla 44. Pruebas de normalidad de las propiedades biológicas.	208
Tabla 45. Valores medios de las actividades sobre suelos de cultivo y naturales.	210
Tabla 46. Estadísticos descriptivos de las propiedades bioquímicas.	216
Tabla 47. Pruebas de normalidad de las propiedades bioquímicas.	216
Tabla 48. Valores medios de las actividades enzimáticas sobre suelos de cultivo y naturales.	220
Tabla 49. Valores medios de las propiedades biológicas sobre los suelos 12 y 16.	225
Tabla 50. Valores medios de las propiedades bioquímicas sobre los suelos 12 y 16.	226
Tabla 51. Parámetros físicos, mineralógicos, químicos, biológicos y bioquímicos utilizados para elaborar un índice de calidad de suelos.	244
Tabla 52. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre horizontes superficiales.	246
Tabla 53. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP3, CP4 y CP5, horizonte superficial.	248
Tabla 54. Coeficientes de correlación entre los parámetros del horizonte superficial.	249
Tabla 55. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre horizontes subsuperficiales.	253
Tabla 56. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP5 y CP6, horizonte subsuperficial.	254
Tabla 57. Coeficientes de correlación entre los parámetros del horizonte subsuperficial.	255
Tabla 58. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades físicas en horizontes superficiales.	257
Tabla 59. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP5 y CP6, propiedades físicas, horizonte superficial.	259
Tabla 60. Coeficientes de correlación entre los parámetros físicos y mineralógicos del horizonte superficial.	260
Tabla 61. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades físicas en horizontes subsuperficiales.	261
Tabla 62. Coeficientes de correlación entre los parámetros físicos y mineralógicos del horizonte subsuperficial.	262
Tabla 63. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades químicas en horizontes superficiales.	263
Tabla 64. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, propiedades químicas, horizonte superficial.	264
Tabla 65. Coeficientes de correlación entre los parámetros químicos del horizonte superficial.	265
Tabla 66. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades químicas en horizontes subsuperficiales.	266
Tabla 67. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP 1 y CP2, propiedades químicas, horizonte subsuperficial.	267

Tabla 68. Coeficientes de correlación entre los parámetros químicos del horizonte subsuperficial.....	268
Tabla 69. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades biológicas y bioquímicas en horizontes superficiales.....	269
Tabla 70. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, propiedades biológicas y bioquímicas, horizonte superficial.....	270
Tabla 71. Coeficientes de correlación entre los parámetros biológicos y bioquímicos del horizonte superficial.....	271
Tabla 72. Resumen de los indicadores seleccionados.....	272
Tabla 73. Intervalos de calidad referenciados para diferentes propiedades.....	275
Tabla 74. Límites críticos establecidos por Harris et al. (1996).....	276
Tabla 75. Resumen de parámetros biológicos y bioquímicos de los suelos de referencia.....	280
Tabla 76. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros físicos y mineralógicos.....	300
Tabla 77. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros químicos.....	301
Tabla 78. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros biológicos y bioquímicos.....	302
Tabla 79. Agrupación de indicadores y funciones según Harris et al (1996).....	304
Tabla 80. Resumen de los indicadores de calidad seleccionados y sus coeficientes de ponderación.....	308
Tabla 81. Índice de Calidad aplicando la Estrategia 1.....	315
Tabla 82. Índices de calidad obtenidos en la Estrategia 1.....	316
Tabla 83. Índice de Calidad aplicando la Estrategia 2.....	320
Tabla 84. Índices de calidad obtenidos en la Estrategia 2.....	321
Tabla 85. Índices de calidad biológica bajo suelos con diferentes usos.....	324

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funciones del suelo (USDA).	10
Figura 2. Principales componentes de la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).	14
Figura 3. Tendencias de la evaluación de la calidad del suelo (Seybold et al., 1998).	17
Figura 4. Marco FPEER (AEMA, 2002).	20
Figura 5. Método de Evaluación Visual del Suelo.	33
Figura 6. Ejemplo de carta de calidad del suelo del estado de Georgia.	36
Figura 7. “Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo” (USDA, 1999).	37
Figura 8. Ejemplo del Ensayo de Infiltración (USDA, 1999).	38
Figura 9. Gráfico radar (Andrews et al., 2003).	40
Figura 10. Curva respuesta del N total para todo tipo de suelos con uso pasto.	42
Figura 11. Página de entrada de datos SINDI (Land Care Institute).	42
Figura 12. Gráfico de barras SINDI.	43
Figura 13. Situación geográfica de Castilla-La Mancha.	49
Figura 14. Distribución porcentual de altitudes de Castilla-La Mancha.	51
Figura 15. Tipos de climas en Castilla-La Mancha según la clasificación de Köppen.	60
Figura 16. Climodiagrama ombrotérmico de Castilla-La Mancha.	63
Figura 17. Distribución porcentual de los usos del suelo de Castilla-La Mancha, 2004.	68
Figura 18. Mapa de cultivos y aprovechamientos. Castilla-La Mancha (MAPA, 2003).	68
Figura 19. Superficie de explotaciones agrarias (millones de has) de Castilla-La Mancha, 2003.	69
Figura 20. Mapa de riesgos de desertificación por subcuencas (PAND, 2005).	71
Figura 21. Situación de los perfiles estudiados.	78
Figura 22. Fotografía del Perfil 1- Villacañas.	97
Figura 23. Fotografía del Perfil 2- Tembleque.	99
Figura 24. Fotografía del Perfil 4 – Montiel I.	101
Figura 25. Fotografía del perfil 8 y vista general de los Perfiles 6, 7 y 8 (Cozar).	111
Figura 26. Fotografía del Perfil 9- La Solana.	113
Figura 27. Fotografía del Perfil 10- Almagro.	115
Figura 28. Fotografía del Perfil 11 - Manzanares.	117
Figura 29. Fotografía del Perfil 12- Mesones.	119
Figura 30. Fotografía del Perfil 13 – Alaminos I.	121
Figura 31. Fotografía del Perfil 14 – Alaminos II.	123
Figura 32. Fotografía del Perfil 15 – Henares.	125
Figura 33. Fotografía del Perfil 16 – Almadén.	127
Figura 34. Fotografía del Perfil 17 – Tablas de Daimiel.	129
Figura 35. Fotografía del Perfil 18 – Huete.	131
Figura 36. Fotografía del Perfil 19 – Cañaveras.	133
Figura 37. Fotografía del Perfil 20 – La Ventosa.	135

Figura 38. Fotografía del Perfil 21 – La Ventosa.....	137
Figura 39. Fotografía del Perfil 23 – La Galiana.....	141
Figura 40. Fotografía del Perfil 24 – Balazote.....	143
Figura 41. Fotografía del Perfil 25 – Manchuela de Cuenca.....	145
Figura 42. Fotografía del Perfil 26 – Las Tiesas.....	147
Figura 43. Fotografía del Perfil 29 – Cabañeros.....	153
Figura 44. Detalles del diagrama de caja y bigotes.....	163
Figura 45. Diagramas de caja y bigotes del pH_{agua} y pH_{KCl}	166
Figura 46. Histogramas de frecuencias del pH_{agua} y pH_{KCl} en horizontes superficiales (HI) y subsuperficiales (H II).....	168
Figura 47. Diagramas de caja y bigotes de la conductividad eléctrica.....	169
Figura 48. Histogramas de frecuencias de la conductividad eléctrica en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	170
Figura 49. Diagramas de caja y bigotes del C.Orgánico, N.Total y C/N.....	172
Figura 50. Histogramas de frecuencias del C.Orgánico, N. total y C/N en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	174
Figura 51. Diagramas de caja y bigotes del carbonato y caliza activa.....	175
Figura 52. Histogramas de frecuencias del carbonato y caliza activa en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	176
Figura 53. Diagramas de caja y bigotes de la textura (arena, limo y arcilla).....	177
Figura 54. Histogramas de frecuencias de la textura en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	179
Figura 55. Diagramas de caja y bigotes de las bases de cambio y C.I.C.....	180
Figura 56. Histogramas de frecuencias del C.I.C y bases de cambio en horizontes subsuperficiales.....	182
Figura 57. Diagramas de caja y bigotes de los elementos asimilables.....	184
Figura 58. Histogramas de frecuencias de elementos asimilables en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	187
Figura 59. Diagramas de caja y bigotes de la densidad real, aparente y porosidad.....	188
Figura 60. Histogramas de frecuencias de la densidad real, aparente y porosidad en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	190
Figura 61. Diagramas de caja y bigotes de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.....	191
Figura 62. Histogramas de frecuencias de C.Campo, P.Marchitez y A.Útil en horizontes superficiales.....	193
Figura 63. Diagramas de caja y bigotes de la tasa de infiltración.....	194
Figura 64. Histograma de frecuencias de la tasa de infiltración.....	195
Figura 65. Diagramas de caja y bigotes de las arenas (A.M.G, A.G, A.M, A.F y A.M.F).....	196
Figura 66. Histogramas de frecuencias de las arenas en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	199
Figura 67. Diagramas de caja y bigotes de las arcillas.....	200
Figura 68. Histogramas de frecuencias de las arcillas en horizontes superficiales y subsuperficiales.....	202
Figura 69. Diagramas de caja y bigotes de la profundidad efectiva.....	203

Figura 70. Histograma de frecuencias de la profundidad efectiva.....	204
Figura 71. Diagramas de caja y bigotes de las propiedades biológicas.....	207
Figura 72. Histogramas de frecuencias de las propiedades biológicas.....	209
Figura 73. Comparación de parámetros biológicos en suelos cultivados y naturales.....	210
Figura 74. Diagramas de caja y bigotes de las propiedades bioquímicas.....	215
Figura 75. Histogramas de frecuencias de las propiedades bioquímicas.....	218
Figura 76. Comparación de los parámetros bioquímicos en suelos cultivados y naturales.....	219
Figura 77. Resumen de las actividades enzimáticas del suelo 12 bajo diferentes usos.....	227
Figura 78. Resumen de las actividades enzimáticas del suelo 16 bajo diferentes usos.....	228
Figura 79. Esquema metodológico para la obtención de un índice de calidad de suelos en Castilla-La Mancha.....	240
Figura 80. Tipos de funciones de transformación.....	277
Figura 81. Función óptima con sus límites críticos.....	278
Figura 82. Índices de calidad de los suelos aplicando la estrategia 1.....	318
Figura 83. Índices de calidad de los suelos aplicando la estrategia 2.....	323
Figura 84. Índices de calidad biológica en suelos bajo cultivo y vegetación natural.....	326

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En las últimas décadas se ha producido un interés creciente sobre los sistemas de utilización óptimos, mientras se conserva el suelo, agua y energía, al tiempo que se protege el medio ambiente. Y es que uno de los principales problemas ambientales derivados del desarrollo agrícola, urbano e industrial es la degradación de los recursos edáficos e hídricos y la consecuente pérdida de calidad de los mismos. Por ello, desde la óptica científica se intenta identificar las fuerzas que afectan a la degradación, y así prevenir los impactos.

Aire, agua y suelo son los elementos principales del medio ambiente desarrollando funciones específicas para el mantenimiento del ecosistema. Todos ellos tienen un efecto profundo sobre la salud y productividad del mismo. Sin embargo, el suelo es el único recurso que carece de estándares de calidad definidos.

En España, como en la mayoría de los países europeos, el reconocimiento sistemático de sus suelos comenzó a abordarse fundamentalmente a partir de la década de 1950, con metodologías, sistemas de clasificación, escalas y tipos de cobertura muy dispares. Y puede decirse que esta iniciativa nacional tuvo su raíz en la necesidad de incrementar las producciones agrarias, pero también en un cierto posicionamiento científico, es decir bajo la necesidad de un intercambio de experiencias y conocimientos científico-técnicos. Castilla-La Mancha no ha sido una excepción a esta tendencia, de modo que el conocimiento de sus suelos se inicia del mismo modo, destacando que no existe un trabajo a nivel de la Comunidad que abarque de forma más o menos intensa el conocimiento de sus suelos.

Por otra parte, hoy día además existe una demanda creciente en establecer criterios para determinar la calidad del suelo y desarrollar índices que puedan ser usados para graduar y comparar la calidad de los suelos en diferentes lugares (Hussain et al., 1999) o en las mismas a lo largo del tiempo (Nortcliff, 2002).

Por tanto, la sostenibilidad de los sistemas de manejo agrícola es un tema de debate actual, resultando la evaluación de la calidad de suelos como

una herramienta para evaluar las prácticas de manejo.

Entre los objetivos principales de la evaluación destaca observar en qué estado se encuentra el suelo, de tal modo que a partir del mismo se puedan derivar una serie de medidas encaminadas a mejorar su salud. Sposito (2003) enumera como requisito fundamental que la calidad traduzca el conocimiento científico en decisiones efectivas para su manejo. Por ello, es necesaria, por otra parte, la implicación en el proceso del agricultor (Wienhold et al., 2004). Esta intervención facilitaría una interrelación entre científico y agricultor propiciando con ello una evaluación más completa y realista. Stocking y Murnaghan (2003) consideraban a estos fundamentales ya que son las personas más en contacto directo con el suelo y los que mejor van a conocer los procesos que en él se están dando, además de proporcionar una visión más práctica de los tipos de intervenciones que pueden ser aceptadas por el suelo. Por otra parte, además de los factores agroecológicos se deben tener en cuenta los socio-económicos, siendo conveniente implicar desde el comienzo de un proyecto a los agentes sociales para enfocar la calidad del suelo como algo multidisciplinar.

Para evaluar la calidad de suelos se ha tenido que dar un viraje a una cierta tradición edafológica, de tal modo que fue necesario incorporar nuevos conceptos.

1.1. Evaluación de la capacidad de uso y calidad de suelos: ¿dos conceptos diferentes?

Cuando se realiza una evaluación de tierras se procede a un proceso de recogida e interpretación de datos básicos de los suelos, lo que permite orientar las decisiones en el uso de los mismos de forma más racional. Tradicionalmente, los estudios de suelos, "Soil Survey", incluían actividades de clasificación e interpretación definiendo las denominadas "clases de capacidad de uso de la tierra (Land Capability Classes)". Uno de los primeros índices fue el de Storie; otro es el índice de inventarios de tierra y monitoreo (Land Inventory and Monitoring), basados en las propiedades del suelo, (Karlen et al., 1997).

Sin embargo, frente a los tradicionales estudios de suelos, "Soil Survey", que normalmente incluían la evaluación de los mismos, hoy día se tiende a hablar más de calidad de suelo o "Soil Quality". De tal manera que si los sistemas tradicionales de clasificación e interpretación se basaban en la

clasificación e interpretación de las características inherentes, incluyendo los factores formadores focalizando así el estudio en el perfil de suelo (1-2 m.); la calidad del suelo, que describe el estatus o condición del suelo en relación al uso reciente, se focaliza en los 20-30 cm superficiales.

El proceso de evaluación constituye una prolongación del reconocimiento y caracterización de suelos, consistente en una interpretación práctica de una serie de variables básicas que se analizan en el proceso de reconocimiento (Mamani, 2002) y que evalúa la capacidad de un suelo para su uso óptimo (Dorronsoro, 2002).

Tradicionalmente se han desarrollado diversos métodos para la evaluación de la tierra, entendiendo el suelo como sinónimo de tierra; sin embargo, éste excluye las características sociales, económicas y políticas contenidas en el concepto más amplio de tierra. Los diversos sistemas generalmente están basados en el grado de idoneidad de las propiedades o considerando los factores limitantes del mismo, existiendo básicamente dos tipos de sistemas utilizados para evaluar los suelos: generales y específicos.

Los sistemas generales son paramétricos y clasifican las tierras en clases según el carácter limitante de alguna de sus propiedades. Estos sistemas expresan el resultado final en términos numéricos o categorías, establecidas por umbrales dentro de una escala numérica (Mamani, 2002). Aplican fórmulas matemáticas para transformar el resultado en términos numéricos de tipo aditivo ($\text{Índice} = A+B+C\dots$) o multiplicativo ($\text{Índice} = A \times B \times C \times \dots$) (Dorronsoro, 2002) y han sido ampliamente aceptados porque tal y como afirman McRae y Burbham (1981) son: simples, objetivos, cuantitativos, fiables, fáciles de entender y fáciles de modificar y adaptar a nuevos usos.

El primer sistema paramétrico desarrollado fue el "Índice de Storie" (Storie, 1933). Éste sistema agrupa en cuatro factores las propiedades intrínsecas, características superficiales del suelo y aspectos de su conservación. Estos son ponderados anteriormente haciendo corresponder los de mayor importancia a una escala de 5 a 100 y los menos importantes a una de 80 a 100 para ser combinados posteriormente mediante una multiplicación de todos ellos, resultando un índice expresado en porcentaje. Este índice evaluaba suelos agrícolas generales en seis clases decrecientes del 1 al 6 y en subclases dependiendo de los factores limitantes como: profundidad (s), permeabilidad (p), textura (x), pendiente (t), drenaje (d) y sales (a). Sin embargo, este sistema de evaluación no considera ninguna característica

climática, haciéndola sólo comparable a regiones con el mismo tipo de clima.

En 1961 el Servicio de Conservación de Suelos de USA estableció el "Sistema de Clasificación de Capacidad Agrológica" (Klingebiel y Montgomery, 1961). El sistema establece tres niveles de clasificación: clases, subclases y unidades. Las clases están formadas por ocho categorías, desde la clase I que representa un suelo con poca o ninguna limitación para producción agrícola hasta la clase VIII que son suelos incapaces de producir. Se usan cuatro letras como subclases para representar la mayor limitación dentro de las diferentes clases: erosión (e), exceso de humedad (w), problemas en las raíces (s) y limitaciones climáticas (c).

Otro sistema paramétrico multiplicativo es el "Sistema de Evaluación de la Productividad Agraria de la F.A.O" (Riquier et al., 1970). Este método considera que la productividad agrícola del suelo, bajo condiciones óptimas de manejo, depende de las características intrínsecas, definiendo cinco clases de productividad (tabla 1). Trata de determinar la capacidad inicial del suelo para producir cierta cantidad de cosecha/ha/año. Cada factor considerado toma el valor de 0 a 100, expresando su contribución en porcentaje al índice final, también comprendido entre 0 y 100. Considera diez factores en su evaluación que combina en un índice de productividad o potencialidad (IP) de la siguiente forma:

$$IP = H \times D \times P \times T \times V \times S \times A \times M \times O \times R$$

dónde los factores considerados son: régimen hídrico del suelo o número de meses secos (H), drenaje (D), profundidad efectiva del suelo (P), textura y estructura (T), porcentaje de saturación de bases (V), porcentaje de sales solubles (S), tipo de arcilla (A), materia orgánica en el horizonte A (O) y relieve o inclinación de la pendiente (R).

Clase	Uso
Clase P1: excelente	
Clase P2: buena	válido para todo tipo de cultivos
Clase P3: media	para usos agrícolas marginales, adecuado para árboles no frutales
Clase P4: pobre	para pastos, forestar o recreo.
Clase P5: muy pobre	los suelos no son adecuados para ningún tipo de explotación.

Tabla 1. Clases de productividad (Riquier et al., 1970).

Los sistemas de evaluación han ido evolucionando con el tiempo y han pasado a ser cada vez más concretos y precisos, debido a la necesidad de diferenciar entre la diversidad de cultivos y diferentes usos del suelo (Aguilar et al., 1989). Siguiendo esta tendencia surgen los sistemas específicos que evalúan el suelo basándose en un uso concreto y considerando que éste tiene sus propias limitaciones y exigencias.

Dentro de los sistemas específicos más destacados se encuentra la "Clasificación de la Capacidad de Fertilidad del Suelo" (Buol et al., 1975). Es un método que trata de evaluar la fertilidad integrando propiedades del suelo y del entorno.

Otro sistema específico es el desarrollado por Sys (1976) que selecciona el uso óptimo para cada unidad de tierra teniendo en cuenta propiedades físicas, socio-económicas y la conservación de los recursos naturales para el futuro.

Partiendo de uno de los primeros índices, el de Storie, se han ido implantando otras muchas metodologías, como la de Buol et al. (1975), o modificaciones como la de Sánchez et al. (1982), Calvo de Anta (1996) o Porta y Boixadera (1996). En España se ha utilizado el sistema de clases agrológicas (De León et al., 1989), que orienta sobre los usos generales del territorio (agrícola, ganadero, forestal, recreativo, etc.) y otros como los de Aguilar y Ortiz (1992), Martínez (1990), Aguilar (1982) o Andrades et al. (1993).

También se ha aplicado la metodología propuesta por Recatalá y Sánchez (1993), Gallardo et al. (2002), o la utilizada en la comarca olivarera de Martos por De Haro et al. (1993) o la realizada por Mamani (2002). Esta última concluye que ninguna metodología propuesta hasta el momento es adecuada al aplicarla a un cultivo específico, ya que este presenta ciertos caracteres que le son propios. Otros autores han comparado las diferentes metodologías (Dorronsoro, 2002) y han creado programas informáticos para realizar dichas evaluaciones (Dorronsoro et al., 2004, Martín et al., 2004).

El objetivo perseguido por todos estos sistemas ha sido la producción en la mayoría de las evaluaciones realizadas hasta el momento.

Sin embargo, ha llegado la hora de conceder importancia a otros aspectos u objetivos como son el medio ambiente, la salud humana y la sostenibilidad (FAO, 2001). De este modo las evaluaciones de suelo recientes

han ido incorporando estos nuevos criterios y conceptos en uno nuevo, el de "calidad del suelo" representando una nueva forma de evaluación del suelo que pretende ser más completa, pues incluye la evaluación de propiedades físicas, químicas y biológicas, en algunos casos no consideradas hasta entonces. Sin embargo, Bouma (1989) afirmaba que no es un concepto nuevo pues los sistemas de evaluación del terreno ya incluían este enfoque.

Así, la calidad se presenta como la herramienta ideal para conocer los diferentes estados de degradación ya que proporciona información sobre las características de diferente naturaleza (física, química y biológica) del suelo. Por ello, una evaluación de ésta nos va a proveer del conocimiento necesario para actuar en consecuencia.

No obstante, las evaluaciones realizadas hoy día tienden a realizar evaluaciones de calidad refiriéndose específicamente a los procesos que tienen lugar en el suelo. Excluyen de este modo variables económicas, sociales y políticas que, sin embargo, deben ser consideradas cuando el suelo sea sujeto de decisión o gestión del mismo.

Es evidente que necesitamos conocer nuestros suelos y sus potencialidades en condiciones óptimas de utilización, necesitamos conservar su capacidad productiva y ambiental, evitando que las actuaciones humanas sobre él, disminuyan esta capacidad o provoquen la pérdida de algunas de sus funciones. (Tejedor, 1996). La evaluación de tierras es la valoración de su rendimiento para un determinado propósito. El uso óptimo de la tierra nunca ha sido tan importante como ahora, cuando el rápido aumento de la población y el crecimiento urbano sólo dejan relativamente poca tierra para la agricultura (Aguilar, 1996).

1.2. Degradación versus calidad

El suelo es la capa superficial de la tierra y constituye un recurso natural no renovable a la escala del tiempo humano (Jenny, 1980) y su lenta tasa de formación (100-400 años/cm de suelo para algunos autores) hace que se le considere un recurso no renovable y que debe preservarse (Montanarella, 1999). Alrededor del 15% de la superficie del planeta se ha degradado y cada vez es más frecuente encontrar suelos cuya degradación es tan extrema que se considera irreversible, definido por la AEMA (1999a) como cualquier pérdida

de más de 1 tonelada/hectárea/año en un lapso de tiempo de entre 50 y 100 años.

La degradación es un problema multidisciplinar y multicausal que esconde un conjunto de procesos interrelacionados (físicos, químicos, etc.) que se manifiestan a diferentes niveles de resolución tanto espacial como temporal. Los factores que lo controlan son múltiples por lo que si no lo frenamos podemos llegar a la ruptura del equilibrio entre el recurso natural y el sistema económico que lo explota. (López-Bermudez, 2006).

La degradación de los suelos inducida por el hombre ha afectado a casi 2.000 millones de hectáreas a escala mundial, representando aproximadamente un 15% del área total de las tierras según GLASOD (1990) siendo la erosión hídrica la más importante por su extensión de territorio afectada (56%). El grado de degradación va en aumento produciendo una seria declinación en su productividad cuyas causas principales han sido el sobrepastoreo, la deforestación y el mal manejo de la tierra agrícola.

La producción alimentaria en aumento representa el factor de mayor presión sobre este recurso debido al gran crecimiento demográfico existente. De tal modo que además de los factores climáticos son las actividades humanas las principales precursoras de la degradación del suelo. Así cabe citar las malas prácticas agrarias como el uso excesivo de fertilizantes, plaguicidas y productos químicos, cambios de cultivos de secano a regadío, abandono de cultivos, etc.

A nivel mundial los principales tipos de degradación son la erosión hídrica (56%), la erosión eólica (28%), la degradación química (12%) y la degradación física. Entre las causas de la degradación se encuentran el pastoreo excesivo (35%), la deforestación (30%), las actividades agrícolas (27%), la sobreexplotación de la vegetación (7%) y las actividades industriales (1%) (GACGC, 1994). De hecho son cada vez mayores los esfuerzos por controlar y estudiar este fenómeno, como prueba la creación a principios de los 90 de la Evaluación Mundial de Degradación de los Suelos (GLASOD) y en 2000 la evaluación de la degradación de las tierras (LADA) en tierras secas. Pero aún no se conocen todavía indicadores de la condición del suelo que permitan realizar evaluaciones cuantitativas de los cambios que se producen con el paso del tiempo.

Entre los efectos que produce la degradación sobre los suelos se encuentran: la erosión, contaminación, sellado, compactación, inundación y deslizamientos. Frecuentemente los suelos de Castilla-La Mancha están afectados fundamentalmente por la erosión hídrica, proceso iniciado con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo provocando su disgregación y en última instancia creación de surcos y cárcavas. Las consecuencias de este proceso son la pérdida de la capacidad del suelo para realizar sus funciones y por último su desaparición (González, 2003). En España, más del 50% del suelo agrícola está clasificado con un riesgo medio-alto de erosión (ICONA, 1991).

Toda la cuenca Mediterránea es especialmente susceptible a la desertificación debido a las condiciones climáticas caracterizadas por la sequía, aridez y episodios de lluvias intensas. La amenaza de desertificación está considerada en la actualidad como uno de los más graves problemas medioambientales a escala mundial (Rubio, 2000) y se define como “la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado, fundamentalmente, de actuaciones humanas adversas” (UNEP, 1991).

Como afirma Rubio (2000) para afrontar este problema es necesario dirigir los esfuerzos hacia la identificación y evaluación de las circunstancias claves del proceso. Por ello es imprescindible conocer previamente el estado en el que se encuentra el suelo para ver cuáles son los procesos que se están dando en él y causando su deterioro. Dicho de otro modo a fin de frenar esta dramática tendencia la única solución es instituir un uso racional del suelo, esto es, usar cada suelo de forma que mejor satisfaga sus características y programar su manejo para que la degradación sea mínima (Dorronsoro, 2002).

Aunque en el pasado el concepto de calidad era confuso y no estaba bien definido, se relacionaba con degradación, considerándose tierras de buena calidad aquellas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión (Bautista et al., 2004); sin embargo, el concepto de calidad ha ido evolucionando hasta incorporar en su definición la sostenibilidad del suelo aunando criterios tanto productivos como medioambientales. Han sido numerosos y frecuentes los trabajos realizados con el fin de evaluar la calidad del suelo considerando alguna forma de degradación. Por ello, la evaluación de la calidad servirá como herramienta para el diagnóstico de los procesos degradativos.

Una vez establecidas las medidas de protección del suelo, será preciso analizar y realizar un seguimiento de los efectos que tienen en el suelo dichas medidas. La evaluación de la calidad de forma regular en el tiempo será también útil para observar si las medidas adoptadas han paliado la degradación.

El mantenimiento de una buena calidad de los suelos puede traducirse en un mejor funcionamiento del mismo con mayores rendimientos en cuanto a producción y va a proteger el suelo contra los distintos tipos de degradación y de contaminación asegurando su mantenimiento sostenible para usos futuros (USDA, 2001).

Lal (1997) afirma que además de considerar los efectos adversos en las funciones del suelo debe discutirse con otros conceptos relacionados con la degradación como son la resiliencia y la calidad del suelo. La degradación es difícil de evaluar, pues no se puede evaluar a través de una simple medición sino que es preciso el uso de unos indicadores que muestren la degradación que está teniendo lugar. Según Stocking y Munaghan (2003) el estado del suelo es uno de los mejores indicadores de la degradación de la tierra, basándose tanto en parámetros intrínsecos del suelo como parámetros de productividad.

1.3. Sostenibilidad en el uso y calidad del suelo

En las próximas décadas, el uso sostenible del suelo será un gran desafío, de tal modo que será comparable y muy relacionado con los problemas mundiales de los cambios en el clima y la biodiversidad. Será preciso emprender las acciones necesarias para satisfacer las actuales y diversas demandas potencialmente enfrentadas respecto al suelo, sin comprometer ni su uso ni su disponibilidad para las generaciones futuras.

El suelo es un recurso multifuncional, característica que le confiere una gran importancia, ya que no sólo representa la reserva mundial del 90% de alimentos sino que también desempeña otras funciones no productivas esenciales para la vida.

La Unión Europea dentro de su estrategia para la protección del suelo (COM, 2002) define el suelo como la capa superior de la corteza terrestre. Está

compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Es un medio extremadamente complejo y variable.

Desde las concepciones iniciales del suelo como parte esencial en la producción de alimentos, paulatinamente se han ido incorporando otras visiones o modelos conceptuales que han pretendido ofrecer respuestas a las distintas necesidades socioeconómicas o medioambientales de cada época (Dumanski, 1994). En este proceso evolutivo de percepción del suelo se han ido desarrollando enfoques conceptuales con muy distintos objetivos (Rubio y Recatalá, 2001).

El suelo es un componente fundamental de la biosfera ya que es la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, que desempeña muchas funciones importantes para la vida: producción de alimentos y biomasa, almacenamiento, filtración y transformación de muchas sustancias incluyendo agua, carbono y nitrógeno. El suelo sirve de base para las actividades humanas, el paisaje y patrimonio y funciona como proveedor de materias primas.

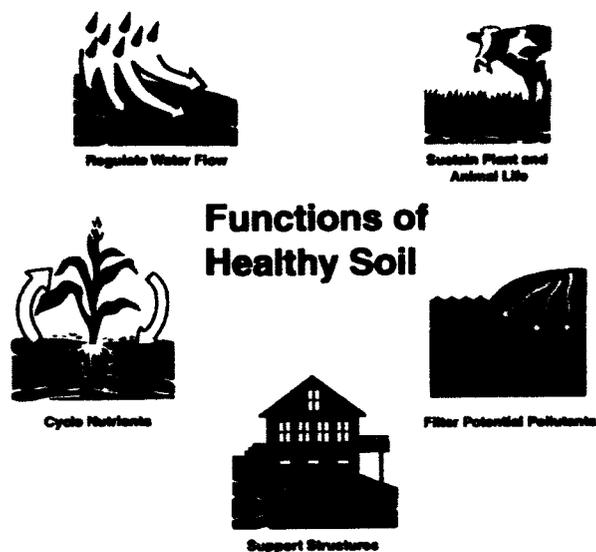


Figura 1. Funciones del suelo (USDA).

Karlen et al. (1997) definen las funciones del suelo como:

1. Sostiene el crecimiento y diversidad de plantas y animales, aportando el medio físico, químico y biológico para el intercambio de agua, aire, nutrientes y energía.
2. Regula la distribución del agua entre la infiltración y escorrentía y regula el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes y compuestos disueltos en el agua.
3. Almacena y modera la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y otros elementos.
4. Actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos.
5. Es el apoyo de estructuras y alberga riquezas arqueológicas asociados a la vivienda humana.

1.4. Definición de calidad

Para definir la calidad del suelo es necesario, en primer lugar analizar etimológicamente la palabra. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española calidad es un nombre derivado del latín *qualitas* y entre las definiciones dadas se encuentran:

- I) Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.
- II) Buena calidad, superioridad o excelencia.

Existe actualmente un interés creciente por la calidad, no sólo en suelo, sino en muchos aspectos de nuestra sociedad, como es el mundo empresarial donde cada vez son más frecuentes las implantaciones de las normas ISO de calidad que se han convertido en propiedad fundamental y medida de eficiencia de sus productos y servicios.

Este concepto es cada vez más amplio por lo que se hace necesario precisar en cada contexto y en los diferentes escenarios cuáles son sus componentes y propiedades fundamentales. Aunque este concepto varía, existe un número suficiente de indicadores comunes como para que todo el mundo reconozca los componentes principales de la calidad (Díaz-Guerra,

2000).

Tradicionalmente el término de calidad del suelo aparecía como sinónimo de productividad del mismo. Sin embargo, no es hasta principios de los años 90 cuando comienzan a establecerse las primeras definiciones.

Existe polémica en establecer si la esta es sinónimo o no de salud. Algunos autores usan ambos conceptos indistintamente (Acton y Gregorich, 1995; Romig et al., 1995); contrariamente otros creen que ambos conceptos no pueden ser utilizados como sinónimos (Karlen et al., 1997).

La subjetividad del término y la dependencia de factores externos a él mismo como el uso, interacciones con el ecosistema, prioridades políticas y socioeconómicas van a dificultar la tarea de llegar a un consenso y así establecer una definición clara y objetiva.

Las definiciones dadas por algunos de los autores han sido las siguientes:

- **Schroevers (1982).** La relación entre los requerimientos medioambientales y la realización de las funciones.
- **SSSA (1987).** Atributos inherentes de los suelos que son inferidos de las características de los mismos o de observaciones indirectas (erosionabilidad, fertilidad etc.).
- **Power y Myers (1989).** La habilidad del suelo para soportar el crecimiento de cultivos que incluye factores tales como el grado de labranza, agregación, contenido en materia orgánica, profundidad, capacidad de retención de agua, nivel de infiltración, pH, capacidad nutriente y otros.
- **Larson y Pierce (1991).** La capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas e interactuar positivamente con el medio ambiente externo a ese ecosistema.
- **Parr et al (1992).** La capacidad de un suelo para producir cultivos seguros y nutritivos de una manera sostenible a largo plazo, y mejorar la salud humana y animal, sin dañar los recursos naturales base o al medio ambiente.
- **Arshad y Coen (1992).** Su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar

agua, minerales y energía para la producción de cultivos, preservando un ambiente sano.

- **Pierce y Larson (1993).** Capacidad para uso.
- **Doran y Parkin (1994).** La capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas para sostener la productividad biológica, mantener la calidad medioambiental, y promover la salud de animales y plantas.
- **Gregorich et al. (1994).** Una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente con relación a su uso específico.
- **Acton y Gregorich (1995).** El buen estado del suelo para soportar el crecimiento de cultivos sin promover la degradación del suelo o del medio ambiente.
- **Doran y Safley (1997).** La continua capacidad de un suelo para funcionar como un sistema vivo vital, dentro de los límites de los ecosistemas y usos de la tierra, sostener la productividad biológica, promover la calidad de los medios aire y agua, y para mantener la salud de las plantas, animales y humanos.

Las diferentes definiciones no han logrado alcanzar un consenso. Sin embargo, la definición más aceptada es la tomada por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA) como:

“la capacidad de un suelo específico para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para sostener productividad de plantas y animales y mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y apoyar la salud humana y hábitat” (Karlen et al., 1997).

La percepción de la calidad del suelo ha ido evolucionado con el paso del tiempo y ha pasado de considerar exclusivamente la productividad agrícola (Bautista et al., 2004) a incorporar el concepto de sostenibilidad. Ello es probablemente debido al aumento en los últimos años de la concienciación por el Medio Ambiente.

No obstante, a pesar de que existe cada vez un número creciente de investigaciones sobre la calidad del suelo, existen autores como Sojka y Upchurch (1999) que contradicen las mismas afirmando que estas definiciones

son contextuales y subjetivas ya que ninguna evaluación de la calidad considera de manera objetiva los aspectos positivos y negativos de todos los indicadores empleados.

Según Doran y Parkin (1994) un rasgo común a todas las definiciones realizadas es que la calidad del suelo debe tener en cuenta tres aspectos fundamentales (figura 2):

1. **Productividad.** Habilidad del suelo para aumentar la productividad.
2. **Calidad ambiental.** Habilidad del suelo para atenuar contaminantes ambientales, patógenos.
3. **Salud.** Las interrelaciones entre la calidad del suelo y plantas, animales y salud humana.

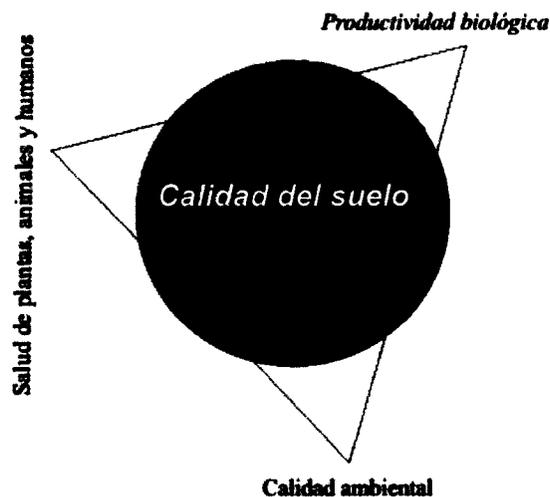


Figura 2. Principales componentes de la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).

La calidad es una interpretación que trata de encajar algo que percibimos o experimentamos en la naturaleza en un marco interpretativo, realizado por nosotros mismos a través del conocimiento (Schroever, 1982). Se convierte así en un instrumento que nos va a permitir observar de una manera global el estado en el que se encuentran nuestros suelos, por basarse

en las características multifuncionales del suelo y por la combinación de propiedades edafológicas referidas a las funciones naturales del mismo. Esto va a ser de gran importancia debido a la gran multitud de funciones que desempeña.

1.5. Evaluación de la calidad

Aunque la calidad del suelo no puede medirse directamente, toma valor sin embargo como concepto que engloba el examen e integración de relaciones y funciones entre varios parámetros biológicos, químicos y físicos medidos y que resultan importantes para un sistema agrícola y medioambiental sostenible (Karlen et al, 1997). Se persigue entonces evaluar la calidad del suelo a través de un índice de calidad o salud del suelo con el fin de promover la mayor calidad posible y teniendo en cuenta que existe una relación directa entre la salud humana y la calidad de los suelos.

En todo caso resulta complicado evaluar la calidad del suelo e identificar sus características (Vonk, 1982) dada la multiplicidad de factores de diferente naturaleza que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en el tiempo, espacio e intensidad. Algunos autores consideran imposible cuantificar la calidad de un suelo por las "diferencias naturales" entre órdenes de suelo e incluso entre las mismas serie de suelos encontrados en diferentes lugares. Sin embargo, cada día parece más necesario establecer índices de calidad que identifiquen áreas con problemas de producción, o bien para hacer más realista la estimación de producción agrícola hacer el seguimiento de cambios en la calidad sostenible y ambiental relacionada con el manejo agrícola así como para ayudar en la evaluación de políticas agrícolas sostenibles

Algunos autores han sugerido estudiar ecosistemas naturales para compararlos con los que han sido manejados para ver cómo ha evolucionado (Warkentin, 1995). Realizar este tipo de evaluación en el suelo es muy difícil debido principalmente a la heterogeneidad del mismo, de la influencia de otros factores como la precipitación, clima, temperatura, geomorfología. Sólo sería posible la comparación entre suelos dentro de una misma región ecológica o tipo de suelo.

Debido a la diversidad en la potencialidad de los usos del suelo Karlen et al. (1997) sugirieron ver la evaluación de la calidad de suelos como algo relativo no como algo absoluto, reconociendo de esta forma que los suelos son diferentes y que para una función específica, la calidad de los suelos puede ser diferente sin ser necesariamente limitante.

La calidad ha sido descrita como un atributo inherente al suelo que puede ser inferido de sus propiedades. Pero hay medidas que no tienen criterios o guías de interpretación.

Se han propuesto dos aproximaciones para evaluar la calidad:

1. Condiciones del suelo nativo.
2. Condiciones de máxima producción y realización ambiental.

Para sistemas agrícolas intensamente manejados se ha adoptado la última aproximación. Autores como Larson y Parkin (1991) afirman que una evaluación es práctica sólo y cuando se consideren las funciones y sus variaciones en el tiempo y en el espacio. Arshad y Martin (2002) afirman que una evaluación realizada mediante la comparación con valores deseados (límites críticos) a diferentes intervalos de tiempo para un uso específico en un agroecosistema seleccionado, proporcionará información sobre la efectividad de un sistema de manejo de labranza, tecnologías y política. Así, la evaluación de la calidad se puede realizar siguiendo principalmente dos metodologías:

1. A lo largo del tiempo; consiste en realizar mediciones periódicas en un mismo suelo y comparar los valores para observar los cambios producidos en él.
2. Tomando un suelo de referencia como modelo y compararlo con nuestras mediciones.

Las evaluaciones de la calidad del suelo deben tener en cuenta propiedades y procesos biológicos, químicos y físicos, de tal modo que la interpretación y las mediciones deben evaluarse con respecto a tendencias a largo plazo o a señales de sostenibilidad, que se traducirán en una degradación, mantenimiento o aumento de su calidad (figura 3).

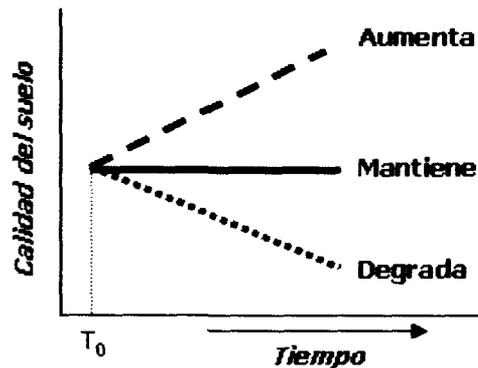


Figura 3. Tendencias de la evaluación de la calidad del suelo (Seybold et al., 1998).

La evaluación va a ofrecer información sobre el estado funcional que presenta el suelo en ese determinado momento y mediante ella va a ser posible identificar áreas de especial interés, áreas problemáticas, o comparar suelos sometidos a manejos diferentes.

Se podrá conocer, mediante la evaluación de la calidad, cuáles son los problemas que presentan y será posible a partir de ellos proponer prácticas de conservación y manejo que ayuden a mantener la mejor salud de los suelos. La realización de evaluaciones periódicas va a ser fundamental para saber cómo evoluciona el suelo y si las medidas propuestas son las adecuadas o son necesarias otras prácticas y evaluar cambios en la calidad del suelo resultante de varios sistemas de manejo (Arshad y Martin, 2002).

1.6. Indicadores de calidad

En la bibliografía existente sobre calidad existen numerosas citas referidas a conceptos como indicador, propiedad, atributo, usándose en determinadas ocasiones independientemente y otras como sinónimos.

Tanto Zonneveld (1982) como Schroevers (1982) definían el concepto de indicador como aquello que hace visible, audible o perceptible lo que en sí mismo no lo es, como es el caso de la calidad. Para Arshad (2002) los

indicadores de calidad se refieren a las propiedades del suelo, que puedan ser medidas, que influyen en la capacidad de realizar funciones de producción agrícola o medioambiental. Según la FAO (1995), los indicadores son estadísticas o medidas relacionadas con una condición, cambio de calidad o cambio de estado.

La calidad del suelo está determinada por un gran número de factores o rasgos denominados generalmente parámetros del suelo. Un parámetro es un factor de tipo físico, químico o biológico, simple o complejo, relevante para la descripción de la calidad (Vonk, 1982). Para poder cuantificarla es necesario disponer de estos parámetros de diferente naturaleza y escoger entre ellos un número determinado que reflejen los cambios en la capacidad del suelo para su funcionamiento.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 1989) define el término indicador como *“un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, con un significado más amplio que el directamente asociado a la configuración del parámetro”*. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2001) añade que los indicadores *“cuantifican y simplifican información sobre aspectos complejos que a menudo derivan de investigaciones técnicas, son dependientes de un propósito, y están abiertos a interpretación”*. Estas instituciones han desarrollado indicadores ambientales con el fin de obtener información sobre el estado de los recursos naturales. De este modo Schiller et al. (2005) define un indicador ambiental como la variable o suma de variables que proporciona una información sintética sobre un fenómeno ambiental complejo, y permite conocer y evaluar el estado y la variación de la calidad ambiental.

Para clasificar los indicadores, la OCDE (1993) utiliza un marco para su uso e interpretación llamado sistema presión-estado-respuesta, fundamentado en las presiones que ejercen las actividades humanas sobre el medio (indicadores de presión) modificando su calidad y cantidad (indicadores de estado) a partir del cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta). Los indicadores propuestos para la calidad del suelo son: el riesgo de erosión hídrica, el riesgo de erosión eólica y acumulación de C en el suelo (OCDE, 2003).

El Ministerio de Medio Ambiente (1998), basándose en este sistema desarrolló el Sistema Español de Indicadores Ambientales, considerando un total de 79 indicadores, clasificados en 18 temas ambientales contenidos en 4 áreas temáticas principales: Atmósfera, Residuos, Medio Urbano y Recursos Naturales, que es donde se localiza el suelo (MMA, 2000a). La Agencia Europea de Medio Ambiente (2002), también propuso un marco llamado Fuerza motriz-Presión-Estado-Efecto-Respuesta (FPEER), basado en el anterior y de gran utilidad en la descripción de los orígenes y consecuencias de los problemas ambientales (figura 4), ya que relaciona las actividades humanas con el impacto sobre el medio.

Las evaluaciones de la calidad realizadas hasta el momento difieren tanto en el método de selección como en los indicadores seleccionados, algo que es entendible pues como hemos afirmado antes la calidad es algo específico de un suelo y uso determinado. Sin embargo, algunos estudios consideran indicadores de la calidad del suelo ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas (SQI, 1996) mientras la mayoría establece la necesidad de aunar todas las propiedades para conocer el estado global del suelo. Doran y Parkin (1996) establecen la necesidad de determinar una lista de indicadores básicos de la calidad como respuesta a la pregunta *“¿Qué medidas debería hacer o qué puedo observar que me ayude a evaluar los efectos del manejo del suelo en las funciones del suelo ahora y en el futuro?”*.

Según Dumanski et al. (1998) es necesario utilizar los mismos indicadores en todos los casos, con el fin de facilitar y poder realizar comparaciones válidas, tanto a nivel nacional e internacional. Sin embargo, en Castilla-La Mancha esto no es fácil dado que no tiene en cuenta los diferentes usos potenciales que pueden tener los suelos, ni su heterogeneidad. De ahí que unos indicadores pueden ser de especial relevancia en algunos casos y no tener ninguna implicación en otro suelo completamente diferente en cualquiera de sus características físicas, químicas o biológicas.

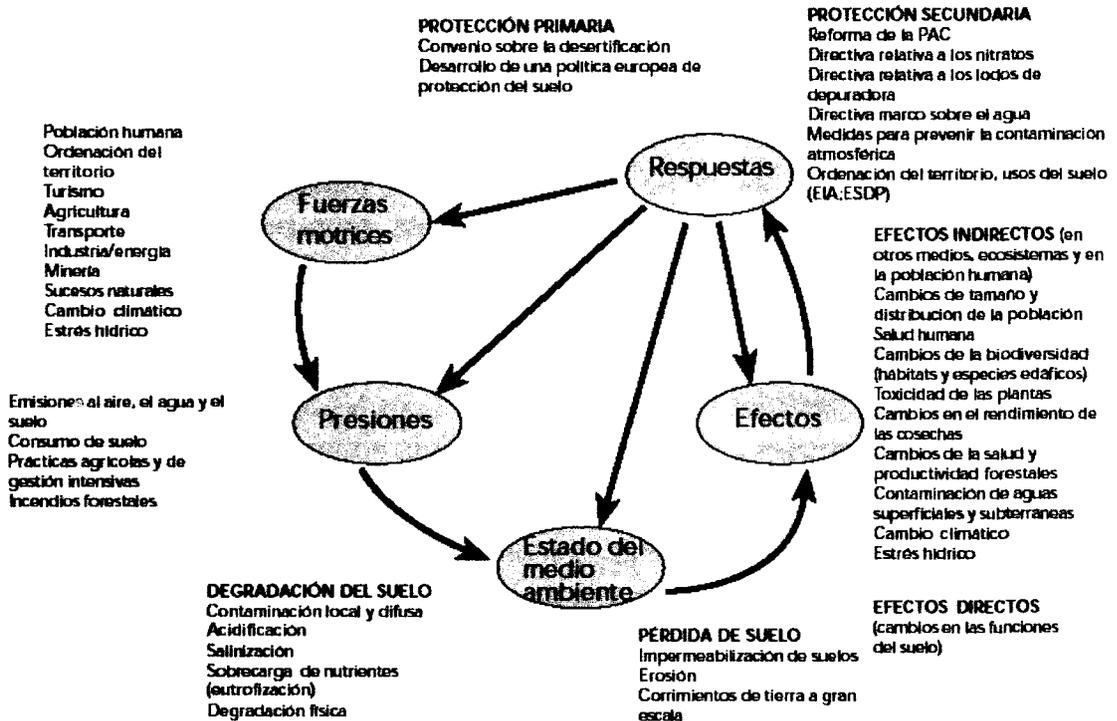


Figura 4. Marco FPEER (AEMA, 2002).

Los indicadores de calidad del suelo se clasifican en inherentes o dinámicos (Carter, 2002; Wienhold et al., 2004). Los primeros se refieren a los indicadores determinados por los factores formadores del suelo como el clima, material original, tiempo, topografía y biota (Jenny, 1941) mientras los dinámicos son aquellos influenciados por usos o manejos recientes (<10 años). Los indicadores útiles son aquellos que son sensibles al cambio, y cambian como respuesta al uso. Consideramos que la selección final del tipo de indicadores y número de indicadores, dependerá de la escala de evaluación, las funciones del suelo de interés y el uso al que se dedique el suelo, atendiendo unos criterios básicos, establecidos por la OCDE (1993):

- **Validez científica:** Los indicadores deben estar basados en el conocimiento científico, siendo su significado claro e inequívoco.
- **Disponibilidad y fiabilidad de los datos:** Los datos necesarios para el diseño de los indicadores deben ser accesibles y estar basados en

estadísticas fiables.

- **Representatividad:** Los indicadores deben estar fuertemente asociados a las propiedades que ellos mismos describen y argumentan.
- **Sensibilidad a cambios:** El indicador debe responder a los cambios que se producen en el medio, reflejando las tendencias y posibilitando la predicción de situaciones futuras.
- **Sencillez:** Los indicadores deben ser medibles y cuantificables con relativa facilidad. A su vez, tienen que ser claros, simples y específicos, facilitando su comprensión por no especialistas que vayan a hacer uso de los mismos.
- **Relevancia y utilidad:** Los indicadores no sólo deben ser relevantes a nivel científico, sino también a nivel político, ya que deben ser útiles en la toma de decisiones.
- **Comparabilidad:** La información que aporten los indicadores debe permitir la comparación a distintas escalas territoriales y temporales.
- **Razonable relación coste/beneficio:** El coste de obtención de información debe estar compensado con la utilidad de la información obtenida.

Es prácticamente imposible describir la calidad del suelo incluyendo la totalidad de los atributos del suelo, de ahí la importancia de proponer un “*Conjunto Mínimo de Datos*” (MSD) (Larson y Pierce, 91; Arshad y Coen, 1992; Doran y Parkin, 1994; Larson y Parkin, 1994; Karlen et al, 1997) que reduzca las numerosas propiedades inicialmente potenciales en un grupo reducido de indicadores que reflejen en su conjunto una visión global de las funciones del suelo y cuyos cambios puedan ser medidos a corto plazo (Larson y Pierce, 1994). Sin embargo, muchos de los indicadores que forman el MSD interaccionan entre sí, por lo que los valores de algunos indicadores se verán afectados por otros. Incluso un pequeño y relativo cambio en uno de los factores puede tener un gran número de consecuencias inesperadas, las cuales pueden ser reversibles o no (Brouwer, 1986).

Una manera efectiva de seleccionar los indicadores adecuados y establecer un MDS es usando modelos o procedimientos estadísticos (Larson y Pierce, 1991) o mediante opinión de expertos (Andrews et al., 2002b). De este modo son numerosos los trabajos que han ido incorporando análisis multivariante y aplicando concretamente un Análisis de Componentes

Principales para reducir, con los parámetros más significativos, una primera lista con la totalidad de los indicadores seleccionados.

Este MSD supone la base en la que se comprime la serie de parámetros físicos, químicos y biológicos. Con este propósito Wienhold et al. (2004) propusieron los siguientes indicadores:

Físico	Químico	Biológico
Textura	C orgánico	C, N biomasa microbiana
Profundidad del horiz.superficial	N total	N potencialmente mineralizable
Infiltración	pH	Respiración del suelo
Densidad aparente	Conductividad eléctrica	
Capacidad de campo	N, P, K extraíbles	

Tabla 2. Indicadores de calidad propuestos por Wienhold et al. (2004).

A continuación se enumeran diversos indicadores agrupados por tipos de parámetros para evaluar la calidad del suelo propuesta por varios autores como Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold et al. (1998). Sin embargo, existen indicadores importantes no incluidos como CIC, estabilidad de agregados y propiedades bioquímicas. Por todo ello, y entre los indicadores seguidos en la bibliografía se proponen los siguientes indicadores:

▪ Indicadores físicos

Son los relacionados con el ordenamiento de las partículas y los poros, incluyendo textura, densidad real y aparente, porosidad, estabilidad de agregados, encostramiento, compactación, profundidad o tasa de infiltración, tal y como determinaron Álvarez et al. (2005).

▪ Indicadores químicos

La lista potencial de atributos del suelo es muy grande y la selección final depende de las funciones consideradas. Los atributos químicos por ejemplo incluyen, pH, salinidad, estatus de aireación, materia orgánica, capacidad de cambio catiónico, estatus de nutrientes, concentraciones en elementos tóxicos, y posiblemente el atributo más importante: la capacidad amortiguadora del suelo frente a un impacto.

En concreto la materia orgánica se utiliza como indicador clave en calidad, particularmente en suelos agrícolas (Royal Commission for Environmental Pollution, 1996). Sin embargo, no existe un consenso sobre cuál es el nivel crítico que debería haber en suelos agrícolas y cómo varía este nivel entre suelos de diferentes clases texturales y en diversas condiciones ambientales.

▪ **Indicadores biológicos**

Los atributos biológicos son dinámicos y excepcionalmente sensibles a los cambios en las condiciones del suelo, de tal modo que existe preferencia por este tipo de atributos para evaluaciones a corto plazo. Los atributos que pueden ser medidos incluyen las poblaciones de micro, meso y macroorganismos, nivel de respiración u otros indicadores de la actividad microbiana.

▪ **Otros Indicadores**

Existen atributos como por ejemplo los visibles que llaman la atención tales como la erosión, depresiones endorreicas, superficies de escorrentía, etc.

1.7. Trascendencia de los parámetros biológicos y bioquímicos

Los microorganismos del suelo son los responsables de las actividades bioquímicas, como reacciones de oxidación, hidrólisis y degradación de la materia orgánica, influyendo tanto en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo, etc. como en la formación de la estructura de los mismos (Harris y Birch, 1989). Por ello cada vez son más numerosas las investigaciones que consideran e incluyen parámetros biológicos y bioquímicos en la evaluación de la calidad del suelo (Schloter et al., 2003; Anderson, 2003; Caravaca et al., 2002; Taylor, 2002; Jiménez et al., 2002; Bending et al., 2004).

La gran sensibilidad que los microorganismos presentan a las perturbaciones del medio es la característica principal por la que son seleccionadas como indicadores útiles para detectar posibles procesos degradativos que no podrían detectarse mediante el análisis de otros parámetros tradicionales (García et al., 2000). La importancia de los mismos

no se refiere a conocer los tipos específicos que están involucrados en las múltiples reacciones dadas en el suelo, sino a estimar la actividad microbiana (García y Hernández, 2003) diferenciada en parámetros de diferente naturaleza, de tipo biológico y bioquímico.

1.7.1. Parámetros biológicos

La actividad biológica del suelo se concentra en los horizontes superficiales por estar en ellos la materia orgánica y el agua. Los seres vivos presentes son muy numerosos y diferentes siendo los más importantes los protistas inferiores (bacterias, actinomicetos, cianofíceas, etc.), protistas superiores (algas, protozoos, etc.) y los animales pluricelulares. La materia orgánica representa uno de los indicadores más relevantes a la hora de abordar la calidad del suelo debido a que es fuente de nutrientes y ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Doran y Parkin 1994; Gregorich et al., 1994). Los cambios producidos en la misma, son sin embargo muy lentos y no se detectan en el suelo hasta una etapa muy avanzada de degradación.

Sin embargo, cada vez son más numerosos los autores que reclaman indicadores que respondan con mayor rapidez que las propiedades utilizadas tradicionalmente con la finalidad de detectar los cambios producidos en el suelo. Por ello, utilizan cada vez más parámetros biológicos para estudiar los cambios inducidos en el suelo por diferentes prácticas de manejo, cosechas, fertilizantes o las condiciones ambientales.

La actividad microbiana comprende todas las reacciones bioquímicas catalizadas por los microorganismos en el suelo desempeñando un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, en las transformaciones de la materia orgánica y en la formación de la estructura física del suelo (Gregorich et al., 1996) por lo que es considerada como un buen indicador de la fertilidad y del estado general del mismo (Smith et al., 1993).

La actividad biológica es muy variable y es dependiente de varios factores como son la humedad, temperatura, contenido en arcilla, pH, etc. Se puede decir que existe un equilibrio entre el suelo y los microorganismos, siendo éstos indicadores de la calidad y fertilidad de los mismos; entre las propiedades biológicas mayoritariamente estudiadas se

encuentran la respiración basal y el carbono de la biomasa microbiana.

- **Respiración Basal**

La respiración microbiana se define como el consumo de oxígeno o desprendimiento de CO₂ por bacterias, hongos, algas y protozoos, incluyendo el intercambio de gases por el metabolismo aerobio o anaerobio en un tiempo determinado (Anderson, 1982).

Los microorganismos heterótrofos tienen la propiedad de degradar la materia orgánica obteniendo con ello la energía que necesitan para su desarrollo a través de la descomposición de compuestos orgánicos como celulosa, proteínas y compuestos humificados (Hernández y García, 2003) obteniendo CO₂ y agua como productos finales. Por ello, este parámetro puede evaluarse bien mediante la determinación del desprendimiento de dióxido de carbono o del consumo de oxígeno (Nannipieri et al., 1990).

La respiración, al igual que otras actividades metabólicas, depende del estado fisiológico de las células y está muy influenciada por las características y las alteraciones que se producen en las condiciones del suelo (Alef y Nannipieri, 1995).

El conocimiento de la magnitud de los procesos de mineralización es esencial para poder evaluar el balance de la materia orgánica y la influencia que ejercen los diferentes materiales orgánicos sobre la actividad microbiana y la fertilidad del suelo (Levi-Minzi et al., 1990).

- **Carbono de la biomasa microbiana**

La biomasa microbiana del suelo se define como la fracción viviente de la materia orgánica que comprenden todos los organismos menores de $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ que no sea material vegetal (Alef y Nannipieri, 1995) y se expresa en miligramos de carbono por kilogramo de suelo seco.

Este término incluye bacterias, hongos, levaduras algas, etc. y es considerado válido como índice conjunto de microorganismos existentes en el suelo (Ross et al., 1982) a pesar de que su cuantificación conlleva una serie de problemas (Albiach et al., 2003) debido a la gran sensibilidad que presenta a diferentes factores como luz, humedad, temperatura, etc. (García et al., 2000);

esta característica le confiere mayor efectividad que el carbono total como indicador de la respuesta del ciclo de la materia orgánica a los cambios del uso de suelos, por su mayor sensibilidad y rapidez de reacción ante dichas variaciones (Perucci, 1992).

Su importancia se debe a que actúa como reserva de nutrientes para su posterior liberación al igual que su función en la estabilización del suelo, en su formación estructural y como marcador ecológico (Smith y Paul, 1990; Alef y Nannipieri, 1995). La cantidad de biomasa microbiana es el reflejo de un conjunto de factores como: aportes de carbono a largo plazo, prácticas agrícolas, condiciones climáticas y propiedades del suelo.

La cantidad y tipo de carbono de la biomasa microbiana depende por regla general de la cantidad y estado de la materia orgánica del suelo y constituye una pequeña fracción del carbono orgánico por lo que, a pesar de ser la fracción más activa, sus variaciones no se ven claramente reflejadas en el carbono orgánico total.

Este parámetro no debe ser usado por sí solo para estudiar el funcionamiento del ecosistema, pero sí resulta útil para establecer comparaciones entre tratamientos (Smith y Papendick, 1993).

- **Relación carbono de la biomasa microbiana/carbono orgánico total**

Esta relación ha sido propuesta como índice índice útil y ha resultado ser un indicador sensible a los cambios que experimenta la materia orgánica del suelo (Sparling, 1992; Insam y Merschak, 1997).

Aunque el carbono de la biomasa microbiana suele representar un bajo porcentaje, del 1 al 5% de la materia orgánica es la fracción más activa de la misma y la máxima responsable del estado en que ésta se encuentra (Smith y Paul, 1990; Sparling, 1992; Alef y Nannipieri, 1995).

La proporción de carbono de la biomasa microbiana con respecto al carbono orgánico total (C_{bio}/COT) ha sido utilizada de forma efectiva en el seguimiento del estado de la materia orgánica del suelo sobretodo después de

incorporar materiales orgánicos, con el fin de conocer la eficacia de la conversión del carbono orgánico incorporado a carbono microbiano, así como el potencial de mineralización y el grado de estabilización del carbono orgánico adicionado (Pascual et al., 1997, Plaza, 2002).

- **Cociente metabólico (qCO_2)**

El cociente metabólico se define como la tasa de respiración por unidad de biomasa (Anderson y Domsch, 1985) y se encuentra relacionado con la teoría de Odum (1969) sobre la optimización energética en los ecosistemas en desarrollo, según la cual su valor debe ser elevado en los jóvenes o inmaduros mientras tiende a decrecer a medida que madura el ecosistema (Anderson y Domsch, 1993).

Wardle y Ghani (1995) afirman que el qCO_2 permite evaluar la eficiencia de las comunidades microbianas del suelo en la utilización de los compuestos orgánicos. El ecosistema suelo en un estado estable presenta un valor de qCO_2 equivalente a los requerimientos de energía para el mantenimiento de los microorganismos. El estrés y la alteración del suelo inducen un decrecimiento en la eficiencia microbiana o un aumento del qCO_2 , ya que la población microbiológica necesita gastar mayor energía para mantenerse, limitando de esta forma la incorporación de carbono orgánico en los componentes celulares (Nannipieri et al., 1997; Leita et al., 1999). Además, el qCO_2 puede verse afectado por un cambio en la composición de la población microbiana (Wardle y Ghani, 1995).

La gran variabilidad de este cociente y su variación con la composición y el estado fisiológico de la población microbiana, la disponibilidad de sustratos y diversos factores abióticos (Anderson, 1994; Insam et al., 1996), ha sido considerado como un parámetro sensible, capaz de detectar los efectos negativos de determinadas prácticas agrícolas sobre la actividad microbiana o cambios en la composición de la microflora del suelo (Anderson y Domsch, 1993; Nannipieri et al., 1997). De este modo, son cada vez más numerosos los estudios que utilizan este indicador demostrando que puede llegar a ser más sensible que la medida de la biomasa microbiana o la respiración por sí solos (Insam, 2001).

1.7.2. Parámetros bioquímicos

Las transformaciones biológicas que tienen lugar en el suelo son realizadas por las enzimas cuyo origen son plantas y animales aunque la mayor fuente proviene de los microorganismos.

La actividad enzimática del suelo es la responsable de la formación de moléculas orgánicas estables que contribuyen a la estabilidad del ecosistema suelo, e intervienen en los ciclos de elementos tan importantes como el nitrógeno (ureasa y proteasa), fósforo (fosfatasa) y carbono (β -glucosidasa) (García y Hernández, 2000). El estudio simultáneo de varias actividades enzimáticas puede resultar útil como marcadores de bioactividad y pueden ser utilizados como índices de fertilidad bioquímica del suelo (Stefanic et al., 1984; Gil-Sotres et al., 1992).

Las actividades enzimáticas son ampliamente estudiadas y cada vez es más frecuente encontrarlas incluidas en las evaluaciones de calidad del suelo ya que las enzimas determinan la pauta de gran parte de las transformaciones químicas que se producen en él (Stryer, 1995). Su importancia reside en que é ofrecen información sobre la capacidad potencial del suelo para llevar a cabo reacciones específicas, importantes en el ciclo de nutrientes (García y Hernández, 2000).

Las actividades enzimáticas se han usado en los últimos años como indicadores de la fertilidad bioquímica del suelo especialmente para comparar estados de suelos sometidos a diferentes manejos y para observar las tendencias de estos parámetros tras adicionar diferentes tipos de residuos aplicados como fertilizantes.

Las actividades enzimáticas son específicas de un sustrato (Nannipieri et al., 1990), por lo que para evaluar globalmente el estado bioquímico del suelo será necesario la determinación de varias de ellas. Se incluirán en este trabajo el estudio de diversas actividades enzimáticas relacionadas con los ciclos del C, del P y del N, entre las que se encuentran:

- **Actividad Deshidrogenasa**

La oxidación biológica de sustancias orgánicas se realiza mediante procesos de deshidrogenación, llevados a cabo por las enzimas deshidrogenasas. Esta actividad viene determinada por diferentes sistemas deshidrogenasas (Von Mersi y Schinner, 1991) caracterizadas por presentar una alta especificidad de sustratos (García et al., 2000).

Se ha usado comúnmente para estimar la actividad microbiológica de los suelos por formar parte integral de los microorganismos y estar asociada a los procesos respiratorios. Dick (1997) resaltó la deshidrogenasa por encima del resto de enzimas, por sus características específicas, como la actividad más dependiente del estado metabólico y de la actividad microbiológica global, por lo que se ha empleado en diversas ocasiones para comparaciones entre suelos cultivados y naturales (García et al., 1997) a pesar de su alta sensibilidad a factores como el pH, tipo de suelo y contenido en carbono orgánico total (Nannipieri, 1984).

- **Actividad Catalasa**

La catalasa o peróxido de hidrógeno oxidoreductasa es una enzima intracelular asociada a la totalidad de bacterias aerobias y a la mayor parte de las anaerobias facultativas (Alef y Nannipieri, 1995).

Esta enzima es la encargada de catalizar la reacción que descompone el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno, formado durante el transporte de electrones al oxígeno molecular en la respiración aeróbica y en diversas reacciones de hidroxilación y oxigenación (Alef y Nannipieri, 1995). El peróxido de hidrógeno es extremadamente tóxico para las células, por lo que se le atribuye una función detoxificante en las células.

Es considerada como un buen indicador de la actividad microbiana del suelo asociada a microorganismos aerobios y relacionada con la fertilidad edáfica (García y Hernández, 1997). Sin embargo algunos autores discrepan de la fiabilidad de esta enzima (Trasar-Cepeda et al, 2003) ya que la catálisis puede deberse también a la realizada por otro tipo de compuestos no microbianos como son las sustancias orgánicas (Baroccio, (1958) o Mn y Fe (Beck, 1971), pudiendo considerar como actividad enzimática algo que en realidad no lo es.

• **Actividad Ureasa**

La actividad ureasa está ligada al ciclo del nitrógeno ya que cataliza la hidrólisis de la urea a amonio y dióxido de carbono. Es una hidrolasa exocelular de origen fundamentalmente microbiano, hecho demostrado por Ceccanti y García (1994) que actúa sobre enlace C-N de amidas lineales.

Este tipo de enzimas pueden tener diferentes localizaciones en el suelo, ya que se encuentran en células proliferantes, muertas o pueden estar inmovilizadas en arcillas y coloides húmicos (Burns, 1982). Además, las asociaciones con sustancias húmicas van a intervenir en la estabilidad y actividad de esta enzima (Nannipieri et al., 1996; Marzadori et al., 2000).

Aunque se ha empleado para diferentes fines, últimamente su estudio se ha dirigido hacia aplicaciones medioambientales, utilizando su determinación para evaluar la contaminación de los suelos debido a la sensibilidad que esta enzima presenta a los metales pesados (Marzadori et al., 2000) y a la inhibición del uso de herbicidas como la antrazina (Nagaraja et al., 1998).

La actividad ureasa es mas alta cuanto mayor es el contenido en materia orgánica (Pascual et al., 1998) y se ha demostrado que su valor aumenta cuando el suelo contiene vegetación siendo especialmente mayor en los suelos naturales (García et al., 2000).

Es una de las enzimas más utilizadas para estudios de calidad, fertilidad y en la evaluación del impacto de contaminantes en el suelo. El interés de esta actividad se debe a su relación con el ciclo del nitrógeno y por el amplio uso que se ha dado a la urea como fertilizante nitrogenado en agricultura (Sastre y Lobo, 2003).

• **Actividad Proteasa**

La actividad proteasa es la responsable de la descomposición progresiva del nitrógeno que contienen las proteínas hasta obtener el nitrógeno de aminoácidos, cuyo origen se encuentra en la mayoría de los microorganismos contenidos en él y en residuos vegetales y de fauna (Bonmatí et al., 2003). Junto con la ureasa representan las enzimas más representativas del ciclo del nitrógeno.

La proteasa-BAA se encuentra entre el tipo de proteasas más estudiadas. Su actividad es determinada mediante la utilización de un sustrato específica de ella, la N- α -benzoil-L-argininamida (BAA), caracterizada por hidrolizar los enlaces peptídicos con cadenas no hidrofóbicas. El BAA es el sustrato específico de las proteasas alcalinas del grupo de la tripsina y la actividad sobre ésta se encuentra fundamentalmente asociado a enzimas inmovilizadas a la parte más evolucionada del humus.

• Actividad Fosfatasa

La fosfatasa es una enzima que cataliza la hidrólisis de ésteres y anhídridos del ácido fosfórico (Eivazi y Tabatai, 1977); es decir, se trata de una hidrolasa que activa la transformación de fósforo orgánico en inorgánico, transformándolo de esa manera en asimilable para las plantas. Es clave para el ciclo del fósforo y adquiere especial relevancia desde el punto de vista agrícola por la importancia de este elemento.

Se ha determinado la fosfatasa ácida, perteneciente al grupo de las monoésterfosfato hidrolasas, que actúan sobre enlaces de tipo éster catalizando la hidrólisis de glicerofosfatos a un pH ácido óptimo.

García et al., (2000) demostraron la presencia clave de la vegetación para que se desarrolle esta actividad metabólica. En el caso de suelos naturales, la vegetación presente exige fósforo inorgánico, que debe ser sintetizado por esta enzima al no existir en este tipo de suelos ningún tipo de fertilización mineral que aporte este nutriente.

• Actividad β -Glucosidasa

La β -Glucosidasa es la enzima más importante dentro del grupo de las glicosidasas implicada en el ciclo del carbono. Es la encargada de catalizar la hidrólisis de los enlaces β -glucósidos de las grandes cadenas de carbohidratos presentes en el suelo liberando glucosa, la cual va a representar un aporte de energía muy importante para los microorganismos del suelo (Eivazi y Tabatai, 1990); por todo ello, esta actividad enzimática va a estar fuertemente relacionada con el contenido en carbono orgánico del mismo. Esta enzima se ha detectado en microorganismos, plantas y animales, aunque en el suelo parece tener un origen predominantemente fúngico (Hattori, 1988).

Esta enzima puede ser inhibida por la presencia de metales pesados o compuestos tóxicos presentes en el suelo (Eivazi y Zakaria, 1993) por lo que va a representar un buen biomarcador del estado de contaminación de un ecosistema (Ros, 2000).

1.8. Métodos de evaluación de la calidad

Existen numerosos métodos para evaluar la calidad. En este apartado se pretende describir los más generales definidos como cualitativos y cuantitativos. Sin embargo, existen estudios que mezclan ambos utilizando diversa metodología aunque generalmente utilizan índices. Debido a la gran diversidad de los mismos se recogen éstos en el capítulo 5, donde se describe más ampliamente los índices de calidad desarrollados por los diversos autores en la bibliografía encontrada.

1.8.1. Métodos Cualitativos

Los métodos cualitativos son aquellos que van a evaluar la calidad del suelo basándose en las características descriptivas que presenta el suelo. Se trata de un trabajo conjunto entre los científicos y los que manejan el suelo para identificar y describir los indicadores de la calidad del suelo utilizando sus propios términos. Por ello los indicadores escogidos por ellos pueden ser fácilmente observados y puntuados cualitativamente (Ditzler y Tugel, 2002). El trabajo conjunto entre la comunidad científica y el agricultor representa la base de este método haciendo partícipe activo en la evaluación a la persona que va a trabajar directamente con el suelo y hacerlo de una forma más fácil para ellos. La finalidad de este es la elaboración de unas guías simples que ayuden a los agricultores a evaluar la calidad del suelo en sus propios terrenos. Entre la serie de métodos cualitativos podemos destacar:

1.8.1.1. Método de Evaluación Visual del Suelo

Este método desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda (Land Care Institute, 2000) se basa en la evaluación de la calidad a partir de las propiedades visuales del suelo. Es un método simple, rápido y barato destinado a evaluar la calidad del suelo in situ por los agricultores sin necesidad de adquirir ninguna cualificación adicional.

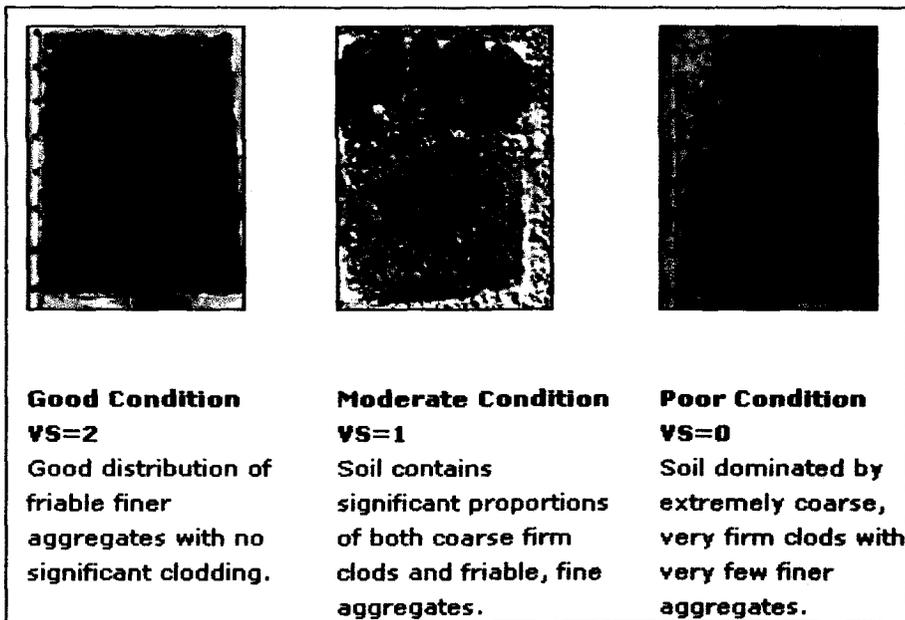


Figura 5. Método de Evaluación Visual del Suelo.

Es necesario un manual el cual incluye una serie de fotografías, con diferentes puntuaciones (figura 5) con la que se compara la muestra tomada en el campo. Tras seleccionar la fotografía más similar a la muestra objeto de estudio, se le asigna la puntuación que posea ésta: pobre (VS = 0), moderado (VS = 1) o bueno (VS = 2). Este método considera la mayor relevancia de algunos parámetros, y por ello proporciona un factor de ponderación de 1, 2 ó 3, dependiendo de la propiedad evaluada, que ha de multiplicarse por la puntuación obtenida anteriormente.

La calidad final del suelo viene dada como sumatorio de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros, de la forma:

$$\text{Indice Calidad Suelo} = \sum VS_{IND} \times Fp_{IND}$$

Este método viene acompañado de una guía con recomendaciones y procedimientos para ayudar al usuario a preservar e incrementar la calidad del suelo.

1.8.1.2. Hojas Informativas sobre la Calidad del Suelo

Estos documentos divulgativos fueron desarrollados a partir de 1996 por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS), el Instituto de Calidad de Suelos (SQI) y el ARS (Nacional Soil Tilth Laboratory). Presentan un formato de una sola página (impresa en ambas caras) describiendo en ellas la calidad del suelo al igual que los términos y aspectos relacionados con él. La finalidad de las mismas es la de entrenar e informar al personal del campo sobre los diferentes aspectos de la calidad del suelo (Muckel y Mausbach, 1996) tanto en suelos agrícolas, suelos de sierra y de pastos, obteniéndose las mismas, en formato digital, a través Internet en la página web: <http://soils.usda.gov/sqi>. Entre las publicaciones realizadas se encuentran (Soil Quality Thunderbook, 2004): “*Calidad del Suelo- Introducción*”, “*Indicadores para evaluar la calidad del suelo*” (materia orgánica, encostramiento del suelo, pH, infiltración, estabilidad de los agregados), “*Otros recursos afectados por la calidad del suelo*” (erosión, compactación, salinización, pesticidas, biodiversidad del suelo, hidrofobicidad, deposición de sedimentos en los cultivos, capacidad de agua disponible).

1.8.1.3. Carta de Calidad del Suelo

Son documentos desarrolladas a partir de la *“Soil Quality Card Design Guide: A guide to Develop Locally Adapted Conservation Tools”* (USDA-NRCS, 1999). Ésta proporciona instrucciones detalladas para desarrollar diferentes cartas de calidad a escala local y surgió de la *“Soil Health Score Card”* realizado en la Universidad de Wisconsin, donde afirmaron que el conocimiento visual de la salud del suelo por parte del agricultor podía y debía ser integrado con los datos analíticos de los científicos en la calidad del suelo (Garlynd et al, 1996). Las cartas deben reflejar las condiciones que presenta el suelo y los cultivos en el área de estudio (Ditzler y Tugel, 2002). De este modo, y debido a la heterogeneidad de los suelos existen diferentes cartas de calidad específicos de cada zona, que van a considerar diferentes indicadores. Englobándolos todos se han identificado 32 indicadores físicos, 12 biológicos, 9 químicos y 15 de plantas o residuos. Este método tiene la ventaja de ser una guía simple en la evaluación de la calidad del suelo haciendo partícipe activo al agricultor y al científico en conjunto. La implicación del agricultor es de especial relevancia ya que es éste la persona objetivo de realizar dicha evaluación y además la que está en mayor contacto con el suelo, sin embargo, es la subjetividad implícita en este método la principal desventaja.

Estas cartas, de diversos formatos, contienen además de unas instrucciones de cómo usar la guía, una lista de indicadores de la calidad en términos descriptivos a rellenar. Los indicadores son definidos a su vez en diferentes niveles de calidad del suelo junto a sus escalas numéricas correspondientes, que generalmente son: Pobre: 1-3, Regular: 4-6, Buena: 7-9. Estas cartas también han sido aceptadas y desarrolladas en otros regiones como Alberta (Canadá).

Recommendations

- Evaluate soil quality periodically (about every 3 years) to document changes.
- Periodic assessments in a field should be done by the same person and under similar soil moisture conditions.
- Assessments are qualitative and do not represent absolute measures.
- For better assessments, check several spots per field.
- Examine the distribution of indicator values. Even if most of the indicators are scored 10 (poor), the soil may still have serious problems.
- Careful consideration should be used to identify the cause of the problems.
- Required repairs may need immediate action and should be closely monitored.
- Keep completed Soil Quality Cards on file for future reference.
- For more information on soil quality, contact your local USDA Natural Resources Conservation Service office, county agent, agronomist, or visit the GCSN web site at gcsn-gh.org

Revised October 1993

Soil Quality Card for Georgia



A locally adapted tool designed by farmers for farmers.

Developed by
Georgia Conservation Tillage Alliance

Assess Soil Quality

Use these "soil quality" and "soil health" soil test indicators:

There are many indicators of soil quality and knowing if it is the quality of the soil for:

1. Avoiding soil erosion
2. Supporting plant and animal life
3. Acting as an environmental buffer

Soil quality is very important to all people because soil supports our food, fiber, and energy needs, and soil filters pesticides, herbicides, and nutrients from water. If we have good soil quality, we will have productive land, good water quality, good air quality, and a healthy environment.

Management practices improve soil quality.

Soil quality is improved through soil practices that increase soil organic matter in the top 6 inches of soil. The best way to improve soil quality is to use conservation tillage practices. They are:

1. Limited tillage, reduced tillage, no-till, strip-tillage, cover crops, crop rotation, etc.
2. Using no-till or reduced tillage practices on crop residues and cover crops.
3. Using cover crops, especially on fields where soil erosion is a problem, and using cover crops on cropland, pasture, and rangeland.

4. Eliminate all tillage, with light disking.
5. Practice continuous long-term conservation tillage.

Also, talk with other conservation tillage farmers. They can give you advice about how they are changing the quality of their land. Also join the Georgia Conservation Tillage Alliance. It is a leader in farmer exchange of ideas and information.

This Soil Quality Card for Georgia is a locally designed and adapted field tool. It was developed by Georgia farmers in partnership with the Georgia Conservation Tillage Alliance, Inc. (GCTA) and the USDA Natural Resources Conservation Service.

If well managed for further use in evaluating changes in soil quality as affected by farm management.

Regular use of the Card allows you to record long-term improvements in soil quality on cropland, pasture, and with various farming and management systems.

In addition to farmers, the Card can also be used by agricultural support professionals such as soil conservationists, soil scientists, county agents, crop advisors, consultants, and agronomists representing:

Extension, students, growers, dealers, and others may also use the Card wisely.

How to Use the Georgia Soil Quality Card:

- Turn over a shovel full of soil (about 6-8" deep) and use each indicator by making an "X" or shading out the box that best represents the value for that indicator.
- Reassess soil compaction by simply pushing the probe or soil flag into undisturbed soil and rating the resistance.

Soil _____ Inclusion by _____ County _____ Farm _____ Field _____ Crop Rotation _____

Tillage System _____ Soil Moisture level/soil color _____ Good for planting _____ No use for planting _____ Do dry for planting _____

	1	2	3	4	5
1. Organic Matter					Lower than, stony, very gravelly, discoloring, crumbly
2. Soil Structure					Soil is not improved by water and/or wind
3. Soil pH					pH is lower than needed
4. Soil Quality					More than 2 elements that violate USDA recommendations
5. Soil Temperature					Within 10° of 60° F
6. Soil Moisture					Chalky hard, crusty, lumpy, or very hard
7. Soil Compaction (Soil Penetration Resistance)					Resists normal penetration or requires water to penetrate
8. Soil Erosion					Lots of soil on edge or inside the furrow
9. Soil Crusts					Crusts push probe or soil flag (soil) through or prevent
10. Soil Surface Cracks					0-20% of soil surface is covered with deep cracks
11. Soil Organic Matter %					No filling or slow cover in eroded surface
12. Soil Salinity					< 1% in the top 10 inch soil

*Range 1 to 5 is an approximate and is determined by the soil test ranges in a nearby area.

Make your soil as good as it can be. Leave your soil in better shape than you found it for future generations.

Figura 6. Ejemplo de carta de calidad del suelo del estado de Georgia.

1.8.2. Métodos Cuantitativos

Estos métodos van a determinar la calidad del suelo a través de sus indicadores asignándoles un valor numérico, ya sea en el campo o en el laboratorio utilizando los equipos adecuados mediante personal cualificado. De este modo estos valores van a proporcionar fiabilidad al método y la evaluación va a ser más completa al analizar propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, esto se traduce en la principal desventaja que es la complejidad.

1.8.2.1. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo

Esta guía (figura 7) (USDA-ARS y NRCS, 1999) es un método cuantitativo dirigido a personal cualificado. En ella se incluyen instrucciones y descripciones del equipo necesario para realizar ensayos seleccionados de campo, llevar a cabo las medidas descritas y evaluar el nivel de una o más funciones del suelo atendiendo a los resultados obtenidos. Se puede obtener en formato digital mediante la página web: <http://soils.usda.gov/sqi>.

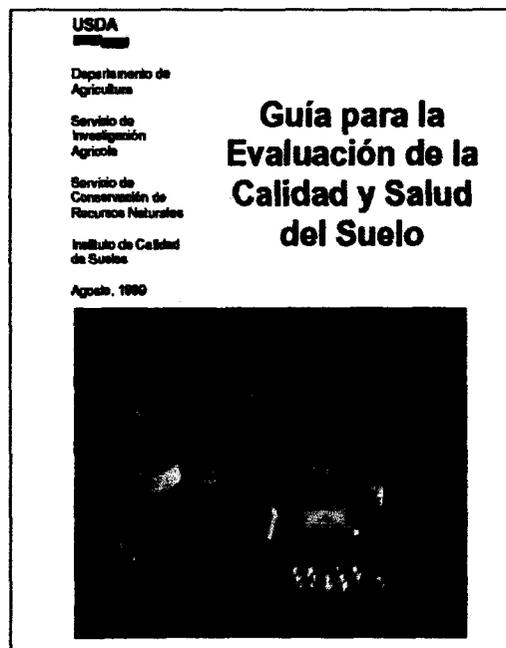


Figura 7. "Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo" (USDA, 1999).

El Manual consta de dos partes diferenciadas. La primera, "Procedimientos para las Mediciones" es donde se encuentran las instrucciones sobre la selección del lugar y estrategias de muestreo incluyendo además una descripción detallada de los procedimientos a llevar a cabo para medir las propiedades, entre las que se encuentran 5 indicadores físicos, 3 químicos y 2 biológicos. En ella se encuentran: Mediciones de la calidad del suelo, ensayo de respiración del suelo, ensayo de infiltración (figura 8), ensayo de densidad aparente, ensayo de conductividad eléctrica (CE), ensayo de pH, ensayo de nitratos del suelo, ensayo de estabilidad de agregados, ensayo de desleimiento, ensayo de lombrices, estimaciones y observaciones de física del suelo (estructura del suelo, patrones radiculares, espesor del horizonte superior, resistencia a la penetración y textura) y calidad del agua (niveles de salinidad, nitritos y nitratos en el agua).

① Afirme el Suelo.

Con el anillo de 6 cm de diámetro emplazado en su sitio, use sus dedos con cuidado, para suavemente afirmar el suelo sólo alrededor de los **bordes internos** del anillo para prevenir filtraciones adicionales. Evite disturbar el resto de la superficie del suelo dentro del anillo.

② Cubra el anillo con una envoltura de plástico.

Cubra con una lámina de plástico, el anillo y la superficie del suelo dentro del anillo, tal como se muestra en la **Figura 3.1**. Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo al agregar agua.



Figura 3.1

③ Agregar Agua.

- Llene la botella plástica, o el cilindro marcado, hasta la marca de 444 mL, con agua destilada.
- Vierta los 444 mL de agua (1 pulgada (2.54 cm) de agua) en el anillo recubierto con un envoltura de plástico, tal como se indica en la **Figura 3.1**.

Figura 8. Ejemplo del Ensayo de Infiltración (USDA, 1999).

La segunda parte “Guía de Antecedentes e Interpretativas para Ensayos Individuales” proporciona información necesaria para poder interpretar los datos obtenidos en los ensayos descritos en la sección anterior.

Velocidad de infiltración (minutos por centímetro)	Velocidad de infiltración (centímetros por hora)	Clases de infiltración
<1.18	> 50.80	Muy rápido
1.18 – 3.94	15.24 – 50.80	Rápido
3.94 – 11.81	50.80 – 15.24	Moderadamente rápido
11.81 – 39.37	15.24 – 5.08	Moderado
39.37 – 118.11	5.08 – 1.52	Moderadamente lento
118.11 – 393.70	1.52 – 0.51	Lento
393.70 – 15,748.03	0.51 – 0.0038	Muy lento
> 15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Tabla 3. Velocidades y Clases de Infiltración (USDA, 1999).

Este método ha resultado ser de gran relevancia no sólo en los Estados Unidos sino que en otros países como Canadá; se está utilizando para evaluar la calidad de ciertos indicadores. Sin embargo, este método no integra en ningún momento todos los indicadores considerados en un índice general que nos ayude a interpretar de una forma más clara la calidad que presenta el suelo.

1.8.2.2. Gráficos Radar

Los gráficos radar son una herramienta útil que permite visualizar de forma clara y rápida la calidad del suelo (Gómez et al., 1996). Este tipo de evaluación se realiza mediante la representación simultánea de varios indicadores, dispuestos en los distintos ejes que componen el gráfico.

En los ocho ejes de los indicadores se representan los rangos de valores desde el centro asumiendo que son los representativos de mayor calidad (Wander et al., 2002). A continuación se representan los rangos de valores deseables para cada indicador y se unen en un gráfico. Sin embargo, una de

las desventajas del método es que no refleja una jerarquía entre los indicadores, ya que otorga los mismos coeficientes de a todos los indicadores.

Una vez obtenido el gráfico se pueden incluir en él los datos obtenidos por ejemplo en la utilización de diferentes sistemas de manejo de cultivo (figura 9). Con ello se puede realizar una comparación entre sistemas y ver cuál de ellos se acerca más a la figura de calidad óptima.

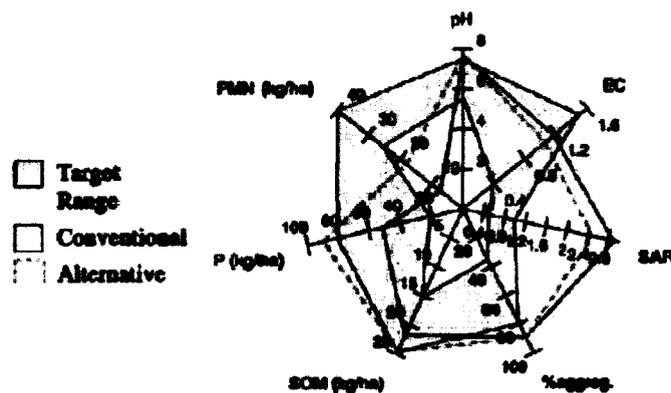


Figura 9. Gráfico radar (Andrews et al., 2003).

Este método ha resultado ser aceptado entre diferentes grupos de agricultores (Gómez et al., 1996; Wander et al., 2002) ya que los gráficos muestran simultáneamente varias calidades de suelo correspondientes a diferentes sistemas de manejo haciendo más fácil y comprensible las futuras decisiones a llevar a cabo. Sin embargo, otros estudios como el de Andrews et al. (2003) han reflejado que este método es poco entendible al compararlo con otro tipo de métodos y es necesaria una explicación previa para llegar a entenderlo.

1.8.2.3. El Método SINDI

SINDI, de Soil Indicator, es un método web interactivo desarrollado en Nueva Zelanda a partir del proyecto llamado "Implementing Soil Quality Indicators for Land" (1995-2001) denominado popularmente como el "Proyecto de los 500 suelos" (Sparling et al., 2004). Se puede acceder a éste a través de

la página web: <http://sindi.landcareresearch.co.nz>. Lilburne et al. (2002) la definen como una *“herramienta web diseñada para ayudar a interpretar la calidad o salud de un suelo muestreado por el usuario”*.

El estudio se realizó sobre 511 suelos, cubriendo de este modo el 98% del territorio de N.Z, clasificando los suelos en 9 usos y 12 categorías de órdenes de suelo, según la clasificación neozelandesa. Se describió el uso y el perfil de cada suelo y se muestreó el horizonte superficial del suelo (0-10 cm) para analizar los diferentes indicadores de naturaleza química, física y biológica, a través de la selección en primer lugar de 12 indicadores. Sin embargo, debido a la dificultad de interpretación y variabilidad que presentaban ciertos indicadores se redujo el número resultando finalmente 7 los indicadores seleccionados: pH, C total, N total, N mineralizable, P Olsen, densidad aparente y macroporosidad (Sparling y Schipper, 2002). Para hacer los datos más representables utilizaron un Análisis de Componentes Principales (PCA) resultando una combinación de los anteriores en una agrupación de cuatro índices de calidad del suelo:

- Fertilidad del suelo: P Olsen
- Acidez del suelo: pH
- Fuentes orgánicas: C total, N total y N mineralizable
- Calidad física del suelo: densidad aparente y macroporosidad

Posteriormente se establecieron los límites críticos y rangos de valores para cada uno de los indicadores, orden y uso del suelo específico a partir de paneles de expertos. Éstos representaban a su vez dos curvas respuesta relacionando el estado de la calidad del suelo con los valores de los siete indicadores, empleando y combinando con este fin dos tipos de criterios: productivos y medioambientales. Las consideraciones productivas fueron considerados en un período a corto plazo (<5 años) como: productividad agrícola, máxima producción económica, producción sostenible, beneficio de la granja, impacto en la economía rural. Los aspectos medioambientales, considerados a largo plazo (25 años), fueron: riesgos a la calidad del aire, agua, pérdida de biodiversidad, atractivo, acceso, pérdida de diversidad de especies autóctonas, invasiones de malas hierbas y plagas, acumulación de contaminantes. Finalmente se obtuvo una curva respuesta combinación de las dos anteriores (figura 10).

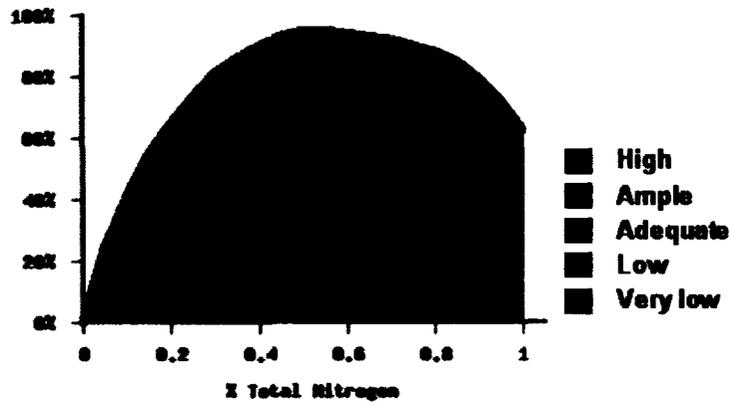


Figura 10. Curva respuesta del N total para todo tipo de suelos con uso pasto.

SINDI utiliza una página de entrada de datos (figura 11) a partir de la cual se realiza la evaluación. Para llevar a cabo ésta es preciso seleccionar varios parámetros: Orden del suelo (clasificación N.Z), uso del suelo (pasto, bosque o cultivo), tipo de evaluación a realizar y los indicadores correspondientes.

The screenshot shows the SINDI data entry interface. It includes fields for Sample Name (optional), Soil Order (Brown), and Land Use (Pasture). It also features a list of analysis types with 'Expert interpretation' selected, and a list of indicators such as Olsen P, pH, Microbial N, Total C, Total N, Bulk density, and Macroporosity.

Figura 11. Página de entrada de datos SINDI (Land Care Institute).

Este método analiza los valores de los indicadores interpolando éstos en las curvas respuesta y devolviendo a su vez la evaluación de la calidad en forma de gráfico de barras unidimensional (figura 12) donde ésta viene representada en tres grandes categorías, a saber: baja, buena y excelente, haciendo de esta forma una evaluación más fácil y manejable (González-Quñones et al., 2005).

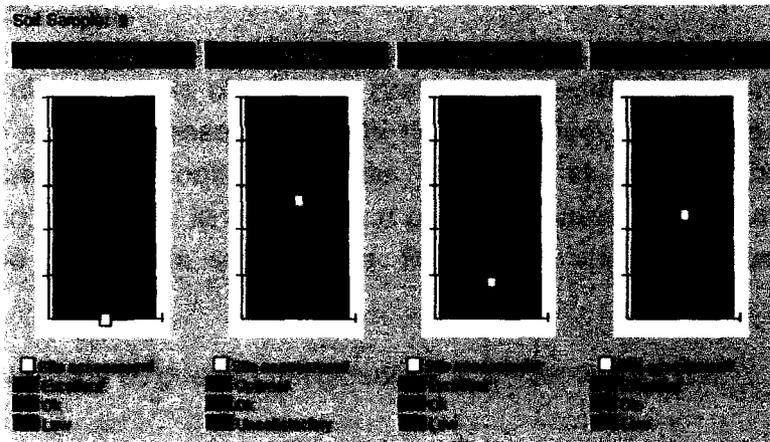


Figura 12. Gráfico de barras SINDI.

Por otra parte SINDI ofrece una evaluación específica para cada uno de los siete indicadores que lo forman. En éstos se representa la curva respuesta específica en el mismo formato de gráfico de barras, reflejando en él los rangos de valores y las categorías de calidad correspondiente a esos valores. Además se puede realizar una comparación con la base de datos de suelos N.Z, proporcionando asimismo información sobre los diferentes indicadores evaluados y cuáles son las prácticas de manejo más apropiadas para mejorar la calidad del suelo.

1.9. Objetivos

La superficie total del territorio castellano-manchego dedicado a uso agrícola representa más de la mitad del mismo, situándose desde el punto de vista del conjunto nacional, en la Comunidad Autónoma con mayor extensión de superficie cultivada de España. Parece pues evidente que la evaluación de la calidad de los suelos representa un reto que debe acometerse. De este modo la presente tesis doctoral tiene como **objetivo fundamental contribuir al conocimiento de la calidad, con fines agrícolas, de los suelos de Castilla La Mancha.**

Para alcanzar este objetivo se pretende caracterizar los atributos de un conjunto de suelos representativos de la Comunidad, en cuanto a entidades físicas discretas. A continuación se abordará el aparato conceptual y metodológico, así como la estructura y procedimientos de implementación de un índice de calidad de suelos para, finalmente, aplicar el mismo a casos concretos.

Los objetivos se pueden desglosar de la siguiente manera:

1. Análisis y revisión del medio físico de Castilla-La Mancha, como sistema para reconocer la diversidad de suelos de la misma.
2. Análisis del estado del arte en calidad de suelos, incluyendo una caracterización de los factores y procesos, así como los parámetros que controlan la misma.
3. Revisión y puesta a punto de diferentes métodos de evaluación de calidad de suelos citados en la bibliografía.
4. Determinar múltiples parámetros y, de entre los mismos, aquellos que sean especialmente relevantes al proporcionar la información necesaria para detectar, de forma rápida, los cambios inducidos en el suelo especialmente por diferentes prácticas de uso. A partir del conjunto de valores obtenidos se investigarán cuáles son los datos mínimos necesarios para un sistema de calidad de suelos, valorando los parámetros a utilizar, a la vez que se definirán los límites críticos e intervalos de los indicadores.

5. Intento de aplicación de algunos sistemas de evaluación de calidad de la bibliografía existente a algunos suelos representativos de la región, evaluando las posibilidades de adaptación a la zona.
6. Propuesta metodológica adaptada a las condiciones castellano-mancheegas, con vistas a evaluar la calidad de los suelos de esta región.
7. Propuesta de un índice de calidad de suelos para Castilla-La Mancha y aplicación a varios suelos característicos de la Comunidad, dentro de los requerimientos de sostenibilidad de la producción de cultivos característicos de la región.

CAPÍTULO 2

MEDIO FÍSICO DE CASTILLA-LA MANCHA

CAPÍTULO 2. MEDIO FÍSICO DE CASTILLA-LA MANCHA

La Comunidad de Castilla-La Mancha está formada por las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara y Toledo; albergando en su territorio un total de 911 términos municipales. Ocupa una extensión superficial de 79.226 km², representando el 15,7% del territorio nacional. Se sitúa fundamentalmente en la submeseta sur de la Península Ibérica (figura 13) y parte de los sistemas montañosos que delimitan, en gran medida, su perímetro: Sistema Central al norte, Ibérico al este y Prebético y Sierra Morena al sur.

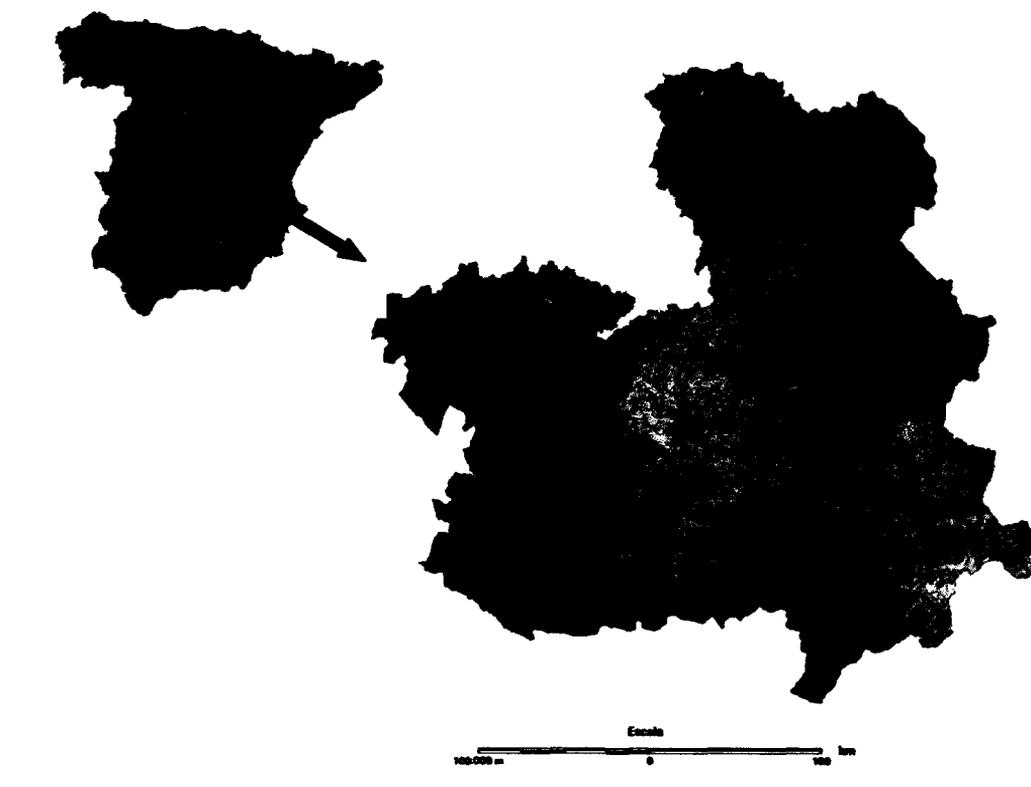


Figura 13. Situación geográfica de Castilla-La Mancha.

2.1. Geología y Geomorfología

2.1.1. Geología

En la comunidad castellano-manchega afloran formaciones geológicas que se extienden por toda la serie estratigráfica. Las más antiguas, Precámbrico y Paleozoico, se localizan en el denominado macizo Hespérico, que aflora al Norte en el sistema Central, al Oeste, en los Montes de Toledo, sierra de Almadén y las llanuras localizadas entre ambas, y al Sur en el valle de Alcudia y estribaciones de Sierra Morena. Litológicamente abundan las pizarras, esquistos, gneises, granitos y migmatitas.

El Mesozoico se encuentra representado fundamentalmente en las cadenas montañosas que bordean el zócalo Hespérico por su extremo oriental. Los principales afloramientos se encuentran en el sistema Ibérico, al Este en Guadalajara y Cuenca, y en la cordillera Prebética y Campo de Montiel, al Sur de Albacete y Ciudad Real. También se encuentra en la sierra de Altomira que atraviesa Guadalajara y Cuenca de Norte a Sur y en el borde meridional del Sistema Central. Las litologías más abundantes son las calizas, dolomías, margas, arenas más o menos arcillosas, arcillas y conglomerados.

El Terciario es la era geológica más representada. Ocupa las grandes depresiones centrales incluidas entre las anteriores, que se extienden en las cinco provincias formando las extensas llanuras típicas de la región. Las litologías más abundantes son las de calizas, arcillas arenosas, arcillas, yesos, margas y, en proporción mucho menor, rocas volcánicas (en la provincia de Ciudad Real).

Por último, el Cuaternario se encuentra localizado en los valles aluviales de los ríos y sobre grandes extensiones del Terciario, en una capa, en general de poca potencia e importancia. Normalmente está formado por limos, arcillas arenosas y gravas.

2.1.2. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas que componen la Comunidad Autónoma se dividen en dos grandes grupos: los sistemas montañosos de su periferia, ya mencionados, y los dos conjuntos interiores: Montes de Toledo y Sierra de Altomira, así como las altiplanicies, páramos y llanuras del interior.

La morfología de Castilla-La Mancha se caracteriza por su relieve, que es fundamentalmente suave, incluyendo grandes llanuras, como la de La Mancha, la de Las Alcarrias, la Mesa de Ocaña, los Campos de Montiel, de Calatrava, etc. La altitud media es de 830 m, s.n.m., siendo las máximas alturas del orden de 2.200 m, que se localizan en el sistema Central, y las mínimas del orden de 280 m, localizadas en el río Tíetar en su paso por Extremadura. Sus 79.463 km² de territorio se disponen repartidos topográficamente según los siguientes intervalos de altitud.

	Albacete	C. Real	Cuenca	Guadalajara	Toledo	Castilla-La Mancha
0-200	0	0	0	0	0	0
201-600	1.175	2.496	25	0	6.286	9.982
601-1000	11.141	16.839	11.465	5.027	8.621	53.093
1001-2000	2.610	478	5.650	7.178	463	16.379
Más de 2000	0	0	0	9	0	9
Superficie total	14.926	19.813	17.140	12.214	15.370	79.463

Tabla 4. Superficie (Km²) distribuida por intervalos altimétricos (IES, 2004).

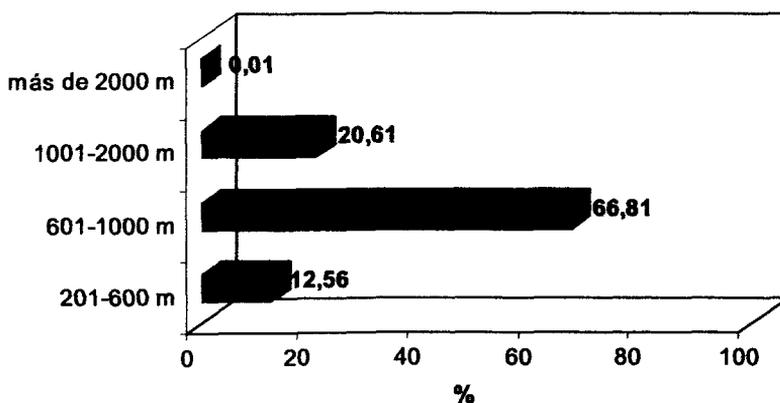


Figura 14. Distribución porcentual de altitudes de Castilla-La Mancha.

En Castilla-La Mancha puede diferenciarse una serie de áreas cuyos paisajes van a estar relacionados con las características geológicas y geomorfológicas.

La "**Unidad Geoestructural hercínica**". Ocupa la parte Oeste y Suroeste de la Región, aflorando también al Norte de Guadalajara, así como en algunos parajes del Sistema Ibérico. Se compone, por un lado, de rocas de naturaleza eruptiva y metamórfica, y por otro, por rocas sedimentarias de distinta dureza (cuarcitas y pizarras) plegadas durante la orogenia Herciniana (Paleozoico). Con la orogenia Alpina a mediados del Terciario se fracturó sufriendo además fases erosivas han dado lugar a dos tipos de paisajes típicos de esta unidad, las plataformas graníticas y/o metamórficas y los de las sierras más o menos abruptas integrados por cuarcitas.

La "**Unidad Geoestructural Alpina**". Esta unidad se ubica en la zona oriental y suroriental de la región y está formada por materiales de naturaleza muy heterogénea (calizas, dolomías, areniscas, conglomerados, etc.) del Mesozoico y Terciario Inferior, plegados durante las fases de la orogenia Alpina.

El *Sistema Ibérico* presenta una dirección de las estructuras NW-SE, creando unos relieves cuyas cimas han sido eliminadas por una fuerte erosión tras la orogenia Alpina creando de este modo un paisaje de altas y prolongadas parameras (Maranchón, Molina de Aragón, Cuenca, etc.) incididas por profundos y estrechos valles labrados por la erosión fluvial de las aguas del Tajo, Júcar y sus respectivos afluentes; advirtiéndose sobre ellas algunas manifestaciones kársticas de importancia como es el caso del paraje de la Serranía de Cuenca, entre otros.

El *dominio prebético* presenta estructuras orientadas de NE-SW formando una serie de relieves poco destacados al SE de Albacete mientras cobran mayor envergadura al S. de Alcaraz.

El altiplano "*Campo de Montiel*" es una subunidad formada por materiales triásicos en la base (margas y yesos) y jurásicos (carniolas) en su

techo, apoyándose en estructuras plegadas del Paleozoico. Los estratos del Secundario se disponen de forma horizontal por no haber tenido la orogenia Alpina una especial relevancia en este sector; la ausencia de tectónica y el desarrollo de distintas etapas erosivas han originado la presencia de varias superficies de erosión escalonadas. El alto valle del Guadiana incide en este territorio con dirección SE-NW; instalándose en su interior uno de los complejos travertínicos más importantes de Europa, las "Lagunas de Ruidera".

La "**Unidad Geoestructural Neógena**" se encuentra repartida por diversas zonas de la región, destacando la gran mancha de materiales neógenos del centro del mapa, interrumpidos de N-S por el gran umbral mesozoico de la Sierra de Altomira. Está formada por sedimentos terciarios depositados con posterioridad a la orogenia Alpina de forma horizontal. Esto va a condicionar el paisaje que va a depender fundamentalmente de dos hechos: la incisión de la red fluvial y la heterogeneidad de la litología de estos estratos. Así se dan paisajes tan distintos como son los páramos de la Alcarria, con valles profundos y amplios abiertos por la red del Tajo y la región manchega, formada por una extensa llanura donde el Guadiana y afluentes no han podido abrir valles.

Es destacable la presencia en el territorio manchego de un complejo volcánico el "Campo de Calatrava" situado en la provincia de Ciudad Real, cuyas erupciones más importantes tuvieron lugar en el Terciario Superior.

2.2. Hidrografía

Castilla-La Mancha presenta un sistema hidrográfico complejo influenciado por las características geológicas y climáticas. Las grandes estructuras plegadas o fallas determinan la distribución general de las cuencas, su tamaño y morfología. La red de drenaje desagua en su mayor parte en la vertiente atlántica.

El volumen de la precipitación media anual en Castilla-La Mancha es de 41.000 Hm³, equivalente a 510 mm por año, que se distribuyen por cuencas hidrográficas de la forma siguiente:

Cuenca	Superficie dentro de región (km ²)	Precipitación (Hm ³ /año)	Linea isoyeta media (mm/año)
Tajo	26.762	15.800	590
Guadiana	26.328	13.300	520
Júcar	15.652	6.800	420
Segura	4.945	2.000	410
Guadalquivir	4.428	2.600	590
Ebro	1.063	500	500
TOTAL	79.178	41.000	510

Tabla 5. Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha (IGME, 1985).

Este volumen de precipitación origina dentro de la Región unos recursos hídricos cuya cuantía se sitúa en 6.938 Hm³/año. Agregando las aportaciones externas, cuyo volumen es de 2.804 Hm³, los recursos medios totales anuales de Castilla-La Mancha se elevan a 9.742 Hm³/año, de los que 9.530 Hm³ son transferidos a otras Comunidades Autónomas y Portugal. De la escorrentía hídrica total un 32% circula de forma subterránea mientras un 68% discurre superficialmente.

2.2.1. Recursos hídricos superficiales

Los ríos de la región castellano-manchega se reparten entre siete cuencas hidrográficas diferentes: Tajo, Guadiana y Guadalquivir, que vierten sus aguas en el Océano Atlántico; y Júcar, Segura, Ebro y Turia que drenan hacia el Mar Mediterráneo.

2.2.2. Recursos hídricos subterráneos

Entre las formaciones geológicas existentes en la Comunidad, sólo las calizas, dolomías, arenas, gravas y arenas arcillosas pueden contener aguas subterráneas en cantidades suficientes como para constituir acuíferos de interés. Estos se localizan en unidades geológicas del Mesozoico y Terciario, ya que sólo en ellas aparecen estas litologías en importancia y extensión suficientes. El total de superficie ocupada por los sistemas acuíferos de Castilla-La Mancha es de 47.210 km² que contienen unas reservas de 56.070 Hm³.

Hay que destacar un hecho acaecido en las últimas décadas y es la densidad de explotaciones agrícolas y la consiguiente transformación en

cultivos de regadío. Obviamente esto ha supuesto un aumento en el consumo de agua subterránea, llevando a una sobreexplotación de los acuíferos. Esto conlleva riesgos medioambientales graves como son las desecaciones de lugares de gran importancia como por ejemplo el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, los Ojos del Guadiana, etc. afectando a los ecosistemas asociados a ellas. También generan problemas de contaminación de los acuíferos ocasionados por la infiltración de aguas con gran concentración en fertilizantes y plaguicidas usadas en la agricultura.

El aumento de la extracción de agua entre 1980 y 1995 comportó un descenso del nivel piezométrico en el acuífero de Mancha Occidental de 29,5 metros. La importancia de las extracciones en la parte central del acuífero cambió la circulación subterránea de los flujos de agua, que dejaron de ir en dirección a la zona natural de drenaje (Las Tablas) para dirigirse hacia el vacío creado por los conos de bombeo en la parte central del acuífero. De esta manera, el desequilibrio hídrico se notó rápidamente en Las Tablas de Daimiel, que pasaron de ser el *rebosadero* natural del acuífero 23 a *sumidero* del mismo. A principios de los años ochenta ya era manifiesta la disminución de la superficie inundada en el Parque de Las Tablas y en otras zonas húmedas dependientes del mismo acuífero. La situación empeoró rápidamente en los años posteriores.

Los mayores aumentos correspondieron a la parte central y oriental del acuífero de Mancha Occidental. Cuatro municipios reúnen más de la mitad de la superficie regada y del agua consumida: Alcázar de San Juan, Daimiel, Herencia y Manzanares. En el acuífero de Campo de Montiel la expansión de los regadíos fue más tardía, no tuvo lugar hasta la década de los 80. En total la superficie regada alcanzó casi 8.000 ha. De las 719.000 ha de Superficie Agraria Útil de ambos acuíferos, se estima que entre 130 y 145 mil ha se regaban a finales de los ochenta, de las cuales más de 20.000 ha se destinaban al maíz, con unos consumos de agua muy elevados cercanos a los 9.000 m³/ha año y con elevadas rentabilidades. El avance del regadío corrió paralelo a la disminución del viñedo.

2.3. Suelos

Los suelos de la Comunidad de Castilla La Mancha presentan una gran variedad genética como consecuencia de la variada tipología de combinaciones de sus factores formadores. Particularmente llama la atención la variada litología, unida a otra también variada gama de posiciones geomorfológicas y de vegetación, bajo clima Mediterráneo y sus subtipos. De ahí que se encuentren según Soil Taxonomy: Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles, Molisoles y en menor número Aridisoles, Histosoles, Vertisoles y Ultisoles, siendo raros los Podsoles. A nivel de la Leyenda FAO, prácticamente aparecen todas las unidades de suelos, con la excepción de algunas entre las que cabe citar Greyzem y Nitosol.

Desconocemos la existencia de algún trabajo de conjunto sobre los suelos de la Comunidad de Castilla La Mancha. Existe el mapa de suelos de Guadalajara y su memoria correspondiente, el mapa de Toledo y su memoria. Además existe toda una serie de trabajos publicados en diferentes revistas científicas. Por último, se han realizado numerosas tesis doctorales sobre suelos, en concreto o sobre aspectos parciales de suelos: fertilidad, incorporación de lodos, etc. De entre todos ellos podemos citar los trabajos de Espejo (1978), Aragonese (1990), Ibáñez et al. (1984), Martín de Vidales (1981), Gumuzzio (1978), Batlle (1980), etc.

En un recorrido hipotético por toda la Comunidad podríamos encontrar:

En los sistemas montañosos periféricos como son el Sistema Central, Sierra de Ayllón y el Ocejón, así como parte de La Ibérica, concretamente en el paleozoico sobre granitos, pizarras, esquistos y cuarcitas etc., con un relieve adusto aparecen: Entisoles e Inceptisoles según Soil Taxonomy, es decir Leptosoles, acompañados de Cambisoles y otra serie de suelos de menor entidad proporcional según FAO. Estas mismas formaciones edáficas aparecen en los relieves montañosos interiores como los Montes de Toledo, acompañados de Luvisoles.

En efecto en los Montes de Toledo hay Leptosoles, Cambisoles y Luvisoles sobre pizarras, esquistos y cuarcitas. En las estribaciones meridionales de Gredos dominan los Cambisoles dísticos y Leptosoles sobre materiales ígneos o metamórficos. Además en las rañas, sedimentos detríticos pliocenos de la Jara y otras superficies de Guadalajara se localizan suelos

ácidos y pedregosos como son los Luvisoles, Cambisoles y algún Planosol, acompañados de suelos hidromorfos, Y también Gleysoles como formaciones más significativas.

En el secundario se han formado calizas, areniscas, conglomerados etc., con relieves ásperos dando lugar a Entisoles, Inceptisoles y Molisoles según Soil Taxonomy, es decir Leptosoles, Molisoles, Regosoles, Cambisoles etc. según FAO. Es el caso de la Sierra de Altomira, La Serranía de Cuenca, Sistema ibérico, tierras altas de Atienza y Sigüenza, etc.

En la llanura la variedad es aún mayor. Así, en la campiña toledana se desarrollan Alfisoles e Inceptisoles (Luvisoles y Cambisoles FAO) a partir de arcosas, en topografía suavemente ondulada. En la Sagra hay suelos de carácter vértico sobre arcillas y margas, favorables desde el punto de vista agrícola.

En el páramo calizo abundan Alfisoles e Inceptisoles, así como Entisoles (Luvisoles, Cambisoles, Regosoles y Leptosoles FAO). Otro tanto sucede en la Alcarria, donde el rasgo fundamental es la gran variedad de estos tipos de suelos a escala métrica y decamétrica, como consecuencia de una gran variedad de formaciones geomorfológicas y litológicas.

La Mancha comprende una extensa región que se puede identificar con una cubeta sedimentaria terciaria, recorrido por surcos cuaternarios. Constituye una planicie con variedad litológica con suelos ampliamente utilizados con fines agrícolas. Así aparecen extensas zonas con Alfisoles e Inceptisoles (Cambisoles y Luvisoles acompañados de Regosoles) y otra serie de suelos, todos ellos con presencia generalmente de carbonatos. Se sitúan también en esta zona y sobre todo en zonas de escarpe abundantes yesos y margas yesíferas, como en la zona de Tarancón y gran parte de la Alcarria Conquense donde aparecen Leptosoles, Regosoles, Gypsisoles y Solonchaks

El Campo de Calatrava constituye una unidad singular con abundantes suelos rojos (Alfisoles) sobre los materiales volcánicos acompañados de Entisoles e Inceptisoles (Luvisoles, Cambisoles y Leptosoles FAO)

Los suelos jóvenes de poco desarrollo se presentan prácticamente a lo largo y ancho de la Comunidad, particularmente en las zonas montañosas y siempre cuando aflora roca dura. Frente a estos se sitúan los suelos maduros, en áreas estables, donde generalmente dominan procesos de movilización de

carbonatos (si existen éstos), llevando a la aparición de horizontes cálcicos o petrocálcicos. Otros procesos comunes en suelos maduros son las formaciones de horizontes argílicos, acompañados o no de las acumulaciones citadas en carbonatos. Así, se forman y aparecen los Suelos Rojos (Alfisolos en el sistema Soil Taxonomy, Luvisoles según FAO) siendo los más genuinos de la Comunidad. Este tipo de suelos están muy extendidos en La Mancha y en otras subregiones.

En zonas forestales accidentadas calcícolas se desarrollan suelos tipo Mollisol (Chernosem y Kastanosem), ricos en materia orgánica y saturados en bases. Si el material de partida es ácido se desarrollan generalmente Inceptisoles (Cambisoles de FAO).

Los Aridisoles, según Soil Taxonomy, se encuentran en el campo de Hellín y el altiplano de Almansa, así como en parte de La Mancha de Albacete. También en el campo de Montiel. Estos suelos en FAO son generalmente Solonchaks pero también pertenecen a otras unidades.

Los Entisoles (Leptosoles, Fluvisoles etc. en FAO) aparecen en todas las zonas que van desde las partes cimeras de montaña, hasta las vegas de la multitud de ríos y riachuelos que circundan la región. De este modo, podemos citar las terrazas del Tajo, Guadiana y sus afluentes, como son las campiñas del Henares y Jarama.

Finalmente aparecen Histosoles sobre posiciones geomorfológicas específicas, bien en cuencas de drenaje impedido de los sistemas serranos (en cuyo caso son ácidos) bien en cuencas endorreicas de llanura, generalmente básicos. En este último tipo se incluyen los suelos de las Tablas de Daimiel.

2.4. Climatología

El clima predominante en Castilla-La Mancha es el *Templado Mediterráneo*, caracterizado por inviernos fríos y veranos cálidos, según la clasificación de Köppen (Strahler y Strahler, 1989) (figura 15). La estacionalidad de las temperaturas junto con el período de sequía estival y la irregularidad de las precipitaciones anuales configura un clima caracterizado por su aridez y continentalidad. Ésta es más acentuada en la mitad oriental con veranos calurosos (temperaturas medias mensuales superiores a 22°C) e

inviernos fríos (temperaturas medias mensuales inferiores a 6°C). Otros climas presentes en la Comunidad son:

Clima Templado Mediterráneo de veranos cálidos e inviernos suaves, en el que ningún mes la temperatura media baja de los 6°C, y se extiende por el Sur y Oeste de la provincia de Ciudad Real y Oeste de Toledo.

Clima Templado Mediterráneo de veranos frescos e inviernos fríos, caracterizado porque ningún mes supera la temperatura media de 22°C. Se localiza en el Norte de Guadalajara debido a que es la zona más septentrional de la región.

Clima Templado Mediterráneo de Montaña de precipitaciones altas y temperaturas descendentes debido a la orografía. Predomina en las zonas montañosas más altas de la Comunidad como la Sierra de Alcaraz, Serranía de Cuenca, Sierra de Ayllón y Sierra de Ocejón.

Clima Estepario frío caracterizado por escasez de precipitaciones, por veranos calurosos y porque la temperatura media anual es inferior a 18 °C. Se sitúa en un pequeño sector al Sudeste de la provincia de Albacete.

No obstante, las diferencias de altitud modifican la distribución espacial de las temperaturas y precipitaciones y contribuyen a crear dentro de los límites de la Comunidad una variada gama de áreas climáticamente diferenciadas, responsables de las variaciones tan considerables existentes en la estructura y composición del paisaje vegetal. De este modo, en la Comunidad de Castilla-La Mancha, se reconocen los siguientes pisos bioclimáticos en función de la temperatura:

Pisos Bioclimáticos	t (°C)	m (°C)	M (°C)	H
Mediterráneo	17-13	5-1	13-8	XI-IV
Supramediterráneo	13-8	-1-4	8-3	X-V
Oromediterráneo	8-4	-4-7	3-0	IX-VI

Tabla 6. Pisos bioclimáticos (Plan de Conservación del Medio Natural).

Donde t representa las temperaturas medias anuales; m, la media de las mínimas del mes más frío, y M, la media de las máximas del mes más frío, todas en grados centígrados (°C). H representa los meses extremos del período, afectado por las heladas. Por otro lado, ateniendo a las

precipitaciones, se pueden establecer, para Castilla-La Mancha, cuatro tipos de ombroclima: semiárido, seco, subhúmedo y húmedo, en función de los intervalos de precipitación siguientes:

Tipo de ombroclima	Precipitación (mm)
Semiárido	200 – 350
Seco	350 – 600
Subhúmedo	600 – 1.000
Húmedo	1.000 – 1.600

Tabla 7. Tipos de ombroclima en Castilla-La Mancha.

Haciendo corresponder los pisos bioclimáticos con los tipos de ombroclima presentes en la Comunidad de Castilla-La Mancha, se obtienen diferentes combinaciones o unidades climáticas.

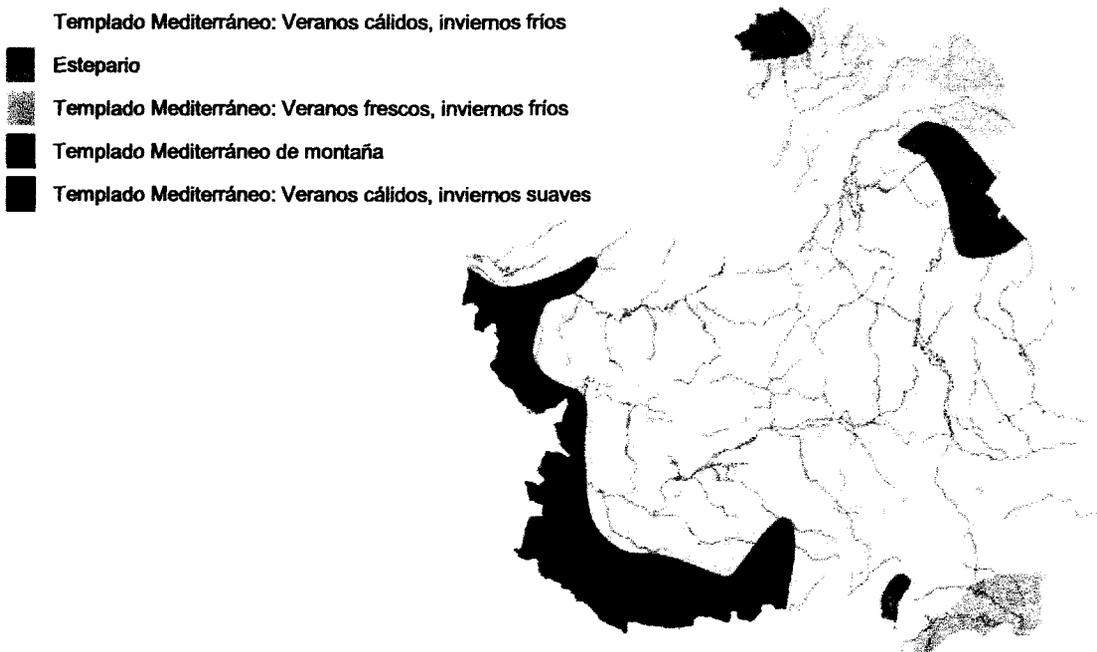


Figura 15. Tipos de climas en Castilla-La Mancha según la clasificación de Köppen.

2.4.1. Temperaturas

Castilla-La Mancha presenta unas temperaturas muy extremas por el efecto de la continentalidad cuya amplitud térmica es muy elevada, aproximadamente 20°C. Las temperaturas medias registrados por las estaciones meteorológicas localizadas en las provincias de Albacete (Los Llanos y R.I.A), Ciudad Real (El Chaparrillo), Cuenca (Albaladejito), Guadalajara (Molina de A.) y Toledo (Observatorio) durante el periodo comprendido entre 1980 y 2002 se resumen en la siguiente tabla:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
Albacete	5.5	6.9	10.0	11.8	16.4	21.6	24.3	24.0	19.9	14.8	8.5	5.7	14.1
Ciudad Real	5.2	7.2	10.4	11.8	16.3	22.3	25.2	24.8	20.3	15.0	8.8	6.1	14.5
Cuenca	4.6	6.3	9.0	10.4	15.5	20.2	23.1	23.1	19.4	13.4	7.6	5.3	13.2
Guadalajara	3.1	4.9	7.6	8.9	13.5	18.3	20.8	20.7	16.7	11.8	5.9	3.8	11.3
Toledo	6.4	8.6	11.7	13.2	17.4	23.6	26.3	26.1	21.8	16.3	10.0	7.0	15.7
Promedio	4.9	6.8	9.7	11.2	15.8	21.2	23.9	23.7	19.6	14.3	8.2	5.6	13.7

Tabla 8. Temperaturas medias mensuales (°C). Periodo 1980-2002. (IES, 2004).

En Agosto la media mensual se sitúa por encima de los 22°C en la mayor parte de la región, distinguiéndose una franja calurosa de más de 26°C en el centro de la región. Los inviernos son fríos pues en la mayor parte de la región la temperatura media del mes de enero no supera los 6°C, incluso por debajo de 4°C en ciertas zonas, siendo además habituales las heladas en invierno e incluso a principios de primavera y finales de otoño.

2.4.2. Precipitaciones

Las precipitaciones registradas en La Mancha proceden en su mayor parte de las perturbaciones atlánticas del frente polar aunque son escasas por el carácter mediterráneo y continental del clima. La mayor parte del territorio se encuentra comprendido entre la isoyeta (línea que une puntos de igual precipitación) de 30 mm y la de 500 mm de media anual, incluyendo así a Castilla-La Mancha en la denominación tradicional de "España Seca". Las precipitaciones medias anuales provinciales recogidas en los observatorios citados anteriormente se recogen en la tabla 9.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
Albacete	19.2	24.2	23.3	43.1	42.5	35.8	12.0	10.3	35.0	40.1	38.6	28.1	29.4
Ciudad Real	31.0	26.9	20.1	43.6	39.0	26.9	7.0	4.8	22.2	44.0	49.1	56.0	30.9
Cuenca	38.8	34.8	26.0	51.3	57.0	39.7	10.9	15.3	37.0	49.4	56.0	51.4	38.9
Guadalajara	27.9	25.6	19.7	46.5	61.3	31.5	19.9	19.7	35.2	43.5	43.2	41.9	34.7
Toledo	26.1	22.9	17.7	41.8	46.6	24.7	9.0	7.0	20.4	34.7	42.2	42.1	27.9
Promedio	28.6	26.9	21.4	45.3	49.3	31.7	11.8	11.4	30.0	42.3	45.8	43.9	32.4

Tabla 9. Precipitaciones medias mensuales (mm). Periodo 1980-2000 (IES, 2004).

La distribución de precipitaciones a lo largo del año presenta un régimen típicamente mediterráneo como muestra el climodiagrama (figura 16), caracterizado por la existencia de una estación seca muy marcada durante el verano, unos máximos de lluvias en primavera y otoño y un mínimo poco acusado en invierno. Con estos datos se realizó un climodiagrama ombrotérmico de Gausson (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).

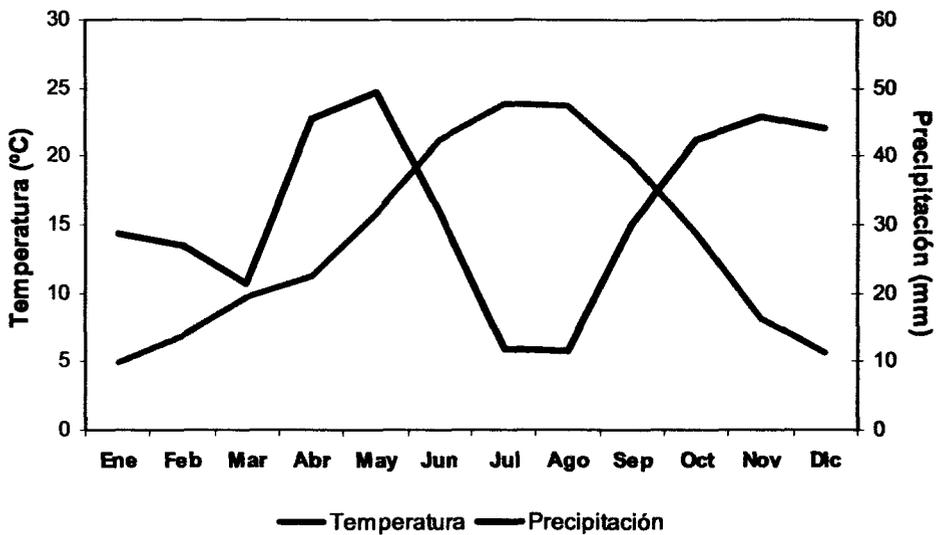


Figura 16. Climodiagrama ombrotérmico de Castilla-La Mancha.

2.5. Vegetación y fauna

La gran extensión de Castilla-La Mancha junto con variables como el clima, los suelos, la altitud, el sustrato geológico o la actividad antropogénica ha creado una variedad natural dando lugar a la aparición de diferentes unidades biogeográficas o paisajes vegetales.

La actividad agrícola en este territorio es el principal uso del suelo de ahí que el paisaje más predominante en la región está ligado al cultivo. Esta acción antrópica ha ido modificando sustancialmente el paisaje natural dando lugar a la aparición de ricos paisajes agrícolas, formaciones subseriales del clímax arbóreo o sustitución de éste por vegetación no autóctona a base de coníferas o eucaliptos. Desde el punto de vista geobotánico, y siguiendo la clasificación de Rivas-Martínez (1987), en la Región tienen presencia seis provincias biogeográficas con los siguientes nueve sectores:

1. Guadarrámico
2. Toledano-Tagano
3. Mariánico-Monchiquense
4. Celtibérico-Alcarreño
5. Mestracense
6. Manchego
7. Valenciano-Tarraconense
8. Murciano
9. Subbético

El sector de mayor extensión, aunque también el más degradado por la acción humana, es el Manchego, seguido del Celtibérico-Alcarreño, Toledano-Tagano y Mariánico- Monchiquense. De extensión menor, pero con comunidades vegetales de gran interés, son los sectores Maestracense, Guadarrámico y Subbético. Completan el cuadro dos pequeñas manifestaciones marginales de los sectores Murciano y Valenciano-Tarraconense.

Dependiendo de la litología general, del piso bioclimático y del ombroclima, se han definido para estos dominios biogeográficos un total de 20 grandes series zonales de vegetación, que engloban tanto las asociaciones climáticas como subseriales más representativas de la Comunidad. La distribución de cada serie zonal, agrupadas según la formación vegetal que la especie dominante crea, es:

- Encinares

Es la formación clímax en la mayor parte del territorio y son las de mayor extensión en la Comunidad, distribuyéndose la encina (*Quercus rotundifolia*) por todo el espacio castellano-manchego, a excepción de las zonas oromediterráneas o de ombroclima semiárido. Las series de vegetación de la encina son:

- Alcornocales

Pertencen a la serie *Sanguisorbo hybridae-Querceto suberis*, y se localizan en las Sierras occidentales de las provincias de Ciudad Real y Toledo, ocupando fundamentalmente las laderas medias y altas de solana acompañados de lentisco (*Pistacia lentiscus*), acebuche (*Olea europeae*) o mirto (*Myrtus communis*), y las laderas bajas de umbría con quejigo (*Q. faginea*). La degradación del alcornocal favorece la extensión de madroño (*Arbutus unedo*), olivilla (*Phillyrea angustifolia*), durillo (*Viburnum tinus*) y brezos (*Erica sp.*).

- Coscojares

Pertencientes a la serie *Rhamno lycioidis - Quercetum coccíferae*, y constituyen la etapa de máximo biológico estable en las zonas semiáridas del sureste de Albacete.

- Melojares

Ocupan una reducida extensión, encontrándose únicamente en sistemas montañosos de suelo ácido y aunque muy modificados y degradados por la actividad antrópica, se conservan en relieves silíceos de los Montes de Toledo, Sierra Morena, Macizo de Ayllón, y en determinados enclaves de Guadalajara (Rodenal) y de la Serranía de Cuenca (Cañete, Boniches y Sierra de Valdemeca).

- Hayedos

Los hayedos, pertenecientes a la serie *Galio rotundifolii-Fagetum*, se encuentran en pequeños reductos de la Sierra de Ayllón, incluidos en el Parque Natural de la Tejera Negra.

- Quejigares

Sustituyen ecológicamente a los encinares sobre suelos profundos y húmicos entre 800 y 1200 m, y alternan con encinares, alcornocales, sabinares y pinares de laricio. Aparecen acompañados de arces (*Acer monspessulanum*, *A. opalus*) y serbales (*Sorbus aria*, *S. domestica*, *S. torminalis*) y rosáceas arbustivas (rosas, guillomos, majuelos, etc.).

- Sabinares

La sabina albar (*Juniperus thurifera*) forma el genuino bosque de las parameras de Guadalajara, Cuenca y el Campo de Montiel. Ocupa las altas mesetas llanas (1000 - 1400 m) y las laderas donde las condiciones climáticas son más rigurosas y el suelo posee una menor capacidad de retención. La sabina rastrea (*Juniperus sabina*) se instala en el piso bioclimático oromediterráneo, alcanzando alturas de 1800 m en la Serranía de Cuenca (Sierras de S. Felipe y Montes Universales).

- Pinares

Ocupan actualmente una gran extensión en la región castellano-manchega. La especie más abundante es el pino laricio o salgareño (*P. nigra*) predominante en la Serranía de Cuenca, sureste y noroeste de Guadalajara y

Sierra de Alcaraz; el pino resinero o rodeno (*P. pinaster*), abundante en el Rodenal de Sigüenza- Molina de Aragón, este de la provincia de Cuenca y Sierra de Alcaraz; y el pino carrasco (*P. halepensis*) dominante en zonas secas del sur de Albacete, este de Cuenca y manchas aisladas en la Sierra de Altomira. Menor extensión ocupan el pino albar (*P. sylvestris*), en el sector noroccidental y suroriental de la provincia de Guadalajara, y en la Serranía de Cuenca; y el pino piñonero (*P. pinea*) localizado en las llanuras manchegas, especialmente en una banda entre el límite provincial de Cuenca y Albacete. La extensión de las masas de pinar se ha ampliado notablemente por repoblación artificial, en especial para las especies *P. pinaster*, *P. halepensis* y *P. pinea*. Los pinares autóctonos aparecen unas veces como formaciones climáticas y otras como formaciones preclimáticas.

Ligadas a determinadas litologías o suelos azonales existe un conjunto de formaciones vegetales de elevado interés, aunque representadas en una pequeña fracción de la superficie regional, destacando: las formaciones ripícolas en galería, las formaciones halófilas manchegas, de terófitos o caméfitos, presentes en lagunas endorreicas con acumulación de sales y turberas ácidas, relegadas a enclaves húmedos de los sistemas montañosos hercinianos.

Desde el punto de vista zoológico, Castilla-La Mancha manifiesta una gran variedad faunística, debido a la diversidad de sus ecosistemas. A continuación se describe la fauna presente en la Región, encontrándose algunos de ellos sometidos a régimen de especial protección por ser vulnerables o estar en peligro de extinción. Las especies presentes mayoritariamente son aves, anfibios, reptiles y mamíferos.

2.6. Agricultura

Este apartado describe de forma global los sistemas de uso del suelo de la región de Castilla-La Mancha a través de una descripción general de las formas de aprovechamiento y evaluación numérica de las superficies de cultivo y usos preferentes. La agricultura ha sido tradicionalmente la principal actividad desarrollada en la región. Así pues, son la tradición cultural, la forma de ocupación y la distribución de la tierra (tabla 10), los que darán forma a los paisajes agrarios. El conjunto de las diferentes variables del medio físico y especialmente las llanuras presentes en esta Comunidad hacen de ella una región apta para la agricultura. El Anuario de Estadística de esta Comunidad, realizada por el Instituto de Estadística (2004) sobre la distribución general de la tierra, refleja que se destinan cerca de 4.2 millones de hectáreas a uso agrícola.

Tierras de cultivo	4.150,9
Cultivos Herbáceos	1.977,5
Barbechos	1.196,4
Cultivos leñosos	977,1
Prados y pastizales	566,2
Praderas naturales	20,7
Pastizales	545,5
Terreno forestal	1.988,9
Monte maderable	888,2
Monte abierto	348,4
Monte leñoso	752,3
Otras superficies	1.216,9
Erial a pastos	738,2
Espartizal	94,3
Terreno improductivo	94,1
Superficie no agrícola	221,9
Ríos y lagos	68,4

Tabla 10. Distribución general de la tierra (miles de has.) Castilla-La Mancha (IES,2004).

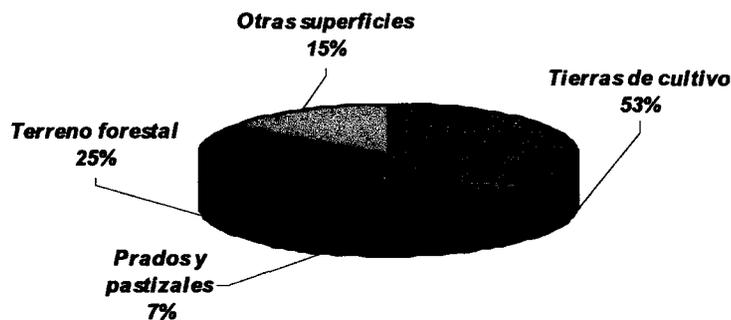


Figura 17. Distribución porcentual de los usos del suelo de Castilla-La Mancha, 2004.

El secano castellano-manchego es el dominante en esta región con casi un tercio de las tierras de cultivo dedicado a este tipo de explotación (figura 18). Dentro de éste es el cultivo de cereales el mayoritario, representando principalmente por la cebada con un 60%. El viñedo, olivar, cultivos industriales y leguminosas son los siguientes cultivos en extensión, siendo la región de Europa con mayor superficie de viña.

- Cultivos herbáceos en regadío
- Cítricos
- Frutales en regadío
- Cultivos herbáceos de secano
- Frutales en secano
- Olivar
- Viñedo
- Praderas
- Pastizales y matorrales
- Forestal arbolado
- Improductivo

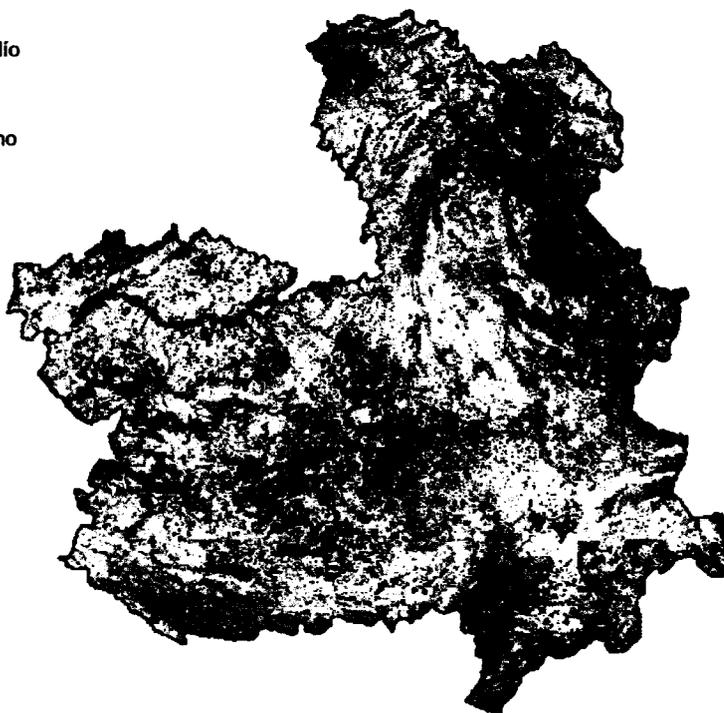


Figura 18. Mapa de cultivos y aprovechamientos. Castilla-La Mancha (MAPA, 2003).

El girasol ocupa también una importante superficie. Las leguminosas de secano más extendidas son los yeros y la veza, y, con menor superficie, los guisantes secos y los garbanzos. Los forrajes de secano predominantes son los cereales de invierno. El regadío de Castilla-La Mancha está también dominado por los cereales, fundamentalmente cebada, maíz y trigo. Después del viñedo destacan las hortalizas (melón, ajo y cebolla), cultivos industriales (girasol y remolacha azucarera), los forrajes (alfalfa), las leguminosas (guisantes) y el olivar (figura 19).

Sin embargo, cada vez es más creciente la superficie de suelo que ha transformado su uso desde mediados de los años setenta del siglo pasado, en la zona del acuífero de Mancha Occidental, cuando se inició una rápida transformación de tierras de secano dedicados a cereales de invierno y viña en cultivos muy exigentes en agua (remolacha azucarera, maíz, alfalfa, etc.) mediante la extracción de aguas subterráneas. Entre 1975 y 1990 de continuada expansión, la superficie en regadío alcanzó 124.000 ha y la extracción de agua presenta un máximo de 568 hm³ en 1998.

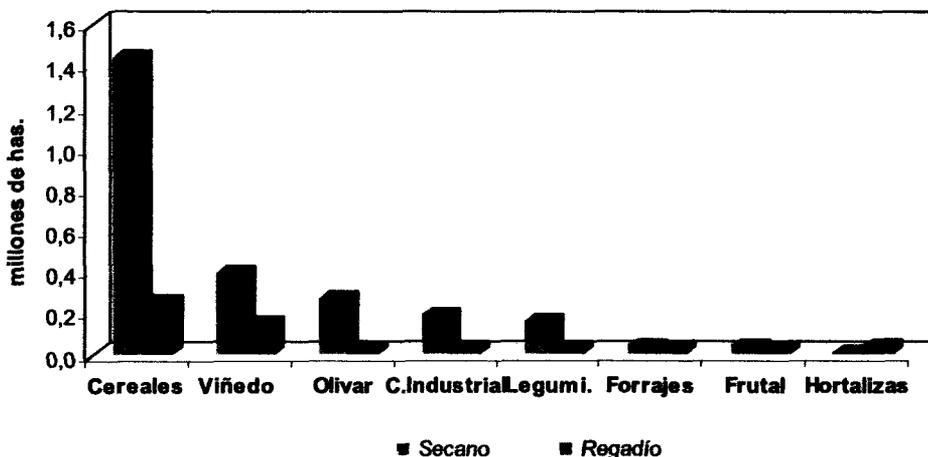


Figura 19. Superficie de explotaciones agrarias (millones de has) de Castilla-La Mancha, 2003.

Aunque el viñedo no es el uso más extenso sí es el más característico y relevante ya que se trata del cultivo más productivo, situándose Castilla-La Mancha en la segunda región europea con mayor producción, después de Languedoc-Roussillon (Francia) y cuenta las dos Denominaciones de Origen mayores de España, Mancha y Valdepeñas. La renta agraria regional tiene una

elevada dependencia de esta producción y asimismo su economía. El viñedo ocupa en la región alrededor de 540.000 ha y la producción varía entre 15 y 18 millones de hectolitros, albergando la mitad de la superficie de viñedo de España y siendo la principal productora de vino (MAPA, 2003).

Cultivo	Miles de Toneladas
Viñedo	29934,2
Cereales	4769,4
Cultivos forrajeros	1370,9
Hortalizas	1116,5
Cultivos industriales	622
Olivar	286,5
Tubérculos	92,8

Tabla 11. Producción de los principales productos agrícolas (IES, 2004).

2.8. Estado de degradación de los suelos de Castilla-La Mancha

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD, 1995) se establece como el marco de referencia para la elaboración y aplicación de estrategias nacionales para luchar contra este problema (Rojo, 2006). Ésta obligaba a establecer dichos planes a los países afectados, ratificando España su compromiso en 1996 al crear el Programa de Acción contra la Desertificación (PAND) cuyo objetivo final es paliar los efectos negativos de este proceso.

En el marco de este programa se ha detectado que un 67% del territorio nacional se encuentra incluido dentro de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas (Alfonso, 2005) susceptibles de ser degradados. A su vez han elaborado una caracterización por subcuencas hidrológicas obteniendo un mapa con riesgo de desertificación (figura 20). Este plan establece que la superficie del territorio de Castilla-La Mancha afectado, determinando que el 9.5% posee un riesgo de desertificación muy alto, el 34.2 % alto, el 36.1% medio y el 9.6% bajo.

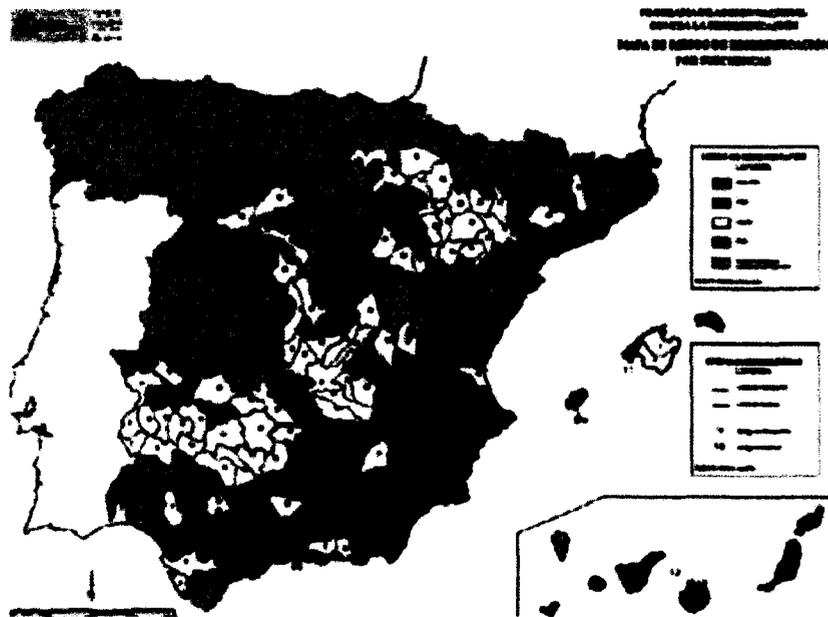


Figura 20. Mapa de riesgos de desertificación por subcuencas (PAND, 2005).

La erosión, en su modalidad hídrica, es uno de los mayores problemas que se plantean a la Comunidad Autónoma por ser la causa más importante de pérdida masiva de suelo, tanto agrícola como forestal, cuando aquella se produce en forma de regueros o cárcavas, o de su empobrecimiento por pérdida de nutrientes si la erosión se manifiesta en forma laminar. Acarreando ambas acciones pérdida de suelo y la consiguiente disminución de la capacidad productiva.

Los niveles de erosión de la Región, según el estudio sobre Restauración Hidrológico Forestal elaborado por el ICONA (1991), ponen de manifiesto que 971.472 Has (el 12,3% de la superficie total) sufren fenómenos muy graves de erosión, con pérdidas de suelo superiores a 50 Tm/Ha.año; 1.879.690 Has (el 23,7% del territorio) presentan erosión grave, con niveles comprendidos entre 12 y 50 Tm/Ha.año; y 3.273.843 Has. (41,3%) padecen una erosión menos grave con tendencia a intensificarse.

Sánchez (1994) afirma que entre los principales factores que actúan sobre la desertificación, las condiciones climáticas, la litología/geomorfología, los suelos, es la actividad antrópica la causante de este proceso erosivo en la región, motivada fundamentalmente por:

- Abandono de las áreas de baja productividad por cambios socioeconómicos.
- Técnicas forestales incorrectas, como las roturaciones de terrenos en pendientes.
- Expansión de cultivos en zonas ecológicas frágiles.
- Salinización del suelo por sobreexplotación de acuíferos.
- Incendios forestales, que en los últimos años han constituido la causa principal de la destrucción de cubiertas vegetales naturales, afectando a su estabilidad y favoreciendo la escorrentía y por tanto la erosión hídrica.
- Pastoreo desordenado de las zonas forestales, que impide la regeneración de las zonas deforestadas.
- Cambios en los aprovechamientos forestales, que han motivado la desaparición de las cubiertas arbóreas en favor de otras herbáceas.
- Implantación de olivares en suelos con pendientes pronunciadas.

Estas acciones potencian los efectos del clima, cuyas características de mediterraneidad y continentalidad resultan agresivas para el medio y sobre todo para la vegetación, que debe enfrentarse con fuertes déficits hídricos y elevadas temperaturas en el período estival e intensas y prolongadas heladas durante el invierno, configurando una vegetación de escasa velocidad evolutiva, por lo que una vez alterados los ecosistemas difícilmente recuperan su estado primitivo, transformándose en vegetación degradada, que proporciona escasa protección al sustrato, favoreciendo la erosión.

Las consecuencias de todo ello se traducen en efectos tan negativos sobre el medio (Plan de Conservación del Medio Natural) como:

- **Inundaciones catastróficas** más acentuadas en las Cuencas del Segura y Júcar en la vertiente mediterránea. Su frecuencia se ha visto incrementada, sobre todo en la del Segura.
- **Formación de cárcavas**, en laderas de fuerte pendiente, con poco grado de cobertura vegetal y con litofacies edáficas fácilmente erosionables. Este fenómeno es muy apreciable en la comarca de la Alcarria donde los suelos margosos con alto poder de erosionabilidad, en combinación con la escasa cobertura que proporciona la vegetación existente y con las labores agrícolas que en ella se practican, sufren de manera intensa la acción erosiva del agua, dando origen a estas formaciones.
- **Desestabilización de cauces y destrucción de cultivos de vega**, en distintos tramos de los cursos de agua más importantes, como consecuencia directa, tanto del transporte, como de la sedimentación de los elementos sólidos de distintas granulometría que circulan desde el curso alto hasta el medio o bajo.
- **Degradación de ecosistemas**. Todas las acciones deforestadoras y los efectos negativos repercuten directamente en la riqueza y diversidad de las biocenosis presentes en cualquier ecosistema, además, la deforestación va seguida de procesos de erosión más o menos intensos, lo que da origen a situaciones irreversibles, condicionadas por la degradación del elemento suelo cuya restauración no es posible en un plazo medio de tiempo.
- **Colmatación de embalses**, con la consiguiente pérdida de utilidad para el fin que fueron concebidos y reducción de la vida útil de infraestructuras básicas muy costosas económica y ambientalmente.

CAPÍTULO 3

MATERIAL Y MÉTODOS

CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS

Del conjunto de ecosistemas antes mencionado se han seleccionado los perfiles. La selección se ha llevado a cabo en función de los grandes caracteres del medio físico de Castilla-La Mancha, por lo que podemos hablar de un cierto nivel de representatividad. En la figura 21 se muestra cómo queda la distribución espacial de los perfiles muestreados.

Una vez seleccionados los perfiles más adecuados se procedió a su descripción siguiendo la “Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos” (FAO/UNESCO, 1977). Preliminarmente se realizó su clasificación atendiendo a la FAO (1990) y la Soil Taxonomy (1999).

Tras la descripción de los perfiles se procedió a tomar muestras de cada uno de los horizontes que formaban los mismos, recogándose una cantidad suficiente en bolsas de papel codificadas respectivamente.

Además, se tomó una muestra superficial de cada uno de los perfiles en bolsas de plástico cerradas herméticamente para mantener las actividades microbianas. Dichas muestras se trasladaron al laboratorio en pequeñas cámaras frigoríficas para su conservación.

Las muestras se prepararon para su análisis mediante:

- Secado. Se extendió la muestra obtenida sobre papel filtro en una habitación bien ventilada a temperatura ambiente hasta que la muestra estuvo seca.
- Tamizado. Después del secado se procede a romper los agregados con un martillo, haciendo pasar a continuación un rodillo. Se pasa la muestra por un tamiz de 2 mm de luz.
- Almacenamiento. Una vez tamizada la muestra se guarda en una bolsa de papel previamente marcada con el indicativo correspondiente y se guarda hasta posteriores análisis.

Las muestras superficiales se pasaron por un tamiz de 2 mm de luz para ser almacenadas a continuación en bolsas herméticas en nevera a una

temperatura en torno a 4°C para mantener unas condiciones óptimas de conservación para poder analizar posteriormente las propiedades biológicas y bioquímicas.



Figura 21. Situación de los perfiles estudiados.

3.1. Métodos analíticos

3.1.1. pH

La medida del pH se determinó en agua y en cloruro potásico 1N en una suspensión suelo/agua-KCl 1:2.5, utilizando para ello un pH-metro con compensación automática de temperatura (CRISON micro pH 2001) calibrado previamente a pH 4 y 7.

3.1.2. Conductividad eléctrica

La salinidad se determinó en el extracto acuoso suelo/agua 1:5 mediante el uso de un conductímetro con compensación automática de temperatura (CRISON BASIC 30).

3.1.3. Carbono orgánico fácilmente oxidable

Se analizó siguiendo el método de Walkley y Black (1947) basado en la oxidación de la materia orgánica por vía húmeda con dicromato potásico 1N, y valoración por retroceso en medio sulfúrico, con sal de Mohr 0.5 N. El carbono orgánico se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{orgánico}}(\%) = \frac{(V_D - V_S \cdot N_S \cdot F_S) \times 0,003 \times 100}{P}$$

donde V_D es el volumen (ml) de dicromato empleado; V_S , N_S , F_S representan el volumen (ml) gastado en la valoración, la normalidad y el factor de corrección del sulfato ferroso amónico respectivamente; 0,003 es el peso miliequivalente del C y P el peso de la muestra.

3.1.4. Contenido en carbonatos

La determinación de carbonatos se realiza mediante la neutralización del ácido clorhídrico añadido a la muestra. El exceso de ácido que no reacciona con el suelo es valorado mediante una solución de NaOH en presencia de fenoftaleína como indicador. El porcentaje de carbonato cálcico equivalente de la muestra se obtiene de esta forma, según la ecuación:

$$CaCO_3 \text{ equivalente}(\%) = \frac{(25 - A \times B) \times 5}{P}$$

donde A es el volumen (ml) de NaOH gastado, B la normalidad del NaOH y P el peso de la muestra.

3.1.5. Contenido en caliza activa

La caliza activa, que representa la fracción fina de los carbonatos de mayor actividad química y que puede interferir en el desarrollo de las plantas (Porta, 1986), ha sido determinada mediante tratamiento con oxalato amónico, que da como producto de reacción el oxalato cálcico en forma de precipitado. A continuación se valora con permanganato potásico ($KMnO_4$) el exceso de oxalato amónico, previamente transformado en ácido oxálico, por acción del ácido sulfúrico.

3.1.6. Análisis granulométrico

La granulometría de las muestras de suelos se determinó siguiendo el método densimétrico de Bouyoucus (1962).

A partir de los porcentajes obtenidos anteriormente se clasificaron las muestras utilizando el diagrama de clases texturales propuesto por la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

3.1.7. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio

La C.I.C se ha determinado mediante el método del acetato amónico 1 N y posteriormente se determinaron los cationes de cambio. Para ello se midieron, tras la percolación de la muestra con acetato amónico, Ca, Mg, K y Na. Después de la percolación se lavó hasta quedar libre del exceso de sales, percolando con cloruro potásico y posterior determinación del amonio.

3.1.8. Contenido en nitrógeno total

Se midió según el método Kjeldahl, basado en la mineralización del nitrógeno orgánico de la muestra mediante digestión de la misma con ácido sulfúrico concentrado. El nitrógeno orgánico pasa a forma amoniacal que junto con el amonio ya existente en el suelo se valora por colorimetría (Hinds y Lowe, 1980). Las disoluciones problema fueron finalmente medidas por espectrofotometría a 660 nm, utilizando para ello un autoanalizador Technicon AAll.

3.1.9. Contenido en macroelementos asimilables

Los macroelementos calcio, magnesio, sodio y potasio se extrajeron en una relación 1:10 de suelo con acetato amónico 1 M (pH 7). Dicha suspensión se agitó durante 10 minutos y se filtró. En el extracto así obtenido, se midieron sodio, potasio y calcio por fometría de llama (Eppendorf Elex 6361), y el magnesio mediante espectrofotometría de emisión de plasma (Perkin Elmer ICP/5500).

Por otro lado, el contenido de fósforo se determinó según el método descrito por Burriel y Hernando (1950) por colorimetría en un autoanalizador Technicon AAll.

3.1.10. Densidad real

La densidad real se ha determinado mediante el método del matraz con tolueno como modificación al método del picnómetro (Black, 1965).

$$Dr = \frac{P}{(25 - V)}$$

siendo Dr la densidad real, P el peso de la muestra (10 gr) y V el volumen (ml) de tolueno empleado.

3.1.11. Densidad aparente

La densidad real se obtuvo utilizando el método del mercurio. Éste se basa en hallar la densidad de la muestra a partir del volumen de mercurio desplazado en un recipiente tras la inmersión del agregado. De este modo, y una vez conocida la densidad y peso del mercurio desplazado, se halla su volumen que corresponde al volumen del suelo analizado. La densidad aparente viene dada por tanto como:

$$Da = \frac{P}{V}$$

donde Da es la densidad aparente, P el peso del agregado y V el volumen del agregado.

3.1.12. Porosidad

La porosidad o porcentaje de poros se obtiene a partir de la densidad real y la densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

donde P representa la porosidad, D_a la densidad aparente y D_r la densidad real.

3.1.13. Color

El color de las diferentes muestras se determinó tanto en estado seco como en húmedo sobre los agregados de los mismos mediante la utilización de la guía Munsell Color Company Inc.(1954).

3.1.14. Capacidad de campo

La capacidad de campo se define como el contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o lluvia abundante y se estima a partir del valor del contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 33 kPa ($pF = 2,6$) en un equipo de placas de presión.

Se realizó sobre las muestras de suelo, previamente tamizadas por 2 mm, con el empleo de la membrana de Richards (1945). Se trata de un método de presión que consiste en aplicar a la muestra colocada sobre una membrana porosa, una presión determinada, de tal forma que se extrae de ella el agua que esté retenida con un potencial matricial más bajo que la presión aplicada.

3.1.15. Punto de marchitamiento permanente

El punto de marchitamiento permanente es aquél punto a partir del cual la fuerza de succión de las plantas no puede vencer la fuerza con que es retenida el agua en el suelo, y por lo tanto se marchitan. Se estima como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo equilibrada con una presión de 1500 Kpa ($pF = 4,2$) en un equipo de placas de presión siguiendo la metodología seguida por Richards (1945).

3.1.16. Agua útil

La humedad disponible para las plantas o "agua útil" se determina mediante la diferencia entre el contenido de la humedad a su capacidad de campo y el contenido de la humedad en el punto de marchitamiento permanente, y se expresa como el porcentaje en volumen (% V).

3.1.17. Humedad

Los datos analíticos son referidos a peso de suelo seco. Para ello, se utilizó un analizador Sartorius MA 30 para determinar el contenido de humedad de cada una de las muestras mediante secado a 105°C.

3.1.18. Tasa de infiltración del agua

Para determinar la capacidad de infiltración del agua en el suelo se utilizó el método del infiltrómetro de doble anillo, utilizando un equipo Eijkelkam (Bouwer, 1986; D3385-03, ASTM).

Esta determinación se realiza en el campo. Primero se escoge una zona lo más llana posible y se procede a introducir los dos anillos concéntricos. A continuación se rellena con agua el anillo externo, luego el interno y se introduce el flotador con la regla registrando cada cierto intervalo de tiempo las alturas que se dan una vez ha comenzado el proceso de infiltración. Una vez el agua ha infiltrado parcialmente por completo es necesario volver a rellenar los dos cilindros. Las alturas registradas junto a los tiempos empleados durante el proceso se representan gráficamente obteniendo una curva.

3.1.19. Identificación de arcillas

Previa succión de la fracción arcillosa, se llevó a cabo el análisis de la composición mineralógica de la misma mediante difracción de rayos x. Los difractogramas se han realizado en un difractómetro SIEMENS D-5000. El difractograma de polvo desorientado se ha registrado desde 3 a 65 grados con una velocidad de barrido de 2 grados por minuto. Los difractogramas orientados se han registrado desde 2 a 40 grados con una velocidad de barrido de 1 grado/minuto. El tubo generador de rayos X utiliza como cátodo un filamento de wolframio y como ánodo una placa de cobre (CuK_α). La intensidad de corriente y voltaje aplicados al tubo generador de rayos X ha sido de 30 mA y 40 Kv y las rendijas de divergencia y recepción de 1 y 0,18 grados, respectivamente. Se han obtenido difractogramas de muestras tratadas con etilenglicol y potásico calcinadas a 550°C.

El porcentaje de los diferentes minerales de la muestra se ha calculado mediante la relación entre las áreas de los picos característicos a partir del difractograma de polvo desorientado y agregado orientado. La semicuantificación de los componentes se ha realizado siguiendo el método de los poderes reflectantes (Schultz, 1964; Barahona, 1974).

3.1.20. Índice de floculación

Mediante un ensayo de laboratorio se ha determinado el grado de dispersión de las arcillas contenidas en las muestras de suelo analizadas. Para ello se sifonó la probeta con la suspensión hasta 20 cm de profundidad, recogiendo su contenido en un vaso de precipitados. A continuación se añade una solución floculante de MgCl_2 1 M para conseguir la floculación de la arcilla presente en la muestra. Se determinó el grado de floculación sufrida por la muestra con el tiempo mediante observación. Para ello se anotó el grado de floculación de la arcilla clasificándolo en tres tipos: débil, media e intensa. Se registró en tres momentos diferentes después de haber añadido el floculante MgCl_2 , transcurridos 30 minutos, a las 3 horas y a los dos días.

A partir del tipo de floculación sufrida y del tiempo transcurrido en su formación se estableció un índice de floculación (tabla 12). Se ha establecido

un rango de valores: 0, 0.5 y 1, siendo los valores de 0 los correspondientes a las arcillas más dispersas y 1 a las más favorables.

Tiempo	Grado de floculación			Índices floculación
	Débil	Medio	Intenso	
30 min	x			0
3 horas	x			
2 días	x			
30 min	x			0.5
3 horas		x		
2 días			x	
30 min		x		1
3 horas			X	
2 días			x	

Tabla 12. Índices de floculación.

3.1.21. Fraccionamiento de arenas

La fracción de suelo depositada en el fondo de la probeta se pasó por un tamiz de 0.05 mm de luz lavando con agua y trasvasando lo que no pasa por el tamiz a una cápsula de porcelana llevándola a una estufa con una temperatura de 60° hasta secar.

Una vez seco se hace pasar las arenas por un juego de tamices Filtra (Norma UNE 7050/3) de una luz de 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.2 mm, 0.1 mm y de 0.05 mm pesando las cantidades de arenas retenidos en cada uno de ellos obteniendo así los diferentes porcentajes de las arenas clasificados según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) como:

Nombre de la fracción	Diámetro aparente (mm)
Arena muy gruesa	2.00-1.00
Arena gruesa	1.00 -0.50
Arena Arena media	0.50-0.25
Arena fina	0.25-0.10
Arena muy fina	0.10-0.05

Tabla 13. Clasificación de las arenas según los criterios USDA.

3.1.22. Carbono de la biomasa microbiana

Se realizó mediante el método de fumigación-extracción con cloroformo modificado por Gregorich et al. (1990). Siguiendo la relación descrita por Vance et al. (1987), el contenido de carbono de la biomasa microbiana se calculó multiplicando la concentración de carbono en el extracto por un factor de proporcionalidad de 2.64.

3.1.23. Respiración microbiana

Se empleó un método automático de medida AQUALYTIC® para estimar el oxígeno consumido por los microorganismos del suelo (Hernández y García, 2003).

Este método se basa en medir la disminución de gas que se va produciendo en un sistema hermético de incubación. Para ello se pesaron 50 g de suelo, se humedeció con agua un 55% de su capacidad de retención hídrica y se rellenó los viales contenidos en el sistema con álcali con el fin de absorber el CO₂ producido. A continuación se incuban durante 14 días a una temperatura controlada de 20-30°C. Este sistema va registrando el oxígeno consumido por los microorganismos durante la incubación de modo que el CO₂ desprendido es absorbido por el álcali que se encuentra en la unidad de medida registrando una disminución de presión que a su vez regula la producción electrolítica de oxígeno.

Los valores de la respiración microbiana se dan generalmente como mg de C-CO₂ desprendidos por kg de suelo y día. Así este parámetro será el valor medio obtenido y dividido por los 14 días de incubación.

3.1.24. Actividad Deshidrogenasa

Se cuantificó mediante el método de García et al. (1993a), basado en la incubación del suelo en presencia del sustrato cloruro de 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT) como aceptor de electrones (en ausencia de tampón) seguida de la determinación colorimétrica del iodo-nitrotetrazolio formazano (INTF) formado. La actividad deshidrogenasa se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad deshidrogenasa} \left(\mu\text{g INTF} \cdot \text{g}^{-1} \right) = \left(\frac{A}{P_M} - \frac{B}{P_C} \right) \times 10$$

donde A y B representan las concentraciones de INTF (mg L^{-1}) medidas en el extracto de la muestra y del control, respectivamente, y P_M y P_C es el peso de suelo seco de la muestra y del control (g), respectivamente.

3.1.25. Actividad Catalasa

Se midió mediante el método propuesto por Rodríguez-Kábana y Truelove (1982), que se basa en la cuantificación del desprendimiento de oxígeno al añadir peróxido de hidrógeno al suelo, valorando con permanganato potásico la cantidad de peróxido en exceso que no ha sido degradado por la actividad catalasa. Esta enzima se calculó mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Actividad catalasa} \left(\mu\text{mol } O_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \right) = \left(\frac{V_B - V_M}{P_M} - \frac{V_C}{P_C} \right) \times 5$$

donde V_b , V_m y V_c representan los volúmenes (mL) de permanganato potásico utilizados en la valoración del blanco, de la muestra y del control, respectivamente, y P_M y P_C es el peso de suelo seco (g) de la muestra y del control, respectivamente.

3.1.26. Actividad Ureasa

Se determinó mediante la medida del amonio producido por la descomposición del sustrato urea adicionado (Nannipieri et al., 1980). Se midió el amonio según el método colorimétrico de Crooke y Simpson (1971) a 660 nm en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1603. Para calcular la actividad ureasa, se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Actividad ureasa} \left(\mu\text{mol } NH_4^+ \cdot g^{-1} \cdot h^{-1} \right) = \left(\frac{A}{P_M} - \frac{B}{P_C} \right) \times \frac{100000}{1.5}$$

siendo A y B las concentraciones de amonio (mol L^{-1}) medidas por colorimetría en el extracto de la muestra y del control y P_M y P_C es el peso de suelo seco (g) de la muestra y del control, respectivamente.

3.1.27. Actividad Proteasa-BAA

La determinación de la actividad proteasa hidrolizante de la N- α -benzoil-L-arginamida (BAA) se llevó a cabo determinando por colorimetría el amonio liberado durante la descomposición del BAA adicionado al suelo (Nannipieri et al., 1980). Y se midió la concentración de amonio en los extractos según el método colorimétrico de Crooke y Simpson (1971) a 660 nm en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1603. La ecuación utilizada en este caso es la siguiente:

$$\text{Actividad proteasa} \left(\mu\text{mol } NH_4^+ \cdot g^{-1} \cdot h^{-1} \right) = \left(\frac{A}{P_M} - \frac{B}{P_C} \right) \times \frac{100000}{1.5}$$

donde A y B representan las concentraciones de amonio (mol L^{-1}) medidas por colorimetría en el extracto de la muestra y del control, y P_M y P_C es el peso de suelo seco (g) de la muestra y del control, respectivamente.

3.1.28. Actividad Fosfatasa

Se analizó mediante un procedimiento basado en la determinación colorimétrica del p-nitrofenol (PNP) liberado después de la incubación del suelo con una disolución de p-nitrofenil fosfato (PNF) (Tabatabai, 1994). La actividad fosfatasa se calculó mediante la ecuación:

$$\text{Actividad fosfatasa} \left(\mu\text{mol PNP} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \right) = \left(\frac{A}{P_M} - \frac{B}{P_C} \right) \times \frac{5}{1.5}$$

donde A y B representan las concentraciones de p-nitrofenol (mmol L^{-1}) medidas por colorimetría en el extracto de la muestra y del control, respectivamente, y P_M y P_C es el peso de suelo seco (g) de la muestra y del control, respectivamente.

3.1.29. Actividad β -Glucosidasa

Su medida se basó en la determinación colorimétrica del p-nitrofenol (PNP) liberado después de la incubación del suelo con una disolución de p-nitrofenil- β -D-glucopiranosido (PNG) (Tabatabai, 1994). La actividad β -glucosidasa se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad glucosidasa} \left(\mu\text{mol PNP} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \right) = \left(\frac{A}{P_M} - \frac{B}{P_C} \right) \times \frac{5}{1.5}$$

donde A y B representan las concentraciones de p-nitrofenol (mmol L^{-1}) medidas por colorimetría en el extracto de la muestra y del control, respectivamente, y P_M y P_C es el peso de suelo seco (g) de la muestra y del control, respectivamente.

3.2. Tratamientos Estadísticos

Se realizaron distintos tratamientos estadísticos de los parámetros analizados mediante el software SPSS versión 11.5 para Windows. Se determinaron los estadísticos descriptivos de cada una de las variables y se obtuvieron los correspondientes diagramas de caja y bigotes para observar gráficamente los casos excepcionales, detallados en el siguiente capítulo. Además, se determinaron los histogramas de frecuencias con sus curvas normales correspondientes, al igual que se comprobó la normalidad de las variables utilizando la prueba de Shapiro-Wilk.

En el capítulo 5 se utilizó el software CurveExpert Versión 1.38 (A curve fitting system for Windows) para determinar las curvas de transformación de los parámetros seleccionados como indicadores de la calidad del suelo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan en primer lugar la descripción macromorfológica de los perfiles seguida de los resultados analíticos, tanto de naturaleza física, como mineralógica y química de las diferentes muestras tomadas de los diversos horizontes de los mismos. La discusión macromorfológica y analítica relativa a los perfiles se hace de forma general agrupando los suelos en por características similares.

A continuación se han analizado individualmente las tendencias seguidas por las distintas propiedades analizadas en los suelos muestreados. Para ello se han realizado gráficos y se han hallado estadísticos descriptivos para ayudarnos a interpretar de una forma más clara los resultados obtenidos. Con ellos obtendremos una visión global de los atributos medidos observando a su vez si se trata de suelos similares o por el contrario se comportan de una forma muy diferente al mismo tiempo que se observa si las medidas efectuadas corresponden o no a una distribución normal representando para ello los histogramas de frecuencias.

Dada la importancia que se ha dado en el desarrollo de la presente tesis al estudio de las propiedades biológicas y bioquímicas se dedica un apartado final al estudio de estas propiedades específicas. Asimismo, los resultados correspondientes a los parámetros biológicos y bioquímicos se resumen en el Anexo I.

4.1. Descripción y resultados analíticos de los perfiles

PERFIL 1 – Villacañas

- **Número del perfil:** 1
- **Nombre del suelo:** Villacañas
- **Clasificación:**
 - FAO: Solonchak gleico
 - USDA: Aquicambid xérico
- **Ubicación:** Borde sur de la Laguna Larga situada en el término municipal de Villacañas Carretera Villacañas-Quintanar de la Orden, CM 410, Km 94 (Toledo)
- **Coordenadas:** 03°19'06"W/ 39°35'26"N
- **Altitud:** 660 m
- **Posición fisiográfica:** Laguna endorreica
- **Topografía del terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Vegetación higrohalofila: *Schoenus nigricans*, *Salsoda*, *Limonium*, *Lygeum*, *Elymus*, etc.
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos lagunares triásicos
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Perfil húmedo en su totalidad después de una tormenta.
- **Profundidad de la capa freática:** <1 m
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Escasa
- **Presencia de sales o álcalis:** Si
- **Influencia humana:** Moderada

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ahz	0-10	Muestra 1-1. Color 2.5YR3/6 (húmedo) y color 2.5YR4/6 (seco). Textura franco arenosa. Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco. Presencia de caras de presión. Pocos poros y finos. Pedregosidad del 1%. Presencia frecuente de raíces finas y muy finas. Se observan sales solubles superficiales. Límite gradual.
Bwz	10-74	Muestra 1-2. Color 2.5YR3/6 (húmedo) y color 2.5YR4/8 (seco). Textura franco arenosa. Similar al horizonte superior, aunque con una tonalidad más rojiza y menos raíces. También se diferencia del anterior por la presencia de moteado blanco.
Cg	>74	Material margoso rojizo con manchas grisáceas.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
1-1	9.2	8.8	7.40	1.6	0.17	9.6	8.5	5.0	290	180	1400	349	62
1-2	8.6	8.2	7.50	0.6	0.05	12.4	3.5	3.0	310	110	1180	316	10

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
1-1						63.3	20.0	16.7	F-Ar	
1-2	31.4	13.5	4.1	85.5	34.6	100	66.0	18.3	15.7	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
1-1	1.8	2.8	7.1	24.1	64.2	16	82	2	0
1-2	2.7	4.6	6.7	26.8	59.2	4	95	1	0

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
1-2						2.0	1.9	6.0	

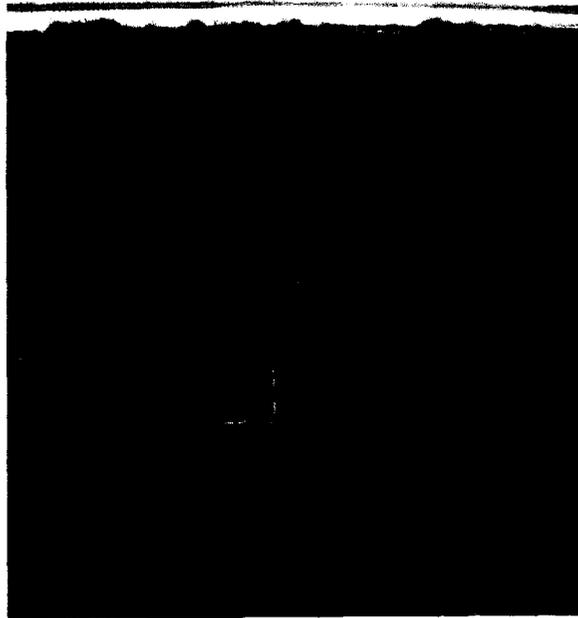


Figura 22. Fotografía del Perfil 1- Villacañas.

PERFIL 2 – Tembleque

- **Número del perfil:** 2
- **Nombre del suelo:** Tembleque
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol háplico
 - USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** Margen izquierda de la carretera CM-410 tramo de Tembleque-Villacañas, km1 (Toledo).
- **Coordenadas:** 03°29'22"W / 39°40'57"N
- **Altitud:** 610 m
- **Posición fisiográfica:** Llanura
- **Topografía del terreno circundante:** Ondulado
- **Microtopografía:** Natural
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Erial
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Marga
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Ligeramente húmedo en su horizonte más superficial. El perfil se muestreó después de una tormenta
- **Profundidad de la capa freática:** desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Escasa
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Apk	0-12	Muestra 2-1. Color 7.5YR5/6 (húmedo) y color 7.5YR6/4(seco). Textura franco arenosa. Estructura débil, migajosa y mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Muy poroso. Pedregosidad del 5%. Escasa presencia de raíces finas o muy finas. Límite gradual y ondulado.
2Bwk	12-28	Muestra 2-2. Color 7.5YR5/6 (húmedo) y color 10YR5/6 (seco). Textura franco arenosa. Estructura moderada en bloques subangulares mediana. No adherente, no plástico y suelto en húmedo y ligeramente duro en seco. Escasa porosidad. Pedregosidad del 1%. Escasa presencia de raíces muy finas. Límite irregular.
2Ck	> 28	Muestra 2-3. Color 7.5YR5/8 (húmedo) y color 7.5YR7/4 (seco). Textura franco arenosa. Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. No adherente, no plástico y suelto en húmedo y muy duro en seco. Escasa porosidad. Pedregosidad del 2-3%. Escasa presencia de raíces muy finas.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
2-1	8.4	7.7	0.29	2.22	0.14	15.9	35.8	11	3.0	64	430	14.8	20.5
2-2	8.0	7.5	1.82	1.15	0.14	8.2	33.9	15	4.0	16	620	16.5	16.5
2-3	8.2	7.7	0.41				43.0						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
2-1						64.0	17.3	18.7	F-Ar	
2-2	20.9	1.2	0.5	54.1	2.1	100	70.0	20.3	9.7	F-Ar
2-3						58.0	22.3	19.7	F-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
2-1	0.9	6.1	10.8	39.0	43.2	5	95	0	1
2-2	0.1	3.6	7.4	24.3	64.6	33	56	11	0.5
2-3	0.4	5.5	7.6	16.5	70.0	9	89	2	1

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
2-2						2.2	1.5	32.5	
2-3						2.1	1.4	34.6	



Figura 23. Fotografía del Perfil 2- Tembleque.

PERFIL 3 – Montiel I

- **Número del perfil:** 3
- **Nombre del suelo:** Montiel I
- **Clasificación:**
 FAO: Leptosol Lítico
 USDA: Xerorthent lítico
- **Ubicación:** Cerro cerca del km 4 de la CM 3127 de Villanueva de los Infantes a Montiel. Camino margen derecho (Ferrero). (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 02°58'24"WO/ 38°42'32"N
- **Altitud:** 842 m
- **Forma del terreno:** Alomado
- **Posición fisiográfica:** Cima de muela areniscosa poco alterada
- **Microtopografía:** Inclinada
- **Pendiente:** Clase 3
- **Vegetación:** Pastizal / erial
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Arenisca del trias (Bundsanstein)
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** > 7 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 2
- **Evidencia de erosión:** Si. Hídrica superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-12	Muestra 3-1. Color 10R5/6 (húmedo) y 2.5YR4/8 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares fina con tendencia a particular. No adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces finas y muy finas. Frecuentes poros. Pedregosidad 20%. Límite brusco e irregular.
R	> 12	No se tomó muestra. Color 10R4/4 (Arenisca rojiza).

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
3-1	7.9	7.5	0.16	2.09	0.12	17.4	0.0	0	0.5	26	272	7.2	13

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
3-1	13.2	1.1	0.9	18.6	0.8	100	73.8	16.8	9.4	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
3-1	3.1	1.8	1.6	7.4	86.1	10	90	0	1

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)



Figura 24. Fotografía del Perfil 4 – Montiel I.

PERFIL 4 – Montiel II

- **Número del perfil:** 4
- **Nombre del suelo:** Montiel II
- **Clasificación:**
 - FAO: Cambisol cromico
 - USDA: Xerochrept típico
- **Ubicación:** Cerro cerca del km 34.05 de la Ctra 3127 de Montiel a V. de los Infantes. A unos 200 metros del perfil nº 3 (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 02°58'17''WO/38°42'30''N
- **Altitud:** 855 m
- **Posición fisiográfica:** Loma
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Repoblación de retama / erial
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Areniscas semicompactadas y arcillas versicolores (Trias)
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** 3 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 1
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar.
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-8	Muestra 4-1. Color 2.5YR3/4 (húmedo) y 2.5YR5/4 (seco) Estructura débil en bloques subangulares fina, que se resuelve en particular. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable, blando. Pocas raíces finas. Muchos poros. Pedregosidad 10%. Límite gradual y ondulado.
Ap2	8-35	No se tomó muestra.
Bw	35-162	Muestra 4-2. Color 10YR5/6 (húmedo) y 2.5YR5/6 (seco) con manchas negras y algunas amarillentas. Estructura moderada en bloques subangulares gruesa que se resuelven en fina y particular. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme y ligeramente duro. Sin cutanes. Muy pocas raíces. Muchos poros. Pedregosidad 15%. Límite neto y ondulado.
2 C	162-181	No se tomó muestra. Constituido por abundantes cantos (40%) en matriz arenosa fina. Límite neto e irregular.
3 C	> 181	Muestra 4-3. Color 10R4/4 (húmedo) y 5YR7/1 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. No adherente, no plástico, muy firme y muy duro. Sin raíces. Sin poros. Pedregosidad variable inferior a 20%.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
4-1	8.6	7.7	0.12	0.43	0.04	10.8	8.7	1	1.0	45	380	10.3	270.5
4-2	9.0	7.8	0.11	0.06	0.02	3.0	18.0	0	2.0	68	385	22.6	70.5
4-3	8.7	7.6					7.9						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
4-1						69.3	15.3	15.4	F-Ar	
4-2	21.0	1.0	2.1	26.5	2.8	100	75.3	11.3	13.4	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
4-1	0.4	2.9	3.3	10.9	82.5	2	97	1	1
4-2	0.0	20.2	22.3	22.7	34.8	2	98	0	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
4-1	11.7	6.1	5.6	2.2	0.80	2.2	1.6	27.7	74
4-2						2.3	1.5	35.6	
4-3						2.4	1.7	30.4	

PERFIL 5 – Montiel III

- **Número del perfil:** 5
- **Nombre del suelo:** Montiel III
- **Clasificación:**
 - FAO: Cambisol crómico
 - USDA: Haploxerept típico
- **Ubicación:** En medio de los perfiles nº 3 y 4, a lo largo de una línea recta. (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 02°58'22" WO/38°42'42" N
- **Altitud:** 855 m
- **Posición fisiográfica:**
- **Topografía del terreno circundante:**
- **Pendiente:** Clase 0
- **Vegetación:** Cereal
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos arenoso fino - arcillosos
- **Drenaje:** Clase 3
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** 3 – 5 m
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 1
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-19	Muestra 5-1. Color 10R5/4 (húmedo) y 5YR4/6 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces finas. Muchos poros. Pedregosidad 10%.
Bw	19-115	No se tomó muestra. Color 10R5/6 con manchas grises y negras. Estructura moderada en bloques subangulares gruesa que se resuelven en fina y particular. Ligeramente adherente, plástico, firme y duro. Sin cutanes. Pocas raíces. Muchos poros. Pedregosidad 10%. Límite neto y ondulado.
C	>115 cm	No se tomó muestra. Matriz arenosa fina.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
5-1	8.3	7.6	0.15	0.44	0.06	7.3	2.2	0	1.0	51	295	12.5	11.5

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
5-1	12.1	1.1	1.5	19.0	1.6	100	65.3	20.0	14.7	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
5-1	1.9	1.4	1.5	8.7	86.5	4	95	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)

PERFIL 6 – Cozar I

- **Número del perfil:** 6
- **Nombre del suelo:** Cozar I
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol háplico
 - USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** En la base de un microvalle . Cozar-Valdepeñas, CR-624, Km 20 (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 03°10'26''W/38°42'06''N
- **Altitud:** 797 m
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle semicerrado
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Viñedo (replantación)
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos de fondo de valle, cuarcitas, pizarras, granitos, margas
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** < 5 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-6	Muestra 6-1. Color 10YR6/4(húmedo) y 7.5YR6/4(seco). Estructura moderada en bloques subangulares a laminar (zapatilla). Ligeramente adherente, no plástico, friable y ligeramente duro. Pocas raíces finas y medianas. Frecuentes poros. Pedregosidad 15%. (calcarenitos con yeso) Límite neto y ondulado.
Bwk	6-34	Muestra 6-2. Color 7.5YR5/4(húmedo) y 7.5YR6/4(seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Adherente, plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces medianas. Pedregosidad 5%. (Incluye calcarenitos). Límite gradual e irregular.
C	> 34	Muestra 6 -3. Color 2.5Y7/2 y 7.5YR5/2. Estructura fuerte en bloques subangulares mediana y gruesa. Ligeramente adherente, no plástico, muy firme y muy duro. Pocas raíces. Frecuentes poros. Pedregosidad 10%. Nódulos concrecionados por carbonato.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
6-1	8.5	7.6	0.15	0.9	0.08	11.1	19.4	15.0	1.0	43	495	11.3	7.5
6-2	8.5	7.6	0.13	0.8	0.08	9.8	57.9	20.0	0.5	35	485	10.3	5.5
6-3	8.7	7.6	0.10				29.3						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
6-1							49.3	24.0	26.7	F-a-Ar
6-2	25.5	1.0	1.0	43.7	1.2	100	47.3	20.0	32.7	F-a-Ar
6-3							45.3	16.0	38.7	a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
6-1	1.9	18.6	17.0	20.6	41.9	5	95	0	1
6-2	0.3	19.5	19.7	21.7	38.8	4	96	0	0.5
6-3	0.2	20.9	23.9	23.0	32.0	4	95	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
6-1	19.7	11.2	8.5	2.5	0.77	2.1	2.0	7.8	64
6-2						2.4	2.0	15.0	
6-3						2.2	1.5	32.6	

PERFIL 7 – Cozar II

- **Número del perfil:** 7
- **Nombre del suelo:** Cozar II
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol háplico
 - USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** En la base del valle, en cota ligeramente superior al perfil nº 6 (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 03°10'26" W/38°42'06" N
- **Altitud:** 797 m
- **Forma del terreno:** Ladera media
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle semicerrado
- **Microtopografía:** Artificial
- **Peniente:** Clase 0
- **Vegetación:** Erial
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos de fondo de valle, cuarcitas, pizarras, granitos, margas
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** < 6 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 1
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-12	Muestra 7 -1. Color 7.5YR6/4(húmedo) y 5YR6/6(seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces finas y medianas. Pedregosidad 10%. Límite gradual y ondulado.
Bwk	12-74	Muestra 7 -2. Color 5YR4/6(húmedo) y 2.5YR6/4(seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces finas y medianas. Pedregosidad 10%. Límite gradual y ondulado.
C	> 74	No se tomó muestra. Color 7.5YR6/2. Estructura fuerte en bloques subangulares mediana y fina. Ligeramente adherente, no plástico, muy firme y muy duro. Sin raíces. Pedregosidad 20%.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
7-1	8.5	7.6	0.14	0.9	0.08	11.1	18.4	11.0	1.0	52	525	16.8	7.5
7-2	8.8	7.4	0.13	0.6	0.06	10.0	25.1	9.0	1.0	24	535	12.0	3.5

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
7-1							53.3	24.0	22.7	F-a-Ar
7-2	31.1	1.0	0.7	46.6	1.2	100	47.3	20.0	32.7	F-a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
7-1	0.2	13.3	15.9	22.7	47.9	5	94	1	1
7-2	0.0	14.9	19.8	26.1	39.2	5	94	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
7-2						2.3	1.9	15.6	

PERFIL 8 –Cozar III

- **Número del perfil:** 8
- **Nombre del suelo:** Cozar III
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol háplico
 - USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** En la base del valle, en cota superior a los perfiles nº 6 y7 (Montiel, Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 03°10'26"WO/38°42'06"N
- **Altitud:**
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle cerrado, en cota mas alta que el anterior.
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Viñedo (replantación)
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos de fondo de valle, cuarcitas, pizarras, granitos y especialmente margas
- **Drenaje:** Clase 3
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** < 10 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-30	Muestra 8-1. Color 10YR6/3 (húmedo) y 7.5YR7/4 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Muchas raíces finas y medianas. Pedregosidad 15%. Límite gradual y ondulado.
Bwk	30-61	Muestra 8 -2. Color 10YR8/6 (húmedo) y 5YR8/4 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes raíces medianas. Pedregosidad 20%. Límite gradual y ondulado.
C	> 61	No se tomó muestra. Color 2.5Y6/2. Estructura fuerte en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, no plástico, muy firme y muy duro. Sin raíces. Pedregosidad 20%.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
8-1	8.4	7.7	0.12	0.7	0.06	10.8	32.4	20.0	1.0	26	430	7.6	7.5
8-2	8.3	7.7	0.10	0.3	0.02	14.0	68.9	22.0	1.0	26	445	9.2	2.0

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio(cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
8-1						59.3	20.0	20.7	F-a-Ar	
8-2	18.2	1.0	0.7	39.5	1.0	100	56.0	16.3	27.7	F-a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
8-1	0.0	13.8	18.2	30.8	37.2	1	98	1	1
8-2	0.1	10.8	16.9	26.9	45.3	8	91	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
8-2						2.3	1.9	18.6	

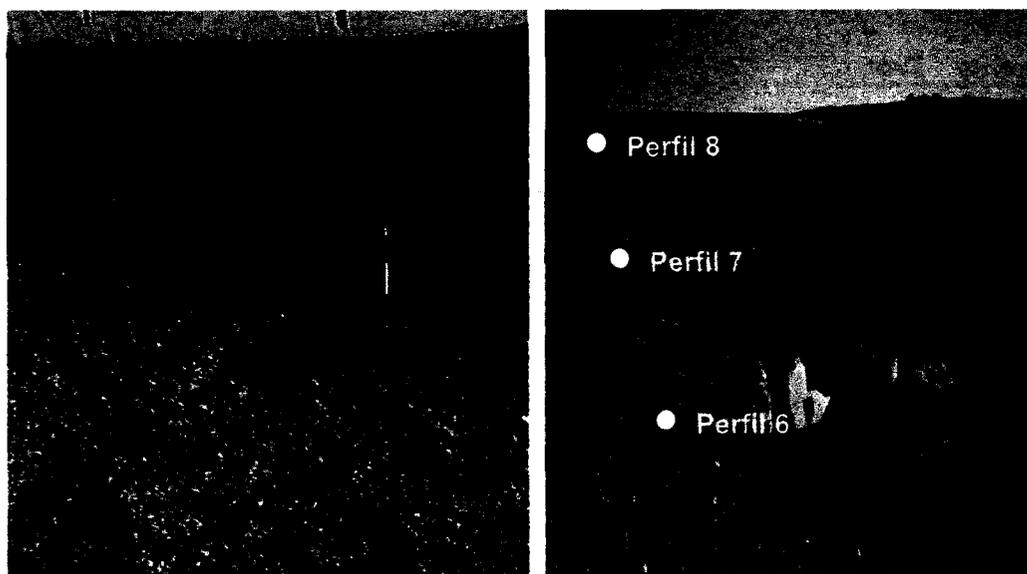


Figura 25. Fotografía del perfil 8 y vista general de los Perfiles 6, 7 y 8 (Cozar).

PERFIL 9 – La Solana

- **Número del perfil:** 9
- **Nombre del suelo:** La Solana
- **Clasificación:**
 FAO: Luvisol crómico
 USDA: Rhodoxeralf típico
- **Ubicación:** En la Ctra de la Solana a Villanueva de los Infantes. CM-3127, salida en km 10 hacia la estación Unión Fenosa, margen derecha de la presa de Vallehermoso (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 03°09'31''W / 38°51'25''N
- **Altitud:** 753
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Replantación de viñedo
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Pizarra
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** 3 metros
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 2
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0-23	Muestra 9 -1. Color 10R4/4(húmedo) y 2.5YR4/6. Estructura fuerte poliédrica gruesa que se resuelve en fina. Adherente, plástico, firme y duro. Cutanes delgados discontinuos. Abundantes raíces finas y medianas. Muchos poros finos y muy finos. Pedregosidad 20%. Límite gradual e irregular.
Bt	23-94	Muestra 9-2. Color 10R4/6(húmedo) y 2.5YR4/6 (seco). Estructura fuerte en bloques poliédricos gruesos que se resuelven en finos y medianos. Adherente, plástico, firme y duro. Cutanes espesos continuos. Frecuentes raíces medianas. Pedregosidad 30%. Límite inferior gradual e irregular.
R	> 94	Muestra 9 -3. Pizarra.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
9-1	6.4	6.0	0.16	2.4	0.24	10.0	0.0	0.0	2.0	36	350	35.1	5.5
9-2	4.9	5.6	0.17	0.1	0.06	2.0	0.0	0.0	4.5	16	305	36.5	1.0

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
9-1						64.0	19.3	16.7	F-Ar	
9-2	39.5	1.1	0.4	15.6	3.1	51.2	54.0	6.3	39.7	a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
9-1	6.9	21.9	18.9	20.8	31.5	27	73	0	1
9-2	0.6	17.5	18.5	23.6	39.8	33	67	0	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
9-2						2.0	1.4	30.0	

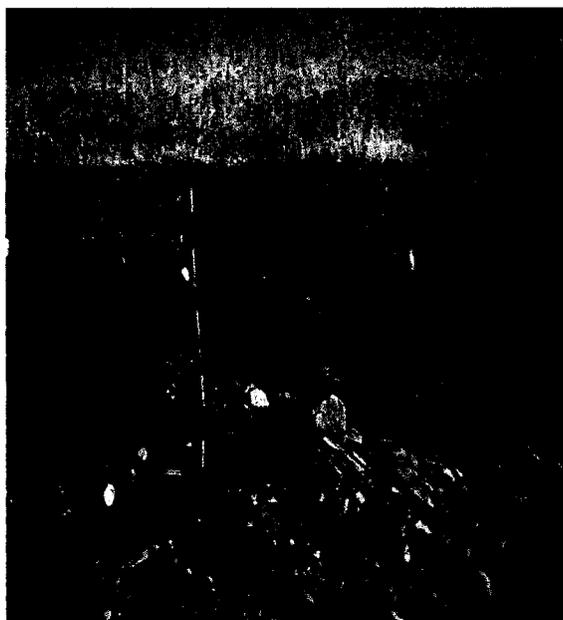


Figura 26. Fotografía del Perfil 9- La Solana.

PERFIL 10 – Almagro

- **Número del perfil:** 10
- **Nombre del suelo:** Almagro
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol háplico
 - USDA: Rhodoxeralf petrocálcico
- **Ubicación:** En una zanja abierta junto al Pozo de la Rana (Almagro, Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 30437014E 4302784N
- **Altitud:** 667 m
- **Posición fisiográfica:** Ladera de pendiente cóncava
- **Topografía terreno circundante:** Ondulado
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** seco- olivar
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** pizarras, cuarcitas, con posible contaminación de material volcánico
- **Drenaje:** Clase 3
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí. Zona de recreo

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-15	Muestra 10-1. Color 2.5YR3/6 (húmedo) y 5YR4/8 (seco). Estructura moderada en poliedros subangulares medianos. Adherente, plástico, firme y duro en seco. Cutanes de presión. No existe cementación. Raíces frecuentes finas y medianas. Actividad biológica intensa. Frecuentes microporos. Pedregosidad 10-15%. Límite neto regular y ondulado.
Bt	15-44	Muestra 10-2. Color 2.5YR3/6 (húmedo) y 2.5YR3/6 (seco). Estructura moderada en poliedros subangulares gruesos. Adherente y muy plástico, firme y muy duro en seco. Cutanes de presión. No existe cementación. Poca abundancia de raíces finas y medianas. Actividad biológica intensa. Muy poroso con frecuentes microporos. Pedregosidad escasa. Límite inferior brusco, regular y ondulado.
Ckm	> 44	Muestra 10 -3. Color 10YR8/2 (húmedo) y 5YR8/4 (seco). Se observa un color blanquecino con manchas de oxidación del hierro. Estructura fuerte en bloques gruesos. Extremadamente duro y no plástico, firme y muy duro en seco. No existen cutanes. Fuertemente cementado. No hay raíces. Poco poroso. Sin pedregosidad.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
10-1	8.2	7.5	0.12	1.4	0.16	8.9	0.0	0.0	1.0	35	435	14.0	15.5
10-2	7.8	7.0	0.29	0.5	0.08	6.8	2.2	0.0	6.0	26	350	42.7	1.0
10-3	8.4	7.8					57.3						

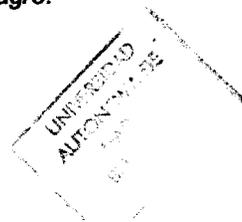
Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
10-1						72.0	8.0	20.0	F-a-Ar	
10-2	44.6	1.2	0.8	26.0	4.4	72.4	56.7	5.3	38.0	a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
10-1	1.4	3.8	7.1	53.5	34.2	21	79	0	0.5
10-2	1.3	2.9	4.7	26.7	64.4	33	67	0	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
10-2						2.1	1.8	12.7	
10-3						2.3	2.2	6.3	



Figura 27. Fotografía del Perfil 10- Almagro.



PERFIL 11 – Manzanares

- **Número del perfil:** 11
- **Nombre del suelo:** Manzanares
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol pétrico
 - USDA: Calcixerept petrocalcico
- **Ubicación:** En Carretera Manzanares-Bolaños (CM-4124) Km 29. (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 30464752E 4315245N
- **Altitud:** 659 m
- **Posición fisiográfica:** Planicie
- **Topografía terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** seco
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos margosos
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí. Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-10	Muestra 11-1. Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR5/4 (seco). Textura franco-arcillosa. Estructura moderadamente débil, granular fina. Adherente, plástico y suelto en seco. Sin cutanes. No existe cementación. Raíces frecuentes finas y medianas. Frecuentes poros finos y medianos. Pedregosidad 20-30% (restos de horizonte petrocálcico). Límite difuso.
Bw	10-55	Muestra 11-2. Color 5YR5/6 (húmedo) y 7.5YR5/6 (seco). Textura franco-arcillosa. Estructura débil en bloques subangulares finos. Adherente, ligeramente plástico, muy friable y blando. Sin cutanes. Sin cementación, Frecuentes poros finos y medianos. Muy pocas raíces. Pedregosidad del 20-30% provenientes de restos de horizonte petrocálcico. Límite brusco.
Ckm	55-120	Muestra 11 -3. Color 7.5YR7/6 (húmedo) y 5YR8/3 (seco). Estructura fuerte en bloques angulares gruesos. Duro. Presenta cementación por carbonatos. Escasa porosidad. No hay raíces.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
11-1	8.2	7.6	0.12	1.1	0.10	10.6	25.4	5.0	3.0	25	460	25.6	11.5
11-2	8.4	7.7	0.11	0.8	0.07	11.1	27.2	6.0	2.0	11	465	19.0	6.5
11-3	8.5	7.9					68.3						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
11-1						72.7	11.3	16.0	F-Ar	
11-2	22.9	1.0	0.4	43.0	2.1	100	72.7	12.3	15.0	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
11-1	0.2	2.5	6.7	22.6	68.0	42	57	1	1
11-2	0.4	4.3	6.2	22.3	66.8	24	45	31	1

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
11-2						2.2	1.9	12.0	
11-3						1.7	1.5	9.1	



Figura 28. Fotografía del Perfil 11 - Manzanares

PERFIL 12 – Mesones

- **Número del perfil:** 12
- **Nombre del suelo:** Mesones
- **Clasificación:**
 - FAO: Luvisol crómico
 - USDA: Haploxeralf típico
- **Ubicación:** En Carretera Casar de Talamanca-Mesones Km 4,100. (Guadalajara)
- **Coordenadas:** 03°24'48" WO/40°44'56" N
- **Altitud:** 860 m
- **Forma del terreno:**
- **Posición fisiográfica:** Planicie
- **Topografía terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Cultivo seco
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Raña
- **Drenaje:** Clase 1
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Sí. Superficial

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-35	Muestra 12-1. Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 10YR7/3 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. Adherente, plástico, friable y blando en seco. Sin cutanes. Frecuentes raíces finas y medianas. Frecuentes poros finos. Pedregosidad 15%. Límite neto y plano.
Bt	35-162	Muestra 12-2. Color 5YR5/4 (húmedo) y 10YR5/8 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares con tendencia a prismática gruesa. Muy adherente, muy plástico, firme y extremadamente duro en seco. Cutanes de presión. Pocos poros finos. Pocas raíces muy finas. Pedregosidad 2%. Límite neto y ondulado.
2Cg	> 162	Muestra 12-3. Color 7.5YR5/6 (húmedo) y 10YR7/8 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y extremadamente duro en seco. Sin cutanes. No hay raíces. Poroso. Pedregosidad 40%.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
12-1	5.3	4.6	0.02	0.5	0.05	10.0	0.0	0.0	1.0	12	112	13.0	2.5
12-2	7.5	6.1	0.14	0.3	0.04	7.0	0.0	0.0	2.5	18	390	39.6	1.0
12-3	7.8	7.2	0.17				0.0						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
12-1						58.7	25.3	16.0	F-Ar	
12-2	47.5	1.0	0.5	21.4	3.6	75.4	48.7	19.3	32.0	F-a-Ar
12-3						60.7	5.7	33.6		F-a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
12-1	2.4	3.5	9.1	25.9	59.1	30	69	1	0.5
12-2	1.4	1.9	9.8	25.5	61.4	25	56	19	0.5
12-3	0.0	18.6	16.9	34.8	29.7	31	52	17	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
12-2						2.1	1.9	14.6	
12-3						2.1	1.8	13.3	

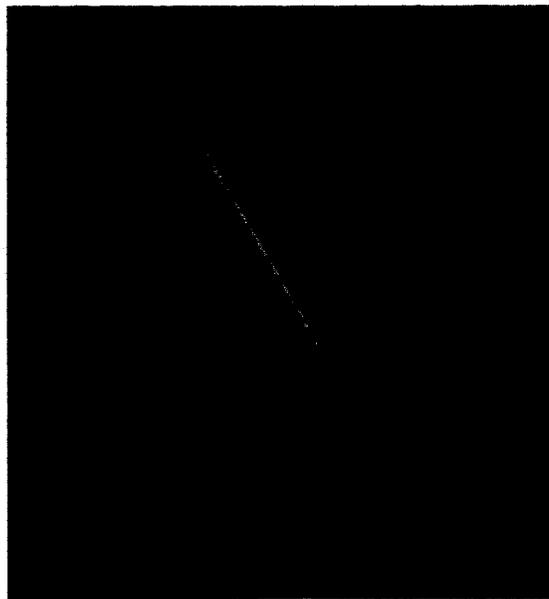


Figura 29. Fotografía del Perfil 12- Mesones.

PERFIL 13 – Alaminos I

- **Número del perfil:** 13
- **Nombre del suelo:** Alaminos I
- **Clasificación:**
 - FAO: Cambisol calcárico
 - USDA: Haploxerept lítico
- **Ubicación:** En Carretera (N-204), N-II Km 66. (x A-2 salida 101 Cifuentes)(Guadalajara)
- **Coordenadas:** 02°44'42''W/40°53'28''N
- **Altitud:** 1070 m
- **Posición fisiográfica:** Paramera
- **Topografía terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Uso seco
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Caliza pontiense
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Moderada

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-8	Muestra 13-1. Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR5/6 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. No adherente, ligeramente plástico, muy friable y blando. Sin cutanes. Abundantes raíces finas y medianas. Muy poroso. Pedregosidad 20%(cantos de caliza). Límite gradual.
Bwk	8-47	Muestra 13-2. Color 7.5YR5/4 (húmedo) y 10YR7/3 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. No adherente, no plástico, muy friable y ligeramente duro. Sin cutanes. Muy poroso. Frecuentes raíces finas. Pedregosidad 10%. Límite brusco.
R	> 47	Caliza pontiense

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
13-1	8.1	7.4	0.20	1.8	0.17	10.7	5.3	4.2	1.5	38	545	9.0	18.5
13-2	8.2	7.6	0.20	1.5	0.13	11.6	27.9	11.0	3.0	13	535	5.1	2.5

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
13-1						56.7	19.3	24.0	F-a-Ar	
13-2	28.3	1.0	0.4	48.7	0.5	100	62.7	16.7	20.6	F-a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
13-1	4.6	10.9	14.3	23.4	46.8	31	68	1	1
13-2	1.6	15.8	21.3	27.5	33.8	19	80	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
13-1	24.9	9.7	15.2	23.2	0.27	2.1	1.8	15.4	47
13-2						2.1	1.5	29.5	



Figura 30. Fotografía del Perfil 13 – Alaminos I.

PERFIL 14 – Alaminos II

- **Número del perfil:** 14
- **Nombre del suelo:** Alaminos II
- **Clasificación:**
 FAO: Luvisol crómico
 USDA: Haploxeralf lítico
- **Ubicación:** En Carretera (N-204), N-II Km 65,5. (Guadalajara)
- **Coordenadas:** 02°44'16''W/40°52'46''N
- **Altitud:** 1069 m
- **Posición fisiográfica:** Paramera
- **Topografía terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** Uso seco
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Caliza pontiense
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Moderada

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-10	Muestra 14-1. Color 5YR4/8 (húmedo) y 5YR4/4 (seco). Estructura débil con tendencia a migajosa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y blando. Sin cutanes. Abundantes raíces finas y medianas. Muy poroso. Pedregosidad 15%. Límite gradual y ondulado.
Bt	10-49	Muestra 14-2. Color 5YR5/8 (húmedo) y 5YR4/6(seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, plástico, firme y duro. Cutanes de presión. Pocos poros finos. Pocas raíces. Pedregosidad 20% de cantos de caliza. Límite brusco e irregular.
R	> 49	Caliza pontiense

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
14-1	8.4	7.4	0.12	2.4	0.23	10.3	0.0	0.0	1.0	53	560	7.8	24.5
14-2	8.4	7.4	0.12	1.8	0.18	10.1	0.0	00	1.0	32	570	6.9	10.0

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
14-1						56.7	19.3	24.0	F-a-Ar	
14-2	43.5	1.0	1.0	50.0	0.7	100	54.7	18.3	27.0	F-a-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
14-1	9.5	10.5	11.6	22.3	46.1	13	86	1	0.5
14-2	4.1	17.2	14.8	22.8	41.1	4	96	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
14-2						2.1	1.7	16.8	



Figura 31. Fotografía del Perfil 14 – Alaminos II.

PERFIL 15 – Henares

- **Número del perfil:** 15
- **Nombre del suelo:** Henares
- **Clasificación:**
 FAO: Calcisol pétrico
 USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** Segunda terraza del Henares. Margen derecha de la N-II Km 44,5, a 100 m del cruce con Azuquega (Guadalajara)
- **Coordenadas:** 03°14'29"WO/40°33'59"N
- **Altitud:** 623 m
- **Posición fisiográfica:** Terraza
- **Topografía terreno circundante:** Plano o casi plano
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Cultivo seco
- **Clima:** Mediterráneo seco
- **Material originario:** Sedimentos fluviales (segunda terraza Henares)
- **Drenaje:** Clase 3
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí. Hídrica laminar superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Intensa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-18	Muestra 15-1. Color 5YR5/6 (húmedo) y 7.5YR6/4 (seco). Estructura moderada a débil en bloques subangulares (con tendencia a migajosa), pequeña. Poco adherente, no plástico, muy friable y muy duro. Sin cutanes. Frecuentes raíces finas y medianas. Muchos poros. Pedregosidad 5%. Límite gradual y ondulado.
Bw	18-64	Muestra 15-2. Color 5YR5/8 (húmedo) y 7.5YR4/4 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. Poco adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro. Poros frecuentes finos. Pocas raíces finas. Pedregosidad 8%. Límite neto e irregular.
2Ckm	> 64	Muestra 15-3. Color 7.5YR6/6(húmedo) y 7.5YR7/4 (seco). Pedregosidad 50%. Sedimentos de terraza fuertemente endurecidos con fragmentos de roca (cuarcitas fundamentalmente).

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
15-1	8.7	7.9	0.11	0.4	0.04	10.3	31.2	4.0	2.0	17	395	18.9	15.0
15-2	8.5	7.4	0.07	0.2	0.03	5.7	5.3	0.0	1.5	15	190	21.0	34.0
15-3	8.6	8.0	0.08				23.3						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
15-1						62.7	17.7	19.6	F-Ar	
15-2	20.5	1.0	0.5	21.3	2.0	100	70.7	13.7	15.6	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmeclita	
15-1	0.6	0.9	3.5	19.3	75.7	16	80	4	0.5
15-2	0.4	6.5	21.4	35.9	35.8	17	80	3	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
15-2						2.2	1.8	15.6	

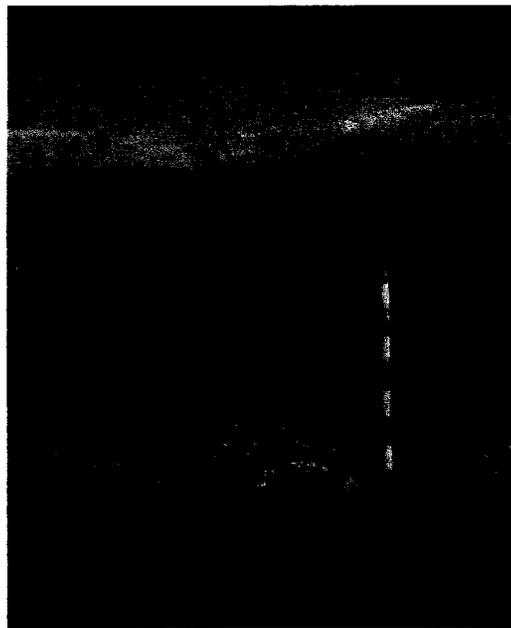


Figura 32. Fotografía del Perfil 15 – Henares.

PERFIL 16 – Almadén

- **Número del perfil:** 16
- **Nombre del suelo:** Almadén
- **Clasificación:**
 - FAO: Acrisol cromico
 - USDA: Rhodoxeralf distrito
- **Ubicación:** Margen izquierda de la carretera de Fontanosas a Abenójar Km 32,300 (CR-424). A 300 m del puente del río Quejigares (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 38° 45' 48" N 04° 32' 02" W
- **Altitud:** 562 m
- **Posición fisiográfica:** Ladera escarpada
- **Topografía terreno circundante:** Montañoso
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 4
- **Vegetación:** Bosque degradado, encinas y jaras
- **Clima:** Mediterráneo
- **Material originario:** Coluvión de cuarcitas y pizarras
- **Drenaje:** Clase 1
- **Condiciones de humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 2
- **Evidencia de erosión:** La derivada de ladera
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-10	Muestra 16-1. Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR6/6 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme y muy duro. Sin cutanes. Frecuentes raíces gruesas y medianas y pocas finas. Frecuentes poros. Pedregosidad gruesa del 10% y fina del 20%. Límite gradual y plano.
Bw	10-45	Muestra 16-2. Color 7.5YR5/6 (húmedo) y 7.5YR6/8 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Adherente, plástico, muy friable y muy duro. Escasos cutanes. Sin poros. Raíces de abundancia y tipo similares al anterior. Pedregosidad igual al anterior. Límite neto y ondulado.
2Bt	45-93	Muestra 16-3. Color 10R5/8 (húmedo) y 2.5YR5/8 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. Muy adherente, muy plástico, friable y duro. Espesos y continuos cutanes. Pocos poros. Escasas raíces gruesas. Pedregosidad 15% de cantos gruesos de cuarcitas.
2Btg	> 93	Horizonte arcilloso con signos patentes de gleyzación.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
16-1	6.6	5.4	0.05	2.2	0.16	14.0	0.0	0.0	1.5	27	150	41.6	1.5
16-2	6.4	4.8	0.03	1.2	0.12	10.0	0.0	0.0	1.5	16	115	36.6	1.0
16-3	5.8	3.9	0.03										

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
16-1						64.7	17.7	17.6	F-Ar	
16-2	27.5	1.0	0.4	6.9	3.3	62.7	17.7	19.6	F-Ar	
16-3						47.7	8.7	43.6	a-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
16-1	11.3	27.5	22.8	22.5	15.9	-	-	-	0.5
16-2	5.8	30.9	21.9	23.1	18.3	-	-	-	0.5
16-3	1.7	33.8	21.8	21.2	21.5	-	-	-	

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
16-1	23.6	12.2	11.4	2.6	0.50	2.2	1.7	22.5	93
16-2						2.2	1.9	12.0	
16-3						2.3	1.8	24.1	



Figura 33. Fotografía del Perfil 16 – Almadén.

PERFIL 17 – Daimiel

- **Número del perfil:** 17
- **Nombre del suelo:** Daimiel
- **Clasificación:**
 - FAO: Gleysol móllico
 - USDA: Fluvaquent móllico
- **Ubicación:** Junto al mirador Isla del Pan.(Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 39° 08'12"N 03°42'19"W
- **Altitud:** 672 m
- **Posición fisiográfica:** Depresión endorreica
- **Topografía terreno circundante:** Plano
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente::** Clase 1
- **Vegetación:** Higrofila y salina como Mercurialis, Tarays, Sosa, Limonium y Albardín, si bien en las zonas más húmedas domina masiega, carrizo y enneas.
- **Clima:** Régimen de humedad aquíco
- **Material originario:** Sedimentos fluviales
- **Drenaje:** Clase 0
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Cercano
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Escasa
- **Presencia de sales o álcalis:** Si
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah1	0-32	Muestra 17-1. Color 10YR3/2 (húmedo) y 10YR4/2 (seco). Estructura moderada, migajosa gruesa. No adherente, no plástico, muy friable y blando. Sin cutanes. Abundantes raíces finas y muy finas. Muchos poros. Pedregosidad 2%. Límite difuso.
Ah2	32-77	Muestra 17-2. Color 10YR3/3 (húmedo) y 10YR3/3 (seco). Estructura moderada, migajosa gruesa. No adherente, no plástico, muy friable y blando. Sin cutanes. Frecuentes raíces finas y muy finas. Muchos poros. Pedregosidad 2%. Límite difuso.
Cg	> 77	No se tomó muestra

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
17-1	8.1	7.4	0.20	6.0	0.60	10.0	24.1	12.0	2.5	64	510	34.9	132.5
17-2	8.5	7.7	0.14	2.4	0.24	10.0	22.1	24.0	1.5	43	470	14.8	78.0

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
17-1						82.7	10.7	6.6	F-Ar	
17-2	26.5	1.0	1.1	44.0	3.5	100	74.7	14.7	10.6	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
17-1	14.8	4.5	13.9	41.5	25.3	-	-	-	0
17-2	1.8	4.7	11.2	40.1	42.2	-	-	-	0

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
17-2									



Figura34. Fotografía del Perfil 17 – Tablas de Daimiel.

PERFIL 18 – Huete

- **Número del perfil:** 18
- **Nombre del suelo:** Huete
- **Clasificación:**
 - FAO: Cambisol calcárico
 - USDA: Haploxerept típico
- **Ubicación:** Camino que sale de la carretera de Huete a Priego CM-310 ≈ Km 3, cerca del Río Mayor (Cuenca)
- **Coordenadas:** 02°41'16"WO/40°09'51"N
- **Altitud:** 767 m
- **Posición fisiográfica:** Depresión
- **Topografía terreno circundante:** Terreno colinado
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Cultivo de secano
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos del Oligoceno
- **Drenaje:** Moderadamente bien drenado
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Si
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa, derivada del cultivo

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-8	Muestra 18-1. Color 10YR4/4 (húmedo) y 10YR5/6 (seco). Estructura moderada, en bloques subangulares finos. No adherente, no plástico, firme y duro. Abundantes y frecuentes raíces finas y medianas. Muy poroso. Pedregosidad 2%. Limite difuso y regular.
Bw1	8-68	Muestra 18-2. Color 10YR5/6 (húmedo) y 10YR5/8 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa, no adherente, ligeramente plástico, firme y muy duro. Frecuentes raíces finas. Frecuentes poros. Pedregosidad 1%. Limite difuso.
Bw2	68-97	Muestra 18-3. Color (húmedo) y 10YR5/8 (seco). Presenta características similares al anterior con ligera tendencia a la plasticidad.
C	> 97	No se tomó muestra. Color 10YR6/6 (seco). Presenta también características similares a los anteriores pero con mucha mayor plasticidad y con ligera acumulación de carbonatos. No presenta raíces. Tendencia al abigarramiento.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
18-1	8.4	7.8	0.19	0.8	0.09	8.9	37.9	14.0	1.0	30	380	13.8	8.5
18-2	8.4	7.9	0.20	0.9	0.11	8.3	39.9	13.0	2.0	11	410	13.8	2.5
18-3	8.1	7.9	0.45				46.3						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
18-1						61.6	20.4	18.0	F-Ar	
18-2	17.0	1.0	0.3	36.7	1.6	100	64.0	20.4	15.6	F-Ar
18-3						58.7	21.6	19.7	F-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
18-1	2.0	2.1	5.8	35.0	55.1	26	73	1	1
18-2	2.7	1.9	6.4	39.5	49.6	17	83	0	1
18-3	0.3	2.3	10.5	28.0	58.9	-	-	-	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
18-2						2.3	1.7	25.0	
18-3						2.2	1.6	28.8	



Figura 35. Fotografía del Perfil 18 – Huete.

PERFIL 19 – Cañaveras

- **Número del perfil:** 19
- **Nombre del suelo:** Cañaveras
- **Clasificación:**
 - FAO: Solonchak háplico
 - USDA: Haplosalids típico
- **Ubicación:** Junto al cauce del riachuelo que circula paralelo a la carretera CM 310 - Km 127 entre Gascueña y Cañaveras (Cuenca)
- **Coordenadas:** 02°28'22"WO/40°18'48"N
- **Altitud:** 871 m
- **Posición fisiográfica:** Colina
- **Topografía terreno circundante:** Superficie colinada de yesos
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 3
- **Vegetación:** Especies aromáticas: tomillo, esparto y especies propias de las superficies yesíferas
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Yesos y margas yesíferas
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 2
- **Evidencia de erosión:** Si, laminar y en cárcavas
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-17	Muestra 19-1. Color (húmedo) y 2.5Y7/2 (seco). Estructura débil, migajosa y fina. No adherente, no plástico, muy friable y blando. Abundantes raíces finas y medianas. Frecuentes poros. Pedregosidad 1%. Límite gradual y plano.
C1	17-30	Muestra 19-2. Color (húmedo) y 5Y8/1 (seco). Estructura débil en bloques angulares mediana. No adherente, no plástico, friable y blando. Muy pocas raíces. Poco poroso. Pedregosidad 1%. Límite difuso e irregular.
C2	> 30	Muestra 19-3. Color (húmedo) y 5Y8/1 (seco). Presenta características similares al anterior salvo una estructura más desarrollada.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E. (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	CaSO ₄ (%)	Elementos aimila. (mg/100g)				
										Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
19-1	7.9	7.9	2.13	1.8	0.13	13.6	32.1	27.4	7.1	1.5	5	2500	1.1	3.5
19-2	8	8.1	2.05	0.4	0.02	18.5	15.6	12.5	8.9	2.0	3	2450	2.1	1.0
19-3	8.1	8.1	2.04					21.2						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
19-1							60.7	33.6	5.7	F-Ar
19-2	3.7	1.0	0.1	184.5	0.2	100	46.7	47.7	5.6	F
19-3							46.7	47.7	5.6	F

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
19-1	0.0	1.6	9.1	44.8	44.5	-	-	-	0
19-2	0.0	2.2	17.3	48.0	32.5	-	-	-	0
19-3	0.0	1.1	15.9	41.0	42.0	-	-	-	0

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
19-1	52	24	28	25.7	0.40	1.9	1.0	47.9	62
19-2						2.0	1.1	43.4	
19-3						1.9	1.1	44.6	



Figura 36. Fotografía del Perfil 19 – Cañaveras.

PERFIL 20 – La Ventosa

- **Número del perfil:** 20
- **Nombre del suelo:** Noheda
- **Clasificación:**
 - FAO: Luvisol Crómico
 - USDA: Rhodoxeralf típico
- **Ubicación:** Camino que sale a la izquierda de la carretera de Cuenca a Guadalajara, N-320, Km 159, entre Villar de Domingo García y Noheda (Cuenca)
- **Coordenadas:** 02°16'29''W/40°11'22''N
- **Altitud:** 1027 m
- **Posición fisiográfica:** Colina de la Alcarria
- **Topografía terreno circundante:** Colinada
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 3
- **Vegetación:** Natural: enebros, encinas, tomillo, romero
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos coluvionales oligocénicos
- **Drenaje:** Clase 3
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Sí, en cárcavas
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** No

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-6	Muestra 20-1. Color 5YR3/3 (húmedo) y 5YR3/3 (seco). Estructura moderada a débil, migajosa y fina. No adherente, no plástico, friable y blando. Abundantes raíces de todos los tamaños. Frecuentes poros. Pedregosidad 1%. Límite gradual e irregular.
Bt	6-45	Muestra 20-2. Color 5YR3/4 (húmedo) y 5YR4/6 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Ligeramente adherente, muy plástico, firme y ligeramente duro. Cutanes zonales. Frecuentes raíces medianas y finas. Muy poroso. Pedregosidad 15%. Límite gradual.
2C	> 45	Muestra 20-3. Color 2.5YR3/6 (húmedo) y 2.5YR4/6 (seco). Presenta características similares al anterior con abundantes cantos, aproximadamente 40%. Sin apenas raíces y muy poroso.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E. (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
20-1	8.1	7.5	0.21	1.6	0.12	13.4	27.1	8.0	1.5	54	569	14.7	2.5
20-2	8.4	7.5	0.16	1.0	0.09	11.1	26.6	8.0	1.0	34	560	13.6	2.0
20-3	8.5	7.5	0.16				34.4						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
20-1						64.7	21.7	13.6	F-Ar	
20-2	32.1	1.3	1.0	52.0	1.7	100	68.7	11.6	19.7	F-Ar
20-3						65.7	13.7	20.6	F-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
20-1	6.5	7.4	20.2	35.3	30.5	3	96	1	0.5
20-2	7.0	8.4	14.9	37.2	32.5	5	95	-	0.5
20-3	3.2	16.8	17.9	34.5	27.6	11	89	-	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
20-1	26.5	15.8	10.7	24.0	0.20	2.0	1.5	25.9	45
20-2						2.1	1.8	16.0	
20-3						2.2	2.0	8.2	



Figura 37. Fotografía del Perfil 20 – La Ventosa.

PERFIL 21 – Villar del Horno

- **Número del perfil:** 21
- **Nombre del suelo:** Villar del Horno
- **Clasificación:**
 FAO: Luvisol Háplico
 USDA: Haploxeralf típico
- **Ubicación:** A-40 de Tarancón a Cuenca Salida Villar del Horno para coger via de servicio y en km 150 antes STOP coger un camino a la derecha (Cuenca)
- **Coordenadas:** 02°27'12"W/40°03'25"N
- **Altitud:** 961 m
- **Posición fisiográfica:** Ladera de colina de la Alcarria
- **Topografía terreno circundante:** Colinada
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 3
- **Vegetación:** Autóctona: enebros, tomillo, romero y menos natural: pino de repoblación
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos margosos (Mioceno)
- **Drenaje:** Clase 1
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 1
- **Evidencia de erosión:** Si, en cárcavas
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-18	Muestra 21-1. Color 7.5YR4/5 (húmedo) y 7.5YR5/6 (seco). Estructura moderada, migajosa mediana. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y duro. Abundantes raíces de todos los tamaños. Muchos poros. Pedregosidad 10%. Límite gradual.
Bt1	18-55	Muestra 21-2. Color 7.5YR4/6 (húmedo) y 7.5YR5/6 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. Adherente, plástico, friable y duro. Cutanes zonales. Frecuentes raíces medianas y finas. Poco poroso. Pedregosidad 3%. Límite neto y ondulado.
2Bt2	55-108	Muestra 21-3. Color 2.5YR3/4 (húmedo) y 5YR5/6 (seco). Estructura fuerte en bloques subangulares gruesa. Muy adherente, muy plástico, friable y duro. Cutanes espesos. Escasas raíces. Sin poros. Pedregosidad 1%.
2C	>108	Marga rojiza

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
21-1	8.3	7.6	0.18	1.7	0.14	12.0	41.3	8.0	1.0	34	460	24.1	2.5
21-2	8.5	7.7	0.13	0.5	0.04	12.5	41.8	26.0	1.0	24	460	25.8	2.0
21-3	8.6	7.5	0.16				51.2						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
21-1						60.3	20.4	19.3	F-Ar	
21-2	21.5	1.1	0.6	39.5	2.8	100	59.1	16.6	24.3	F-a-Ar
21-3						58.3	16.4	25.3	F-a-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
21-1	5.3	7.8	14.7	34.6	37.8	5	94	1	0.5
21-2	0.5	4.5	10.8	44.0	40.3	11	89	0	0.5
21-3	0.0	9.2	16.2	34.7	39.9	8	91	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
21-1	20.9	12.3	8.6	21.4	0.09	2.1	1.4	34.1	55
21-2						2.2	1.7	22.4	
21-3						2.3	1.8	22.3	



Figura 38. Fotografía del Perfil 21 – La Ventosa.

PERFIL 22 – Alcudia

- **Número del perfil:** 22
- **Nombre del suelo:** Alcudia
- **Clasificación:**
 - FAO: Leptosol dístico
 - USDA: Xerorthent lítico
- **Ubicación:** Margen izquierda de la carretera cruza Valle de Alcudia (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 38°36'04''N/ 04°21'21''W
- **Altitud:** 723 m
- **Posición fisiográfica:** Fondo de valle de Alcudia
- **Topografía terreno circundante:** Ondulada
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Pastizal
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Pizarras
- **Drenaje:** Clase 4
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 1
- **Evidencia de erosión:** Si, escasa
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-12	Muestra 22-1. Color (húmedo) y (seco). Estructura moderada en bloques subangulares mediana. No adherente, no plástico, friable y blando. Abundantes raíces finas y medianas. Muchos poros. Pedregosidad 7%. Límite gradual e irregular.
C	12-35	Muestra 22-2. Color 10YR4/6 (húmedo) y 10YR4/4 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. No adherente, no plástico, friable y ligeramente duro. Pocas raíces finas. Frecuentes poros. Pedregosidad 40%. Límite gradual e irregular. Mucha actividad biológica.
R	> 35	Pizarra

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
22-1	6.4	6.2	0.18	1.6	0.16	9.8	0.0	0.0	2.5	11	118	18.6	1.0
22-2	5.4	4.3	0.04	0.8	0.09	9.0	0.0	0.0	2.0	27	460	30.4	33.5

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
22-1							68.7	18.0	13.3	F-Ar
22-2	21.3	1.2	0.3	4.5	1.3	34.8	69.1	12.6	18.3	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmeclita	
22-1	3.5	16.4	18.9	38.9	22.4	13	85	2	0
22-2	0.1	12.1	17.4	40.8	29.7	17	81	2	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
22-2						2.3	1.7	23.6	

PERFIL 23 – La Galiana

- **Número del perfil:** 23
- **Nombre del suelo:** Finca La Galiana
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol Pétrico
 - USDA: Calcixerept petrocálcico
- **Ubicación:** Finca La Galiana (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 38°58'79"N /04°02'74"W
- **Altitud:** 599 m
- **Posición fisiográfica:** Pendiente cóncava en el valle
- **Topografía terreno circundante:** Ondulada
- **Microtopografía :** Artificial
- **Pendiente:** Clase 2
- **Vegetación:** Erial
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Material volcánico sedimentario
- **Drenaje:** Clase 2
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 0
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** Si, hídrica superficial
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Si

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-8	Muestra 23-1. Color 7.5YR4/6 (húmedo) y 7.5YR4/4 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa con tendencia a migajosa. No adherente, no plástico, muy friable y ligeramente duro. Abundantes raíces finas. Abundantes poros finos. Pedregosidad 10%. Límite gradual y ondulado.
Bw	8-46	Muestra 23-2. Color 7.5YR4/4 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. Ligeramente adherente, no plástico, muy friable y ligeramente duro. Pocas raíces finas. Frecuentes poros. Pedregosidad 2%. Límite neto y ondulado. Mucha actividad biológica.
Ckm	> 46	Muestra 23-3. Color 7.5YR6/4 (seco) y color de los carbonatos 7.5YR8/2 (seco). Horizonte sin raíces. Poco poroso. Constituido por masas de diferente concentración en carbonatos y grado de cementación.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
23-1	8.2	7.5	0.18	1.8	0.14	12.6	41.3	12.5	1.0	51	475	42.4	25.0
23-2	8.3	7.4	0.17	1.4	0.11	12.5	42.3	11.5	2.5	40	490	41.7	33.5
23-3	8.3	8	0.71				78.7						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
23-1						59.1	29.6	11.3	F-Ar	
23-2	36.0	1.2	1.1	41.9	5.0	100	58.7	28.0	13.3	F-Ar
23-3						61.1	23.6	15.3	F-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmeclita	
23-1	1.2	11.5	12.9	30.3	44.1	15	74	11	0.5
23-2	2.6	11.8	14.1	27.1	44.5	20	80	0	0.5
23-3	0.5	13.3	26.9	36.6	22.7	29	70	1	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
23-2						2.2	1.5	34.3	
23-3						2.3	1.5	34.7	

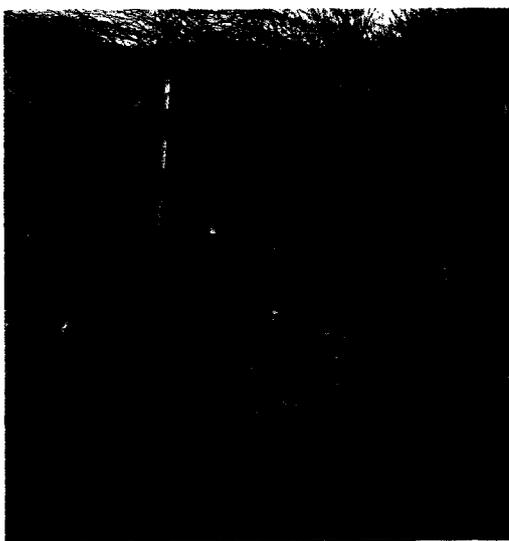


Figura 39. Fotografía del Perfil 23 – La Galiana.

PERFIL 24 – Balazote

- **Número del perfil:** 24
- **Nombre del suelo:** Balazote
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol haplico
 - USDA: Calcixerept típico
- **Ubicación:** Carretera N-322, Km 232, entre Albacete y Balazote. (Albacete)
- **Coordenadas:** 38°54'07" / 002°05'35"
- **Altitud:** 735 m
- **Posición fisiográfica:** superficie plana
- **Topografía del terreno circundante:** plano o casi plano
- **Pendiente:** Clase 1
- **Vegetación:** cultivo de secano
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos carbonáticos
- **Drenaje:** Clase 1
- **Humedad del perfil:** Seco.
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 1
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 0
- **Evidencia de erosión:** hídrica laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Cultivo

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Apk	0-38	Muestra 24-1. Color 10YRY4/3 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares fina. No adherente, no plástico, friable en húmedo y duro en seco. Muchos poros. Pedregosidad del 40%. Presencia frecuente de raíces finas y muy finas. Límite neto e interrumpido
Ckm	> 38	Muestra 24-2. Color 10YR4/4 (seco) Similar al horizonte anterior con estructura más fuerte y mayor grado de cementación. Sin raíces y con abundantes piedras (50%). Este horizonte alcanza hasta los 2,10 m de profundidad.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
24-1	8.0	7.6	0.16	1.0	0.07	14.0	66.9	11.5	1.5	28	415	17.7	17.5
24-2	8.4	7.9	0.13	0.6	0.06	10.5	65.5	8.0	1.5	15	420	25.7	9.5

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
24-1							58	27	15	F-Ar
24-2	19.3	1.2	0.4	41.3	3.6	100	67	13	19	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
24-1	0.3	9.5	23.2	41.2	25.8				0.5
24-2	0.1	9.4	14.1	42.4	34				0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
24-2						2.3	1.7	27.7	

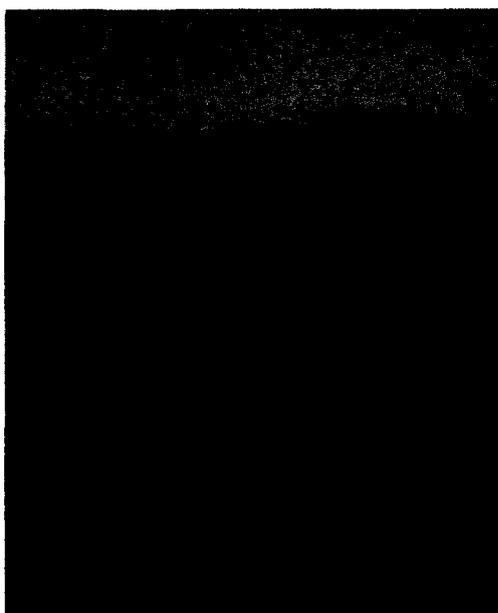


Figura 40. Fotografía del Perfil 24 – Balazote.

PERFIL 25 – Manchuela de Cuenca

- **Número del perfil:** 25
- **Nombre del suelo:** Manchuela de Cuenca
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol luvico
 - USDA: Rhodoxeraf petrocálcico
- **Ubicación:** Carretera de La Roda a Pozo Amargo (Cuenca)
- **Coordenadas:** X=562600 Y= 4354500 Huso 30
- **Forma del terreno:** Plano
- **Posición fisiográfica:** Intermedia
- **Topografía del terreno circundante:** Llanura aluvial
- **Pendiente:** LLano
- **Vegetación:** Sin vegetación
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Arenas, gravas, arcillas y cantos del sistema Aluvial del río Júcar.
- **Drenaje:** C4
- **Humedad del perfil:** Ligeramente húmeda
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** C1
- **Clase de afloramiento rocoso:** C0
- **Evidencia de erosión:** No
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Viñedo en vaso (secano)

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-35	Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR5/4 (seco). Estructura granular, fina, débil. Blando en seco, muy friable en húmedo, no adherente, no plástico en mojado. Muy pocos poros finos de tipo vesicular. Abundantes elementos gruesos de tamaño gravas, redondeados, de naturaleza silícea, meteorizados. No calcáreo. Comunes raíces finas y muy finas. Límite neto y plano.
2Bt	35-75	Color 2.5YR3/6 (húmedo) y 2.5Y4/6 (seco). Estructura en bloques angulares gruesa y moderada. Muy duro en seco, firme en húmedo, adherente y plástico en mojado. Pocos poros finos de tipo intersticial. Abundantes cutanes visibles en las caras de los agregados y junto a los fragmentos gruesos. Pocos elementos gruesos de tamaño grava, meteorizados, redondeados y de naturaleza silícea. Comunes raíces finas y medianas. No calcáreo. Límite neto y plano.
2Ck/2Ckm	> 75	Color 7.5YR6/8 (húmedo) y 7.5YR6/6 (seco). Estructura masiva. Muy duro en seco, firme en húmedo, ligeramente adherente y no plástico en mojado. Comunes elementos gruesos de tamaño gravas silíceas y carbonatos meteorizados. Cementación discontinua laminar por encostramiento calizo. Pocos nódulos blancos de carbonatos semiduros. Muy pocas raíces finas. Fuertemente calcáreo.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
25-1	8.3	7.8	0.22	0.4	0.05	8.0	13.5	3.1	9.2	15.6	42	6.1	2.5
25-2	7.9	7.2	0.24	0.2	0.03	6.7	4.8	2.4	9.2	31.2	222	12.2	1.6
25-3	8.7	7.6	0.31	0.1	0.03	3.3	68.9	15.7	11.5	11.7	288	4.9	1.8

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
25-1	4.2	0.5	0.4	2.8	0.5	100	80	16	4.0	Ar-F
25-2	24.0	0.4	0.8	21.1	1.7	100	44.2	0	55.8	a-Ar
25-3	5.7	0.6	0.3	4.4	0.5	100	72.1	12	16	F-Ar

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
25-1									

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
25-1	0.0	5.8	15.5	51.3	27.4				45



Figura 41. Fotografía del Perfil 25 – Manchuela de Cuenca.

PERFIL 26 – Las Tiasas

- **Número del perfil:** 26
- **Nombre del suelo:** Las Tiasas
- **Clasificación:**
 FAO: Calcisol petrico
 USDA: Calcixerept petrocalcico
- **Ubicación:** Carretera de la Gineta a Barrax, 9,5 km a la izquierda (Albacete).
- **Coordenadas:** X=578300Y= 4323700HUSO 30
- **Forma del terreno:** Llanura
- **Posición fisiográfica:** Intermedia
- **Topografía del terreno circundante:** Planicie
- **Pendiente:** Llano
- **Vegetación:** Restos de maíz
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Calizas detríticas (Terciario Superior)
- **Drenaje:** C4
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** C3
- **Clase de afloramiento rocoso:** C0
- **Evidencia de erosión:** No
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Uso agrícola de regadío

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-15	Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR6/4 (seco). Estructura en bloques subangulares, de mediana a fina, débil. Ligeramente plástico y adherente. Poros frecuentes, finos, discontinuos y caóticos. Muy pocos elementos gruesos de tamaño grava, angulares y meteorizadas. Calcáreos. Muy pocas raíces muy finas, finas y gruesas. Límite gradual y ondulado.
Ap2	15-38	Color 7.5YR 4/4 (húmedo) y 7.5YR6/4 (seco). Estructura en bloques subangulares muy gruesa, moderada Plástico y adherente en mojado y firme en húmedo. Poros frecuentes, gruesos y continuos. Muy pocos elementos gruesos. Calcáreos. Muy pocas raíces finas. Límite abrupto y ondulado.
Bk	38-63	Color 7.5YR5/6 (húmedo) y 7.5YR7/6 (seco). Estructura en bloques subangulares, de mediana a fina, débil. Firme en húmedo. Débilmente cementado. Pocos poros, micro y caóticos. Abundantes elementos gruesos de tamaño piedra, redondeados, fuertemente meteorizados, calizos. Frecuentes nódulos, pequeños, duros, esféricos e irregulares, calizos. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces. Límite brusco y plano.
2Cmk	63-67	Costra caliza que se rompe bajo presión, con una fina película laminar superior.
2Bk	67-96	Color 7.5YR6/6 (húmedo) y 7.5YR8/6 (seco). Estructura en bloques angulares de mediana a gruesa, moderada. Firme en húmedo. De débil a moderadamente cementado. Frecuentes elementos gruesos, calizos. Pocos nódulos pequeños y grandes, duros, esféricas e irregulares, calizos. Calcáreos. Límite gradual (brusco e interrumpido en parte del perfil).
2R	96-120	Roca caliza.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
26-1	8.1	7.6	0.3	0.9	0.13	6.9	26.4	2.6	32.2	67.5	366	53.5	5.7
26-2	7.9	7.6	0.5	0.7	0.10	7.0	31.6	4.2	16.1	23.0	410	31.6	6.2
26-3	8.0	7.7	0.4	0.5	0.08	6.3	56.6	9.8	4.6	10.0	354	10.9	3.9

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
26-1	27,8	1,9	0,2	19,7	5,5	98.3	13.4	48.9	37.7	F-a-L
26-2	26,5	0,8	0,3	22,6	2,7	100	16.7	45.4	37.9	F-a-L
26-3	17,9	0,3	0,2	16,2	1,3	100	22.8	46.4	30.8	F-a

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmeclita	
26-1	0.1	6.5	9.9	22.2	61.3				

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
26-1	27.9	15.2	12.7	11.3	0.02	2.0	1.4	30.0	45
26-2	29.9	22.2	7.7			1.9	1.4	26.3	
26-3						1.9	1.5	21.1	

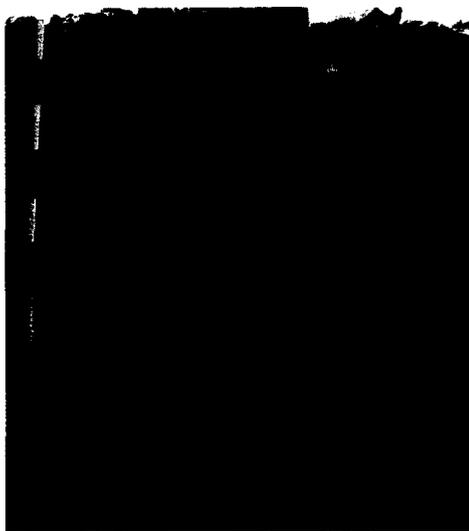


Figura 42. Fotografía del Perfil 26 – Las Tiesas.

PERFIL 27 – Casa del Brocal

- **Número del perfil:** 27
- **Nombre del suelo:** Casa del Brocal
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol petrico
 - USDA: Calcixerept petrocalcico
- **Ubicación:** Carretera de la Gineta a Barrax, aproximadamente a 6,5 km a la derecha (Albacete)
- **Coordenadas:** X= 580500Y= 4327850H 30
- **Forma del terreno:** Plano
- **Posición fisiográfica:** Parte alta
- **Topografía del terreno circundante:** Planicie
- **Pendiente:** Llano
- **Vegetación:** Cultivo cebada
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Calizas margosas (Terciario superior)
- **Drenaje:** C4
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** C3
- **Clase de afloramiento rocoso:** C0
- **Evidencia de erosión:** Laminar
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Agrícola de secano

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-21	Color 7.5YR3/4 (húmedo) y 7.5YR6/4 (seco). Estructura granular, mediana, moderada. Friable en húmedo. Frecuentes poros finos y medianos. Pocos elementos gruesos de tamaño grava, angulares, superficialmente meteorizados. Calcáreo. Raíces comunes medianas y finas. Límite brusco e irregular.
Cmk	21-32	Costra calcárea. Límite brusco e irregular.
2Bk	32-43	Color 7.5YR6/6 (húmedo) y 7.5YR8/4 (seco). Estructura en bloques subangulares, gruesa, débil. Firme en húmedo. Pocos poros muy finos, discontinuos, oblicuos. Pocos elementos gruesos de tamaño pedregoso angular, meteorizados. Calcáreo. Pocas raíces muy finas. Límite brusco e irregular.
2Cmk	43-46	Costra laminar, entre pardo muy pálido y pardo amarillento claro (10YR7/4-6/4).
3Cmk	46-66	Costra calcárea de color 2.5Y8/3, con una costra laminar inferior de unos 4 cm.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E. (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
27-1	8.5	7.5	0.09	0.7	0.10	7.0	30.1	0.6	2.3	34.0	304	9.7	3.4
27-2	8.6	7.8	0.15	0.4	0.09	4.4	69.2	13.1	2.3	6.2	350	8.5	1.4

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
27-1	15.5	0.0	1.0	14.4	0.9	100	34.8	44.5	20.7	F
27-2	11.9	0.0	0.1	10.5	0.7	95.3	29.4	47.7	22.9	F-a

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
27-1	0.2	4.1	7.3	13.9	74.5				
27-2									

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
27-1	21.8	16.7	5.1	9.2	0.03	2.0	1.5	25.0	21
27-2	25.4	14.7	10.7			1.9	1.5	21.1	

PERFIL 28 – Don Martín

- **Número del perfil:** 28
- **Nombre del suelo:** Don Martín
- **Clasificación:**
 - FAO: Calcisol petrico
 - USDA: Calcixerept petrocalcico
- **Ubicación:** Carretera Tomelloso-Villarobledo, aproximadamente a 7 km a la derecha (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** X= 506200Y= 4334400H 30
- **Forma del terreno:** Ligeramente ondulado
- **Posición fisiográfica del lugar:** Parte alta
- **Topografía del terreno circundante:** Llanura
- **Pendiente:** Llano
- **Vegetación:** Barbecho de cereales
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Margas
- **Drenaje:** C 4
- **Humedad del perfil:** Húmedo
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocido
- **Clase de pedregosidad:** C2
- **Clase de afloramiento rocoso:** C0
- **Evidencia de erosión:** No se observa
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Si. Agrícola de secano

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-15	Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR4/6 (seco). Estructura moderada, granular fina. Friable en húmedo. Frecuentes poros muy finos y finos, discontinuos, verticales y horizontales. Elementos gruesos frecuentes de tamaño grava, angulares planos y meteorizados de naturaleza calcárea. Actividad biológica moderada. Raíces comunes finas y muy finas. Límite gradual y plano.
Ap2	15-30	Color 7.5YR4/4 (húmedo) y 7.5YR4/6 (seco). Estructura moderada, granular mediana. Friable en húmedo. Pocos poros discontinuos. Abundantes elementos gruesos de tamaño piedra, angulares, meteorizados de naturaleza calcárea. Fuertemente calcáreo. Moderada actividad biológica. Pocas raíces finas. Límite neto y plano.
Bk	30-41	Color 7.5YR4/6 (húmedo) y 7.5YR4/6 (seco). Estructura débil, granular fina. Suelto a friable en húmedo. Pocos poros finos y discontinuos. Abundantes elementos gruesos de tamaño piedra, meteorizados de naturaleza calcárea (fragmentos de costra caliza). Frecuentes nódulos pequeños, duros e irregulares, de color blanco grisáceo, de naturaleza calcárea. Fuertemente calcáreo. No se observa actividad biológica ni raíces. Límite neto y plano.
Cmk/Ck	41-70	Costra caliza discontinua que se mezcla con una capa de conglomerado fuertemente cementado de tamaño grava y piedra redondeadas. Límite neto y ondulado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
28-1	8.5	7.8	0.19	0.6	0.07	8.6	46.9	4.2	2.4	20.6	286	4.9	6.4
28-2	8.4	7.8	0.22	0.6	0.07	8.6	51.4	4.6	2.4	13.0	316	4.9	4.1
28-3	8.4	7.9	0.19	0.5			74.2	5.4	2.4		250	3.6	

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				v (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
28-1	13.9	0.0	0.5	13.1	0.5	100	50.5	27.3	22.2	F-a-Ar
28-2	12.3	0.0	0.4	13.2	0.5	100	52.2	26.9	20.9	F-a-Ar
28-3	9.0	0.0	0.1	10.5	0.3	100	50.5	29.6	19.9	F

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
28-1	0,0	12.3	17.7	31.8	38.2				

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Tasa Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
28-2	15.2	10.6	4.6			2.1	1.5	28.6	
28-3						1.9	1.5	21.1	

PERFIL 29 – Cabañeros

- **Número del perfil:** 29
- **Nombre del suelo:** Cabañeros
- **Clasificación:**
 - FAO: Acrisol gléico
 - USDA: Haploxerult aquico
- **Ubicación:** Cabañeros, margen izda carretera Retuerta del Bullaque – Horcajo de los Montes, CM-4017, Km 80 (Ciudad Real)
- **Coordenadas:** 02°27'12"W/40°03'25"N
- **Altitud:** 879 m
- **Posición fisiográfica:** Pendiente cóncava
- **Topografía terreno circundante:** Montañosa
- **Microtopografía :** Natural
- **Pendiente:** Clase 3
- **Vegetación:** Muy densa, encina, jara pringosa
- **Clima:** Semiárido
- **Material originario:** Sedimentos poligenicos tipo raña de ladera
- **Drenaje:** Clase 5
- **Humedad del perfil:** Seco
- **Profundidad de la capa freática:** Desconocida
- **Clase de pedregosidad:** Clase 2
- **Clase de afloramiento rocoso:** Clase 2
- **Evidencia de erosión:** Escasa
- **Presencia de sales o álcalis:** No
- **Influencia humana:** Escasa

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-22	Color 7.5YR3/2 (húmedo) y 7.5YR4/2 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares migajosa. Ligeramente adherente, no plástico, muy friable y ligeramente duro. Abundantes raíces. Muchos poros finos. Pedregosidad 20%. Límite gradual y plano.
Bw	22-85	Color 10YR5/6 (húmedo) y 10YR7/3 (seco). Estructura moderada en bloques subangulares gruesa. No adherente, no plástico, muy friable y ligeramente duro. Escasas raíces gruesas. Muy poroso. Pedregosidad 30%. Límite gradual y ondulado.
Btg	85 -124	Color 10YR6/8 en húmedo y 10YR7/6 en seco. Bandeado y laminado. Estructura fuerte laminar. Ligeramente adherente y ligeramente plástico. Sin raíces. Poco poroso. Pedregosidad 30%.
C	>124	Sedimentos poligenicos.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Muestra	pH _{H2O} (1:2.5)	pH _{KCl} (1:2.5)	C.E (dS m ⁻¹)	C.O (%)	N (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	Caliza activa (%)	Elementos asimilables (mg/100g)				
									Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
29-1	6	5.4	0.09	3.7	0.32	11.6	0.0	0	2.1	12	175	13.2	10.0
29-2	5.2	4.1	0.22	0.5	0.05	10.4	0.0	0	2.5	6	11	2.1	30.0
29-3	5.1	3.6	0.04	0.5			0.0						

Muestra	C.I.C (cmol(+)/kg)	Cationes cambio (cmol(+)/kg)				V (%)	Textura (%)			Clase textural (USDA)
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		Arena	Limo	Arcilla	
29-1						86.1	9.6	4.3	Ar-F	
29-2	16.5	1.3	0.2	1.1	0.3	60.1	25.6	14.3	F-Ar	
29-3						58.1	13.6	28.3	F-a-Ar	

Muestra	Fraccionamiento de arenas (%)					Mineralogía arcillas (%)			Índice Floculación
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	Caolinita	Illita	Esmectita	
29-1	2.8	6.1	10.3	29.1	51.7	1	1	-	0
29-2	1.6	22.6	7.1	9.6	59.1	50	34	16	0
29-3	0.7	5.1	4.2	10.1	79.9	19	67	14	0.5

Muestra	C.C (%H)	P.M. (%H)	A.Útil (%)	Humed. (%)	Infiltra. (mm/min)	D.real (g/cm ³)	D.apar. (g/cm ³)	Porosid. (%)	Prof. efectiva (cm)
29-1				4.0	1.74	1.8	1.0	40.2	85
29-2						2.2	1.8	17.4	
29-3						2.3	1.6	30.1	



Figura 43. Fotografía del Perfil 29 – Cabañeros.

4.2. Discusión macromorfológica de los perfiles

El perfil 1 (Villacañas, Toledo) representa los suelos salino-hidromorfos. En La Mancha se distinguen cuatro clases de humedales según su origen: (a) de carácter fluvial como Las Tablas de Daimiel, (b) acumulación de agua en cráteres de antiguos volcanes como la de Alcolea, (c) de origen tectónico como Las Lagunas de Ruidera y (d) las de naturaleza endorreica como las Alcázar de S. Juan o Villacañas. Efectivamente en la región manchega existen suelos vinculados a estos últimos humedales salinos que normalmente suelen limitarse a su entorno inmediato y de forma concéntrica en torno a los vasos lagunares. En estas circunstancias la mayor cantidad de sales en los perfiles superficiales viene determinada tanto por los sedimentos superficiales como infrayacentes, pero también por los movimientos de aguas subsuperficiales y subterráneas. La distribución y extensión de los suelos salinos-hidromorfos en las lagunas manchegas puede representarse por este tipo de suelo descrito.

Se ha realizado un transecto en la laguna de Villacañas, desde la lámina de agua hasta unos cientos de metros de distancia, coincidiendo con el comienzo de los suelos cultivados. Edáficamente desde el borde al exterior se puede establecer la siguiente distribución espacial:

- Salinos-hidromorfos en los bordes de la laguna, saturados en agua, con moderado y a veces alto contenido en materia orgánica; color grisáceo preponderante y, en definitiva, caracteres próximos a los de un sapropel.
- Suelos salinos-con signos de gleización menos patentes menos saturados temporalmente en agua que sustentan una densa vegetación higró-halófito. La proporción y densidad de plantas halófitas disminuyen considerablemente al alejarse de los vasos lagunares. En sus proximidades dominan quenopodiáceas (*Salicornia*, *Microcnemum*, *Suaeda*, *Salsoda*, etc.) y ciperáceas (*Schoenus nigrican*, *Scirpus*, etc.); conforme disminuye la saturación de agua en el suelo y la concentración de sales éstas se combinan con plumbagináceas (*Limonium*) y gramíneas (*Lygeum*, *Elymus*, etc.).
- Suelos pobres en sales (o sin ellas) dedicados a cultivos de cereales con escasa rentabilidad. Algunas parcelas más alejadas de la laguna se aprovechan para cultivos de regadío.

Se han obtenido los principales parámetros físicos y químicos de la superficie de los suelos en este transecto representativo que se resumen en la tabla 14.

Muestra	Color Seco	Color Húmedo	Arena G	Arena F (%)	Limo	Arcilla	pH (1:2.5)	CE (dS/m)	M.O. (%)	CO ₃ Ca (%)
1	2.5 Y 6/2	2.5Y 4/2	3.0	74.1	11.5	11.4	9.1	6.97	2.96	15.2
2	10YR5/3	2.5Y 3/2	7.1	51.2	33.2	8.5	9.0	7.48	1.97	12.3
3	5 YR 4/3	5 YR 4/4	5.1	35.5	52.4	7.4	9.1	8.64	1.46	8.6
4	5 YR 4/4	5 YR 3/3	3.1	33.7	52.0	11.2	9.4	10.03	2.61	8.5
5	5 YR 4/4	5 YR 3/3	3.3	33.3	54.2	9.2	9.3	7.40	2.80	7.7
6	5 YR 4/6	5 YR 3/4	2.6	37.4	50.8	9.2	9.4	7.31	2.77	8.2
7	5 YR 4/6	5 YR 3/4	2.8	32.0	56.9	8.3	9.3	8.22	2.55	6.3
8	2.5YR4/6	2.5YR3/6	2.9	35.0	54.5	7.6	9.3	8.10	1.94	5.4
9	2.5YR4/6	2.5YR3/6	4.1	30.9	60.5	4.3	8.9	3.51	2.23	5.2
10	2.5YR4/8	2.5YR3/6	2.7	28.7	60.0	8.6	9.0	3.35	2.07	5.5
11	2.5YR4/8	2.5YR3/6	4.2	34.6	23.9	37.3	9.1	3.57	1.59	6.8
12	5 YR 5/6	5 YR 4/6	5.9	43.3	20.2	30.6	9.2	3.39	1.34	8.2
13	5 YR 6/6	5 YR 5/6	7.0	43.7	21.5	27.8	9.2	0.26	1.56	8.8
14	5 YR 5/4	5 YR 4/6	8.0	36.6	24.3	31.1	8.7	2.70	1.37	10.7
15	5 YR 5/4	5 YR 4/4	7.0	40.6	20.4	32.0	8.9	0.85	1.65	8.8

Tabla 14. Parámetros físico-químicos de los suelos de la laguna de Villacañas, Toledo.

Las muestras 1 y 2 corresponden a materiales tipo sapropel que, pese a estar embebido en agua, mantiene valores de C.E. muy elevados, característicos de suelos salinos. Las muestras 3 a 8, con pH y C.E., muy altos sólo pueden sustentar plantas halófitas. A partir de la muestra 9 la C.E es menor a 4, no clasificándose los suelos como salinos, admitiendo ciertos usos agrícolas.

Tanto el perfil 2 (Tembleque, Toledo) como los perfiles 18 (Huete, Ceunca), 23 (La Galiana, Ciudad Real), 24 (Balazote, Albacete), 25 (Manchuela de Cuenca, Cuenca), 26 (Las Tiesas, Albacete), 27 (Casa del Brocal, Albacete) y 28 (Don Martín, Ciudad Real) representan los suelos mas extendidos y de mayor uso intensivo agrícola en todo el territorio manchego, razón por la que se han descrito y analizado varios perfiles de suelos. Se trata de suelos de evolución compleja, a veces con escaso desarrollo; otras moderado; e incluso amplio desarrollo edáfico. Así, se presentan con horizontes de diagnóstico ócrico y especialmente cálcico/petrocálcico o propiedades próximas a estos. Otras veces tienen horizontes cámbicos y son muy frecuentes horizontes argílicos. Suelen estar cementados frecuentemente por carbonato cálcico, incluso por una serie de

bandas, en respuesta a sucesivas fases de deposición. Se dedican a viñedo, cereal o bien olivar fundamentalmente, pero a veces si son poco profundos se encuentra bajo vegetación natural; e incluso bajo vegetación forestal antrópica. Normalmente este tipo de suelos se asocian a la topografía, siendo esta quizás su mejor característica, posición que les hace susceptibles de aprovechamiento agrícola.

Los problemas que pueden tener es cierta deficiencia en P, exceso de caliza activa, excesiva pedregosidad y/o profundidad efectiva escasa. El carbonato calcico suele estar presente en todos los horizontes, procedente fundamentalmente del material originario (margas, margocalizas, calizas y en general sedimentos carbonatados de distintas épocas), observándose recarbonataciones secundarias genéticamente a veces claras y a veces muy complejas. El perfil 23 tiene como significativo la naturaleza del material de partida, ya que se trata de material de origen volcánico. De este modo el contenido en P es alto debido probablemente a la retención ejercida por dichos materiales. En el caso del perfil 24 la naturaleza del material de partida son sedimentos fluviales que llevan impresa una elevada pedregosidad sobre todo en subsuperficie. En el perfil 27 y en el 28 la naturaleza de los procesos edáficos es intensa, apareciendo horizontes petrocalcicos. En el perfil 25 también la naturaleza de los procesos edáficos es intensa, apareciendo en este caso horizontes argílicos.

Los **perfiles 3, 4 y 5 (Montiel, Ciudad Real)** se forman a partir de materiales triásicos, (areniscas y margas y yesos rojizos) configurando una secuencia desde la cima de los cerros areniscosos hasta restos de superficies de margas algo cementadas, pasando por glaciares y depresiones de materiales procedentes de ambas formaciones. Un rasgo común es que son de tendencia rojiza, heredada de los materiales de partida. Su fácil erosionabilidad permite su arrastre en forma de sedimentos poco potentes, configurando un paisaje característico con cerros preservados de la erosión por su naturaleza dura, sobre los que permanecen restos de vegetación natural; frente a estos se sitúan materiales más blandos dejando una topografía más plana, con suelos con cultivo generalmente de secano. No suelen ser carbonatados, contienen poca caliza activa y en general tienen moderadas propiedades tanto físicas como químicas para el cultivo. Suelen presentarse como arenosos teñidos de hierro, englobando cantos areniscosos oligotróficos con fácil permeabilidad.

Los **perfiles 6, 7 y 8 (Cozar, Ciudad Real)** forman una secuencia de suelos en una microcuenca carbonática. De la base a la cima la sucesión es perfil 6 - 7 - 8. Se trata de suelos con abundantes carbonatos, parte del cual se encuentra en forma de nódulos. Constituyen formaciones utilizadas agrícolamente si bien no son de gran productividad debido al exceso de carbonato y otra serie de propiedades. A veces presentan cierto endorreísmo en las cotas bajas, de ahí que su utilización sea solo para determinados cultivos. Concretamente esta secuencia de suelos esta siendo sometida a nuevo cultivo de vid con regadío, por lo que será objeto de seguimiento.

Las medidas de pH obtenidas, muestran valores próximos a la neutralidad, como otros muchos suelos de Castilla La Mancha. Adoptando como nuestro el criterio que sugieren Smith y Doran (1996) de que un rango óptimo del pH para el crecimiento de la planta y la actividad microbiana es entre 6 y 7.5, podemos aseverar que todos los suelos estudiados son muy aceptables. La salinidad es baja; Smith y Doran (1996) proponen que una CE entre 0 y 1.5 dS/m es aceptable para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana. Los contenidos en carbonatos son elevados; y aún más lo son los de caliza activa, lo que supone un factor desfavorable para el cultivo. En esta misma tabla se observa que la textura esta dominada por la arena fundamentalmente. Los contenidos obtenidos en nutrientes, indican que estos son excedentarios, siendo la proporción K/Mg > 1, lo que puede definir problemas de antagonismo nutricional.

La materia orgánica esta presente en bajos contenidos. Por último la tasa de infiltración es moderadamente baja, siendo este parámetro variable a escala decamétrica, en función de la naturaleza de los materiales de partida.

Tanto el **perfil 8 (Cozar, Ciudad Real)**, como el **9 (La Solana, Ciudad Real)**, **20 (La Ventosa, Cuenca)**, **21 (Villar del Horno, Alcarria Cuenca)** y el **25 (Manchuela, Cuenca)** representan los abundantes suelos rojos formados sobre una variada gama de posiciones geomorfológicas, tales como glacis, entornos de los montes isla, etc. generados a partir de pizarras y cuarcitas (mas o menos areniscosas) y de los arrastres de ladera de estos mismos materiales, con un carácter a veces pedregoso. Se trata de suelos cuya génesis y propiedades se ven favorecidas por la naturaleza de los materiales de partida y por la topografía. Los procesos de mayor trascendencia son la argilizacion, rubefaccion y también la descarbonatación y acumulación del mismo en horizontes inferiores.

El espesor de este tipo de suelos, (muy común en La Mancha sobre sustratos del paleozoico), es variable dependiendo del grado de erosión y de desintegración-meteorización de los materiales de partida. La estructura de los horizontes argílicos favorece la dinámica del agua y la penetrabilidad de las raíces. En este caso del suelo 8 es ácido, con baja saturación en bases, arcilloso, con abundante caolinita. En el caso del perfil 9 es más básico, carbonatado, rico en bases e incluso con presencia de esmectitas, entre otras propiedades. Todo ello favorece la utilización agrícola de ambos suelos. Esta intensa utilización agrícola la corrobora el hecho de que gran parte de este tipo de suelos tienen influencia antrópica en el territorio manchego. Aunque las posibilidades de utilización de estos suelos son amplias, sin embargo dependen de su posición topográfica y en definitiva de su espesor. Algunos tienen elementos alóctonos incorporados (fragmento de pizarras y cuarcita) que en ocasiones favorecen su utilización al comportarse como aislantes térmicos.

No obstante, alguno de estos suelos tienen una horizonte cálcico o petrocálcico que les proporciona una serie de propiedades que aconsejan su inclusión, no tanto a nivel de clasificación como a nivel de productividad, en el grupo de suelos con estos horizontes (ver discusión de los perfiles 26, 27 o 28).

Ambos suelos 13 y 14 (Alaminos I y II, Guadalajara) representan tanto estadios de formación como de degradación intensos. En efecto la formación de suelos rojos tipo Terra Rossa sobre calizas del paramo, bien de Guadalajara como es el caso, pero también sobre otros paramos de Cuenca, Ciudad Real o Albacete ha debido ser un proceso general e incluso genuino. Partiendo de la disolución de la caliza se ha producido un proceso de argilización, acompañado de rubefacción y con o sin acumulación de carbonatos. Estos procesos que ya han sido expuestos por numerosos investigadores han sufrido con posterioridad amplios procesos de degradación coincidiendo con la destrucción de la vegetación original. Así nos encontramos con suelos prácticamente similares a los originarios o en ocasiones suelos ya muy degradados, donde incluso los horizontes argílicos se han visto prácticamente desmantelados.

El principal obstáculo para el uso de estos suelos es la profundidad, que justamente de manera general es función del grado de degradación a que ha estado sometido el suelo. En ambos suelos, que como puede observarse presentan una clasificación diferente, la falta de profundidad es patente, pero ambos están saturados, son básicos, tienen una aceptable capacidad de intercambio catiónico y, en general con un nivel de fertilidad aceptable,

necesitando en todo caso suplemento en fósforo. Además tienen buenas propiedades hídricas y biológicas, si bien estas últimas comparadas con suelos similares bajo vegetación natural son pereros.

El **perfil 15 (Henares, Guadalajara)**, representa a un variado y amplio conjunto de suelos cuyo denominador común es haberse formado bajo un material de partida de carácter fluvial, es decir son producto del labrado que producen los ríos en las sucesivas fases de encajamiento. La variedad de suelos es efectivamente muy amplia, pues a veces no hay ni siquiera verdadero desarrollo de horizontes edáficos, de tal manera que la impronta de los materiales sedimentarios supera a la edafogénesis. Otras veces aparecen horizontes cámbicos e incluso argílicos. O como en este caso horizontes cálcicos más o menos cementados. La situación de estos suelos es por tanto en valles mas o menos estrechos de ríos y arroyos, que en el caso de ser terrazas bajas van clasificarse de forma muy diferente a si son de terrazas medias o altas. Es decir la clasificación es por tanto muy dispar. Las propiedades tanto químicas como físicas y/o biológicas pueden variar mucho, pero en general tienen unas propiedades físicas (profundidad, textura, permeabilidad etc.) favorables para el cultivo (muchos de ellos se dedican a regadío). Sobre sustrato carbonatado, como es el caso que nos ocupa, tienen propiedades químicas también favorables, con niveles de fertilidad apropiados para los cultivos.

Realmente uno de los problemas que pueden tener es el derivado de la presencia de una capa de gravas en superficie o cerca de la superficie, sobre todo si esta cementada por carbonato cálcico. Si a esto se une un nivel freático cercano a la superficie entonces los efectos desfavorables se incrementan. Este y otro tipo de problemas pueden ser susceptibles de mejoras relativamente fáciles de llevar a cabo. Pero por otra parte son suelos con una fuerte presión antrópica.

El **perfil 17 (Daimiel, Ciudad Real)** se refiere a otra singularidad. Efectivamente, en el marco de la comunidad castellano manchega existen las denominadas "Zonas Húmedas de La Mancha" en las que se pueden incluir decenas de lagunas y otros encharcamientos, algunos de ellos abocados a una inminente desaparición. A grandes rasgos podemos distinguir cuatro clases según su origen: a. Las Tablas de Daimiel de carácter fluvial, originada en la confluencia de dos o más ríos o donde estos ensanchan su cauce. b. Las de Alcázar de San Juan de naturaleza endorreica, en las que el agua, con un alto grado de salinidad se acumula en las depresiones, sin tener relación con ningún curso fluvial. Las Lagunas de Ruidera, de origen tectónico, ya que fueron originadas al producirse un hundimiento de terreno. d. y por último, unas pocas lagunas como la de Alcolea o la de Carboneros se formaron por la acumulación de agua en cráteres de antiguos volcanes.

Las Tablas de Daimiel constituyen un ecosistema singular y privilegiado, con suelos naturalmente también singulares. Estas masas de agua se formaron a raíz de los desbordamientos de los ríos Guadiana y Cigüela en su confluencia, un hecho favorecido por la pequeña pendiente del terreno. Está constituido por una zona húmeda continental con aportes hídricos de aguas subterráneas amplias extensiones de agua con muy poca profundidad, en donde crece una vegetación palustre. El aporte de agua procede de dos ríos de muy diversa naturaleza: de una parte el río Cigüela que, procedente de las parameras de Cabrejas en la serranía conquense, aporta sus aguas salobres; y de otra parte, el río Guadiana, de aguas dulces, que surge de sus ojos a unos quince km al norte del Parque Nacional.

El perfil que aquí se analiza representa justamente el paradigma de estos suelos, de modo que constituye la última representación de los suelos de un ecosistema húmedo característico de la llanura central de la península ibérica.

El **perfil 12 (Mesones, Guadalajara)** representa los suelos sobre las formaciones pliocuaternarias denominadas rañas. Se trata por tanto de un material de partida singular, constituidas por un potente sedimento detrítico areno-arcilloso producido por la erosión de materiales (pizarras, cuarcitas gneises etc) de cotas elevadas. Ocupan superficies planas o casi planas, con formas de erosión en su rebordes algo espectaculares, como son cárcavas, surcos etc. Son suelos cuyas propiedades más frecuentes es que tienen horizontes Bt y rasgos de gleización, son profundos, ricos en arcilla

generalmente no expandible, de carácter ácido, por tanto desaturados. Si están cultivados tienen mucha menos cantidad de materia orgánica que los naturales. Son suelos con intensa actividad química. Los niveles de fertilidad se puede decir que son moderados a bajos; el contenido en fósforo tiende a ser bajo. En todo caso la vocación cerealista es indudable, siendo susceptibles de mejora.

El perfil 16 (Almadén, Ciudad Real) se desarrolla en las condiciones más próximas al medio natural bajo bosque, a veces adhesionado, bajo sustratos ácidos. En efecto en el suroeste de la comunidad castellano manchega domina el estrato cristalino, formado fundamentalmente por materiales del paleozoico, tales como cuarcitas, pizarras, esquistos etc. Que si bien no aparecen en topografía muy abrupta si lo hacen con cierto carácter montañoso. Los suelos son líticos en las cresterias, coincidiendo con zonas de mayor erosión y ausencia de vegetación forestal. En las laderas se generan materiales procedentes de la fisuración y denudación en general de estos materiales, dando lugar a superficies coluviales más o menos tendidas, ligadas a los materiales de partida; generalmente con abundante pedregosidad. Así, se generan suelos con horizontes cámbicos o argílicos que, dependiendo del tipo de roca original, y de los procesos edáficos, pueden llegar a ser rojos. Junto a estos caracteres se pueden ver además rasgos hidromorfos ya que la acumulación de arcilla a veces es intensa.

La dedicación de estos suelos esta estrechamente ligada a la fisografía particular: en las cresterias y zonas de máxima pendiente el suelo esta desnudo y no tiene sino vocación forestal. En laderas con o sin horizontes argílicos la dedicación es forestal o para pastizales intensivos (caso del entorno de Almadén), alternado formas adhesionadas. Y en zonas llanas u onduladas hay cultivos diversos, si bien los pastizales siguen existiendo. Uno de los rasgos fundamentales de estos suelos es su carácter ácido, por lo que el uso puede verse afectado. Por ello, además de las muestras de este perfil se tomaron muestras de suelos similares bajo cultivo de olivar y bajo repoblación con eucaliptos.

El perfil 22 (Alcudia, Ciudad Real) característico de zonas ácidas y escaso desarrollo edáfico, aunque con intenso uso como pastizal, cubre o bien zonas planas de fondo de valle como el que nos ocupa, o bien zonas montañosas. Su carácter ácido, su baja capacidad de cambio, su escasa saturación en bases hacen del mismo un suelo pobre en cuanto a su fertilidad, pero también pobre en cuanto a sus propiedades físicas. De hecho el mayor

problema de estos suelos es su escasa profundidad, de modo que su vocación es forestal o bien pastizal.

El perfil **29 (Cabañeros, Ciudad Real)** representa el extremo evolutivo sobre materiales ácidos. En efecto su pH ácido, su grado de saturación bajo, y otras propiedades denotan un suelo divergente de todos los anteriores. Su vocación es forestal y en posición plana puede utilizarse para secano, aunque sus propiedades sean desfavorables, en cuyo caso se deben enmendar adecuadamente (elevando el pH, añadiendo fertilizantes etc). Finalmente si la capa de agua esta en superficie su uso es aún más restringido.

Realmente este tipo de suelos deben utilizarse para fines forestales o bien ganaderos, ya que los pastos en zonas adhesionadas funcionan bien, de modo que llevando un uso resiliente no deben verse afectados de forma muy negativa.

4.3. Discusión de las propiedades analizadas

La finalidad de este capítulo es el estudio de las tendencias a las que obedecen los diferentes parámetros analizados, diseñando para este fin la siguiente metodología:

1. Primero representaremos los datos en diagramas de caja y bigotes (figura 44). En este gráfico queda representada la mediana, los percentiles 25 y 75, los valores atípicos y extremos, que conjuntamente van a aportar información completa sobre los resultados obtenidos en los horizontes analizados, así como el grado de dispersión de los datos y el grado de asimetría de la distribución (Tukey, 1977).

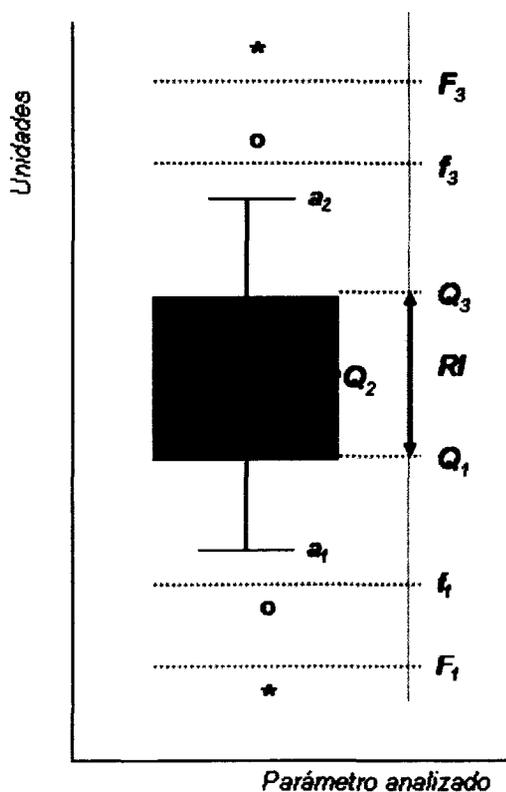


Figura 44. Detalles del diagrama de caja y bigotes.

La figura 44 describe los detalles del diagrama. La caja representa el 50 % de los 32 casos estudiados, donde los límites inferior y superior (Q_1 y Q_3) corresponden al primer y tercer cuartil mientras la línea horizontal en el interior de la caja (Q_2) representa la mediana o segundo cuartil. Los bigotes inferior y superior (a_1 y a_2) representan al valor mínimo y máximo tal que su distancia a los límites inferior y superior respectivamente de la caja sea inferior a una vez el rango intercuartílico. Este rango (RI), definido como la diferencia entre el tercer y primer cuartil ($Q_3 - Q_1$), representado por la altura de la caja, nos va a permitir diferenciar entre separadores interiores (f_1 y f_3) y exteriores (F_1 y F_3) de la forma:

Separadores interiores:	$f_3 = Q_3 + 1.5 RI$
	$f_1 = Q_1 - 1.5 RI$
Separadores exteriores:	$F_3 = Q_3 + 3 RI$
	$F_1 = Q_1 - 3 RI$

El valor de los separadores interiores lo calculamos al sumarle y restarle al primer y tercer cuartil 1.5 veces el rango intercuartílico respectivamente mientras a los exteriores se le suma y resta 3 veces el RI. De este modo los casos que se encuentren entre ambos separadores se consideran casos atípicos (°) mientras si distan más allá de los separadores externos se denominan casos extremos (*), de la forma:

Si $F_1 > x > f_1$ ó $F_3 > x > f_3$	→ casos atípicos (°)
Si $x > F_1$ ó $x > F_3$	→ casos extremos (*),

Este tipo de representación nos proporciona información de la distribución seguida por los resultados de una forma más visual y rápida. De este modo, y como alternativa a la desviación típica, el rango intercuartílico o tamaño de la caja va a ser una medida de la dispersión de los datos.

2. A continuación obtendremos los estadísticos descriptivos junto con los histogramas de frecuencias representando sobre este la curva de la Normal a la que se ajusta la distribución. Para evitar que los datos atípicos y extremos reflejados en el diagrama de cajas distorsionen los valores medios de la población no se han tendido en cuenta, eliminándolos por ello antes de efectuar este paso. Los estadísticos calculados (media, mediana, curtosis, asimetría y percentiles 25, 50 y 75) han sido determinados para cada horizonte por separado con el fin de advertir posibles desviaciones con la profundidad.
3. Por último realizaremos unas pruebas para conocer si las variables determinadas se ajustan o no a una distribución normal. Estas pruebas las realizaremos mediante el SPSS, donde muestra por defecto el estadístico de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933; Smirnov, 1948) con las probabilidades de Lilliefors (Lilliefors, 1967) para contrastar la hipótesis nula de que la muestra procede de una población cuya distribución es normal. Además se calculará el estadístico de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) debido a que el tamaño muestral es menor que 50. Por ello, y tal como afirman Figueras y Gargallo (2003), escogeremos este contraste en caso de que ambos estadísticos discrepen, ya que éste es más conveniente cuando el tamaño de la muestra n está entre 3 y 50, como es nuestro caso.

Para la toma de decisión a la hora de aceptar o rechazar la hipótesis nula de normalidad debemos observar el p -valor (Sig.) Si este nivel de significación es >0.05 , no se podría rechazar la hipótesis nula, en otras palabras, se puede afirmar que la muestra analizada procede de una población con una distribución normal. Por el contrario, si este p -valor asociado al estadístico de contraste es <0.05 , nos indica que la hipótesis nula debe ser rechazada.

Los casos en los que se rechaza la hipótesis de normalidad se debe a que éstos presentan asimetría (positiva o negativa), según se concentren en mayor medida a la izquierda que a la derecha de la media, respectivamente.

4.3.1. pH_{H_2O} , pH_{KCl}

Al representar los datos obtenidos en la figura 45 observamos que en ambos horizontes existen casos extremos representando otro tipo de población que corresponde en este caso a los suelos ácidos (9, 12, 16, 22 y 29) con valores de pH por debajo de la media.

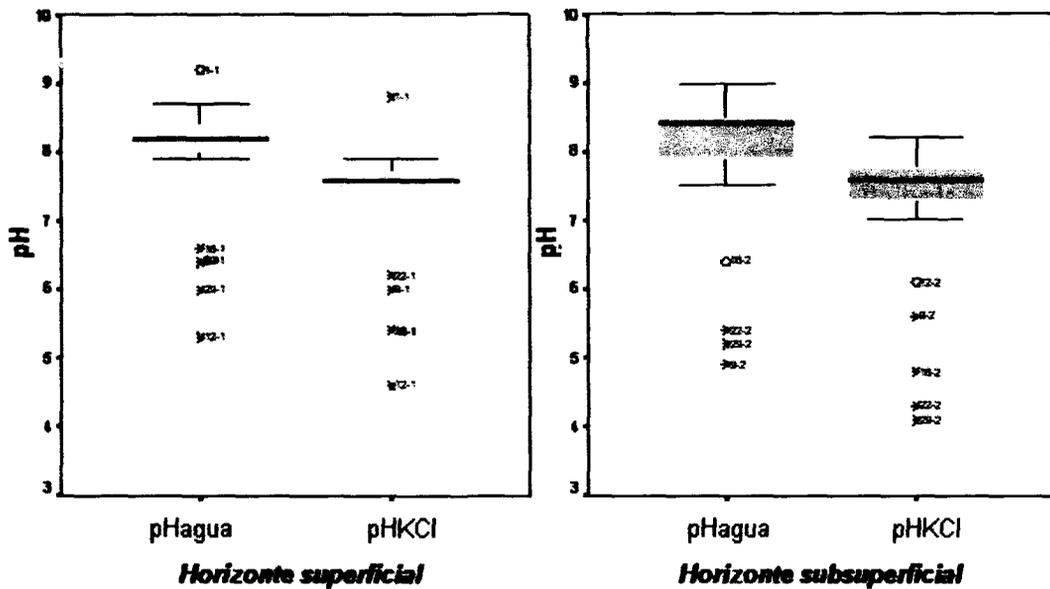


Figura 45. Diagramas de caja y bigotes del pH_{agua} y pH_{KCl} .

Sobre el horizonte superficial se da un valor atípico (1-1), que presenta un valor anómalo de 9.20 en agua y 8.80 en KCl, debido posiblemente a la presencia de Na^+ o Mg^{2+} proveniente de la contaminación de sales producida en la laguna.

Los estadísticos ofrecidos por la tabla 15 confirman la baja dispersión de los datos, así el RI varía entre 0,4 y 0,2, demostrando que la variación de los datos en los perfiles es muy pequeña.

	Horizonte superficial		Horizonte subsuperficial	
	pH H ₂ O	pH KCl	pH H ₂ O	pH KCl
Media	8.3	7.6	8.4	7.6
Mediana	8.3	7.6	8.4	7.7
Desv. Típ.	0.2	0.1	0.3	0.3
Asimetría	-0.1	0.4	-0.1	-0.1
Curtosis	-0.7	-0.6	0.1	0.4
Percentiles	25	8.1	8.2	7.4
	50	8.3	8.4	7.7
	75	8.5	8.5	7.8

Tabla 15. Estadísticos descriptivos del pH_{agua} y pH_{KCl}.

De este modo los horizontes superficiales presentan valores de pH en agua entre 8.1 y 8.5 mientras los más profundos lo hacen entre 8.2 y 8.5. Los valores presentados por este parámetro, representativo de la acidez actual, son sensiblemente mayores a los encontrados en el pH en KCl, asociado a la medida de acidez potencial. El pH en KCl es 0,8 unidades inferior al del pH en agua, estando dentro del rango propuesto por Porta et al. (2003) lo cual se observa claramente en la figura 45.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH agua	0.122	22	0.200 [*]	0.969	22	0.694
pH KCl	0.206	22	0.016	0.922	22	0.084
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH agua	0.197	22	0.025	0.942	22	0.222
pH KCl	0.112	22	0.200 [*]	0.978	22	0.886

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 16. Pruebas de normalidad del pH_{agua} y pH_{KCl}.

Aunque los dos contrastes de normalidad efectuados indican valores diferentes en el caso del pH KCl del horizonte superior y en el pH agua del segundo horizonte, adoptaremos el de Shapiro-Wilk como más representativo ya que es más adecuado a nuestro tamaño muestral. Por ello y tal como muestra la figura 46 podemos afirmar que estos parámetros en ambos horizontes siguen una distribución normal, corroborado por los valores de Sig. < 0.05.

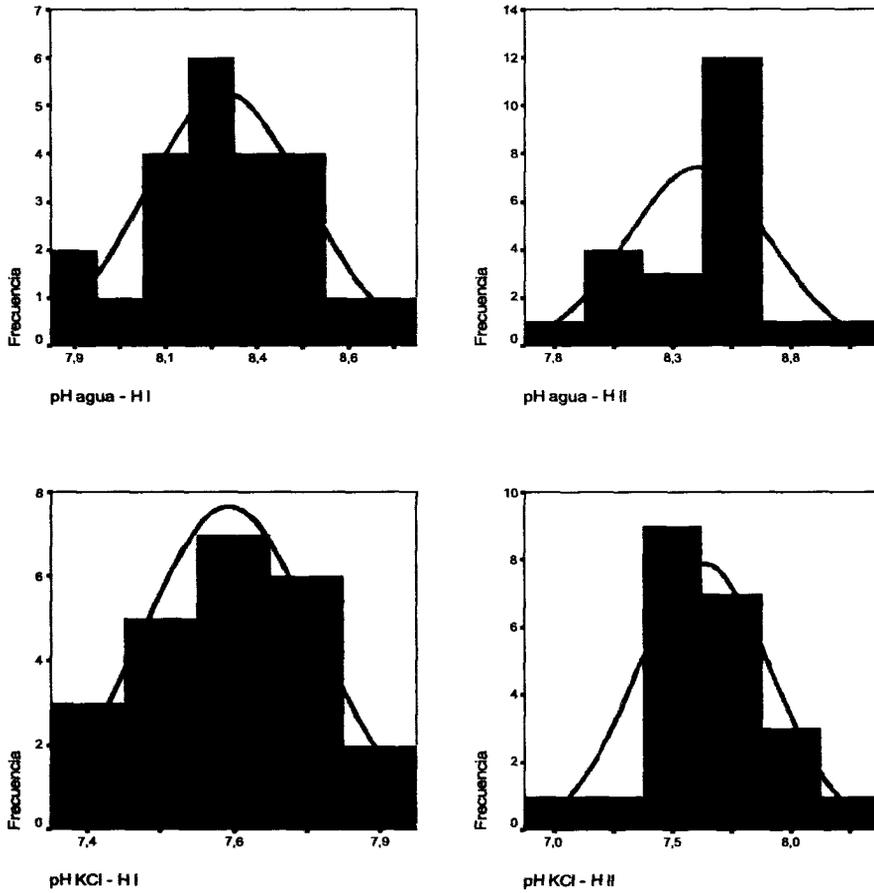


Figura 46. Histogramas de frecuencias del pH_{agua} y pH_{KCl} en horizontes superficiales (HI) y subsuperficiales (H II).

4.3.2. Conductividad eléctrica

Una vez analizados los suelos se observa claramente que la mayoría de los suelos presenta una concentración homogénea y muy baja en sales. Sin embargo, en el diagrama de cajas se distinguen dos excepciones claras o extremos en el horizonte superficial (1-1 y 19-1) y en el subsuperficial (1-2, 2-2, 19-2 y 26-2).

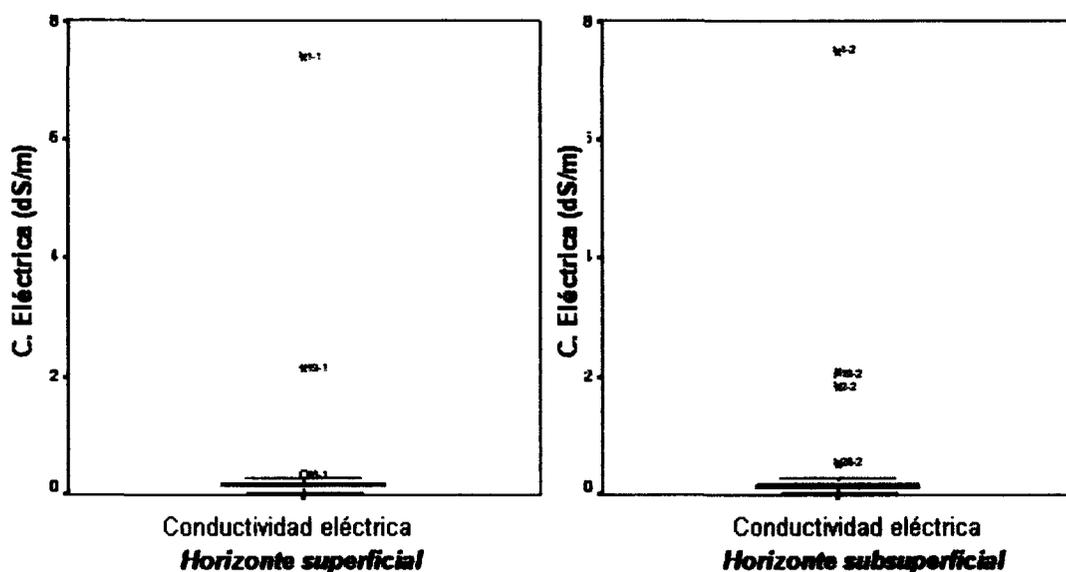


Figura 47. Diagramas de caja y bigotes de la conductividad eléctrica.

Al observar los valores observamos que el perfil 1 se trata de un suelo salino, ya que su valor supera los 4 dS/m, hecho que constata su previa contaminación al ser utilizada como vertedero. Asimismo el perfil 19 también presenta una elevada conductividad debido a su naturaleza yesífera. El perfil 26 sobresale en menor medida mientras la muestra 2-2 posee un valor excepcionalmente alto.

		Horizonte superficial	Horizonte subsuperficial
	Media	0.15	0.15
	Mediana	0.16	0.14
	Desv. típ.	0.06	0.06
	Asimetría	-0.06	0.23
	Curtosis	0.92	0.28
Percentiles	25	0.12	0.11
	50	0.16	0.14
	75	0.19	0.20

Tabla 17. Estadísticos descriptivos de la conductividad eléctrica.

El resto de muestras se encuentran muy agrupadas en torno a valores bajos y muy similares en ambos casos, siendo el RI de 0.07 dS/m en la capa superior mientras el inferior es de 0.09 dS/m.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Conductividad eléctrica	0.141	23	0.200 ^a	0.957	23	0.410
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Conductividad eléctrica	0.115	23	0.200 ^a	0.975	23	0.805

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 18. Pruebas de normalidad de la conductividad eléctrica.

Al analizar tanto la tabla 18 con las pruebas de normalidad con unos niveles de significación muy elevados, así como los histogramas de frecuencias obtenidos, se observa claramente cómo la conductividad eléctrica en ambos horizontes sigue una distribución normal.

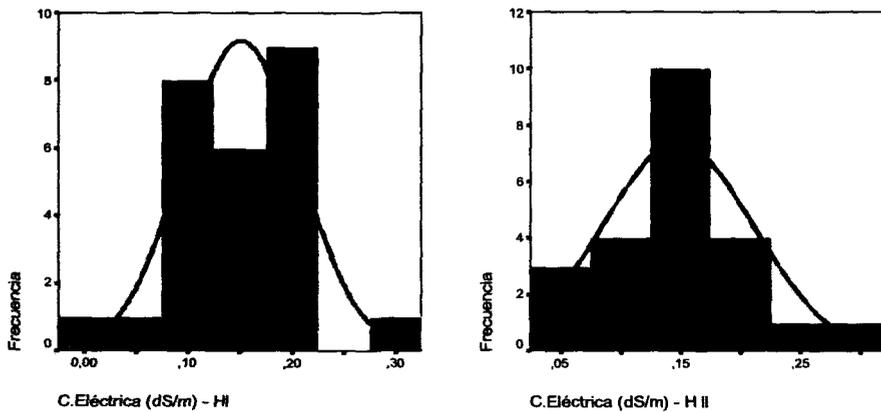


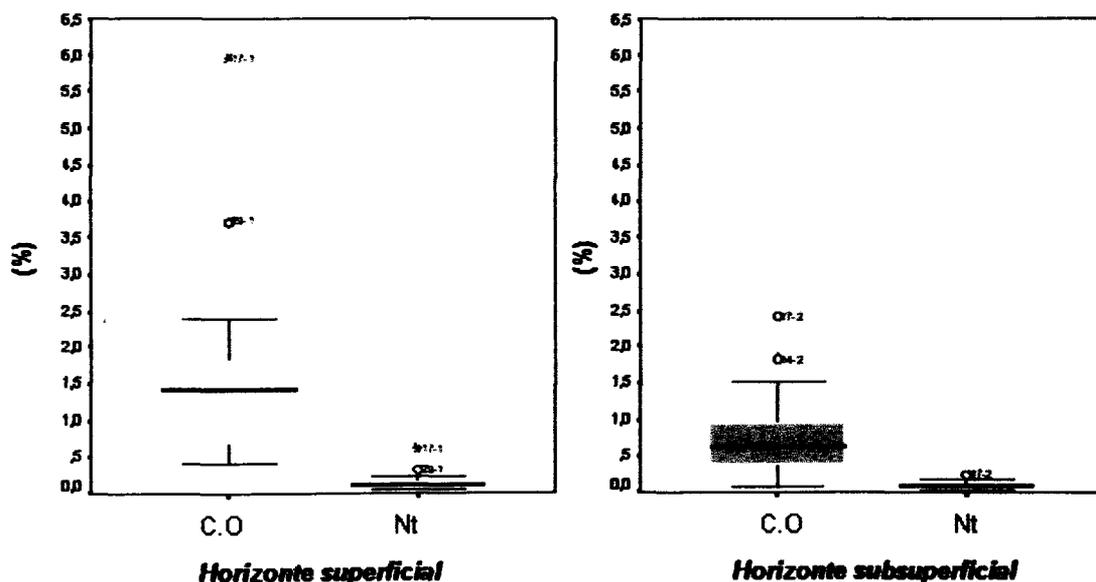
Figura 48. Histogramas de frecuencias de la conductividad eléctrica en horizontes superficiales y subsuperficiales.

4.3.3. C orgánico, N total y Relación C/N

En el horizonte superficial se dan como valores extremos la muestra 17-1, para C y N y como atípico la muestra 29-1. Los altos valores de estas muestras se explican por su ubicación y la gran cobertura vegetal que presentan. Así el perfil 17 situado en las Tablas de Daimiel de tipo móllico presenta el valor más elevado. También la muestra 29, tomada en el Parque Nacional de Cabañeros presenta una gran cobertura vegetal sin ningún tipo de degradación que explica los altos valores encontrados. La relación C/N presenta como valores atípicos la muestra 2-1 y 3-1, cuyos contenidos en C y N son superiores a la media.

En el horizonte subsuperficial aparecen como valores atípicos para el C (14-2 y 17-2), para el N (17-2) y para la relación C/N (19-2). El perfil 19 en este caso cuenta con unos valores relativamente bajos de C y especialmente de N que hace que su relación aumente de forma considerable.

Tanto la figura 49 como la tabla 19 muestran claramente cómo los tres parámetros disminuyen con la profundidad siendo el contenido en carbono orgánico y la relación C/N los que mayor variabilidad presentan.



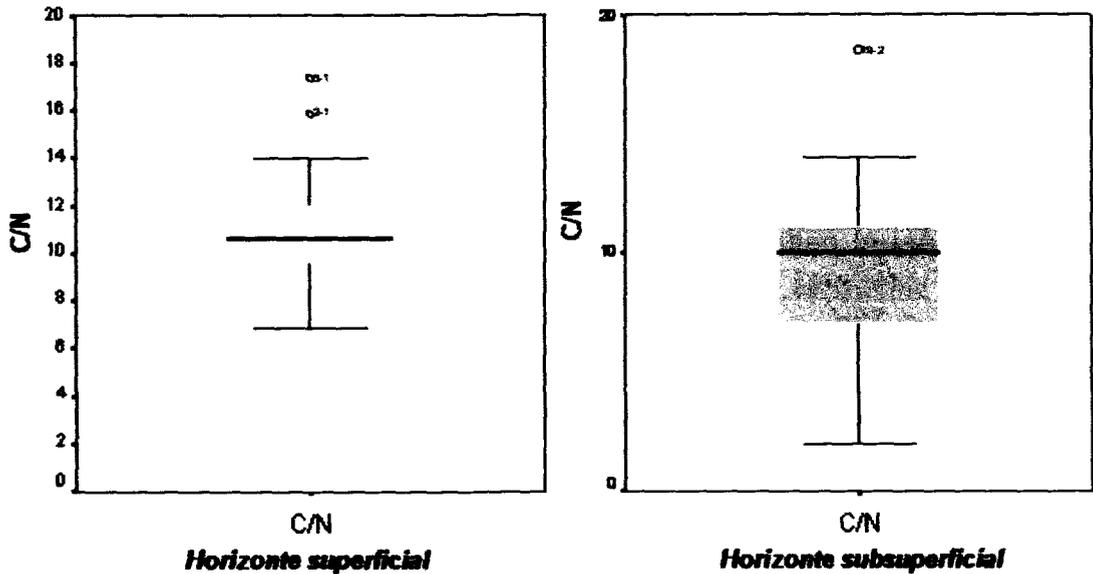


Figura 49. Diagramas de caja y bigotes del C.Orgánico, N.Total y C/N.

	Horizonte superficial			Horizonte subsuperficial			
	C.Orgánico	N. Total	C/N	C.Orgánico	N. Total	C/N	
Media	1.27	0.11	10.44	0.64	0.07	8.95	
Mediana	1.06	0.12	10.30	0.60	0.07	9.90	
Desv. tip.	0.67	0.05	2.00	0.39	0.04	2.98	
Asimetría	0.25	0.56	0.10	0.57	0.66	-0.66	
Curtosis	-1.35	-0.14	-0.40	-0.20	0.22	0.10	
Percentiles	25	0.65	0.07	8.90	0.33	0.04	6.95
	50	1.06	0.12	10.30	0.60	0.07	9.90
	75	1.77	0.16	11.60	0.86	0.10	11.10

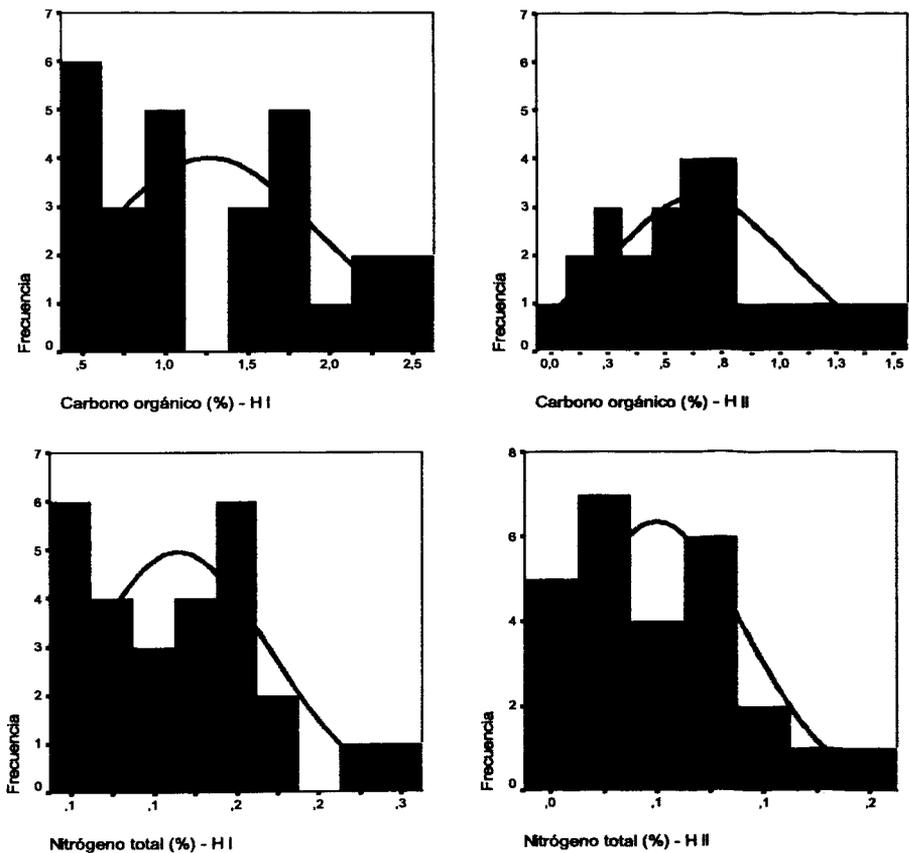
Tabla 19. Estadísticos descriptivos del C.Orgánico, N. total y C/N.

A la vista de los resultados medios calculados se desprende que los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total se encuentran dentro de la generalidad de suelos de tipo semiárido. La relación C/N media es próxima a 10, similar a la citada por López y López (1985) para suelos agrícolas al igual que se constata el hecho de que esta relación disminuye con la profundidad de los horizontes.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C.Orgánico	0.132	25	0.200*	0.919	25	0.050
N. Total	0.108	25	0.200*	0.943	25	0.174
C/N	0.138	25	0.200*	0.952	25	0.273
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C.Orgánico	0.114	25	0.200*	0.961	25	0.429
N. Total	0.089	25	0.200*	0.955	25	0.330
C/N	0.138	25	0.200*	0.962	25	0.456

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.
a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 20. Pruebas de normalidad del C.Orgánico, N. total y C/N.



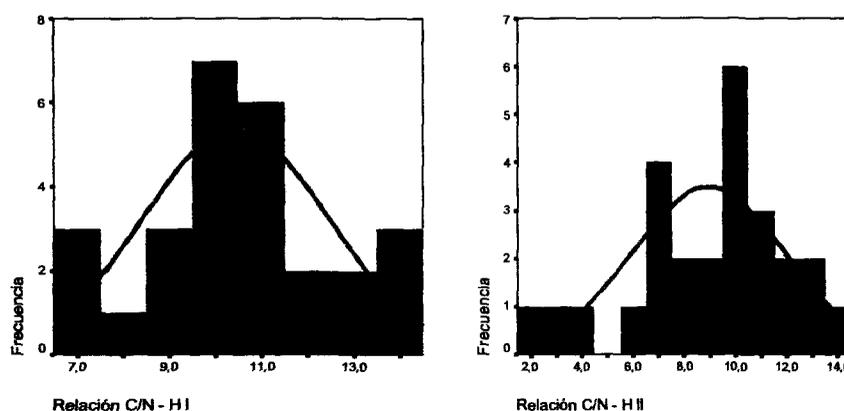


Figura 50. Histogramas de frecuencias del C.Orgánico, N. total y C/N en horizontes superficiales y subsuperficiales.

Después de haber hallado las diferentes pruebas (tabla) y tal como constatan los histogramas calculados (figura 50), podemos afirmar que los parámetros medidos siguen una distribución normal en los dos horizontes considerados, señalando sin embargo que el carbono orgánico muestra el menor ajuste a este tipo de distribución por encontrarse muy próximo al umbral de significación crítica establecido.

4.3.4. Carbonatos y caliza activa

Aún no presentando ningún valor atípico o extremo, el contenido de carbonato cálcico es el atributo que presenta mayor variabilidad en los suelos analizados, tal y como señala la gran amplitud del rango intercuartílico, representada en la altura de las cajas de la figura x. Esta dispersión en los datos es debido a la presencia de suelos de tipo ácido, como ya comentamos en el caso del pH, con valores nulos de carbonatos y por tanto de caliza activa contrastados con suelos que presentan unos contenidos relativamente elevados de este elemento debido a la presencia generalizada en la zona de La Mancha de costra caliza.

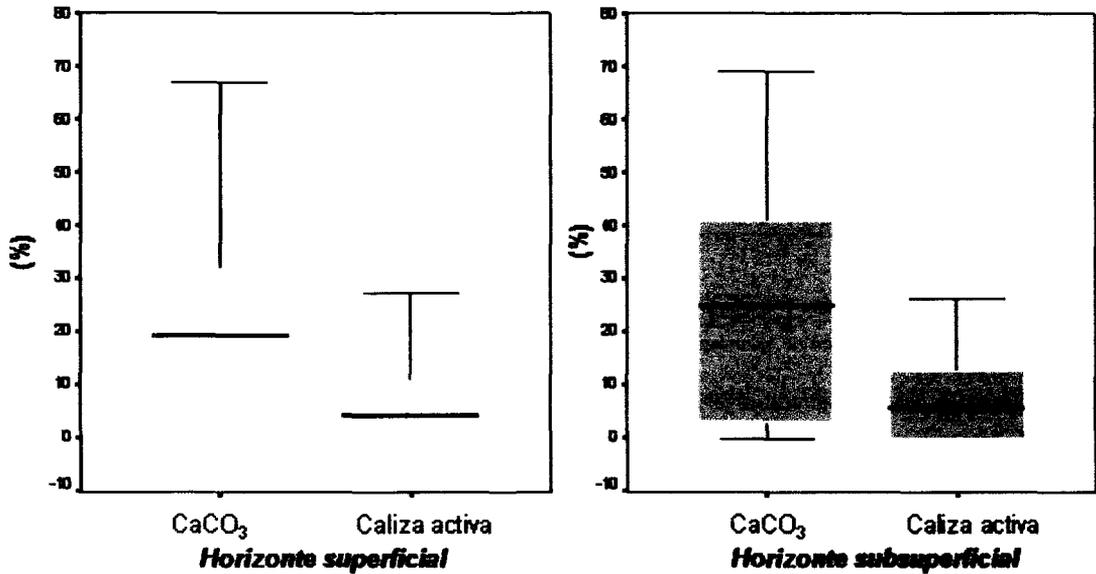


Figura 51. Diagramas de caja y bigotes del carbonato y caliza activa.

Esta costra suele aparecer a diferentes profundidades, encontrándose en ocasiones a escasos centímetros del horizonte superficial por lo que se va a observar una mayor concentración de éste con la profundidad. Asimismo al mismo tiempo que aumenta el contenido de carbonato lo hace la caliza activa.

	Horizonte superficial		Horizonte subsuperficial	
	Carbonato	Caliza activa	Carbonato	Caliza activa
Media	19.82	6.21	25.21	7.90
Mediana	19.40	4.20	25.10	6.00
Desv. tip.	18.03	7.01	23.13	8.14
Asimetría	0.57	1.29	0.55	0.82
Curtosis	-0.19	1.56	-0.82	-0.33
Percentiles	25	0.00	2.20	0.00
	50	19.40	25.10	6.00
	75	32.25	11.25	41.80

Tabla 21. Estadísticos descriptivos del carbonato y caliza activa.

Dada la gran dispersión observamos unos rangos intercuartílicos muy elevados, superiores a 30% en el caso del carbonato y superior a 10% de caliza activa en los dos horizontes.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Carbonato	0.14	27	0.189	0.9	27	0.013
Caliza activa	0.181	27	0.023	0.852	27	0.001
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Carbonato	0.176	27	0.032	0.893	27	0.009
Caliza activa	0.167	27	0.051	0.869	27	0.003

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.
 a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 22. Pruebas de normalidad del carbonato y caliza activa.

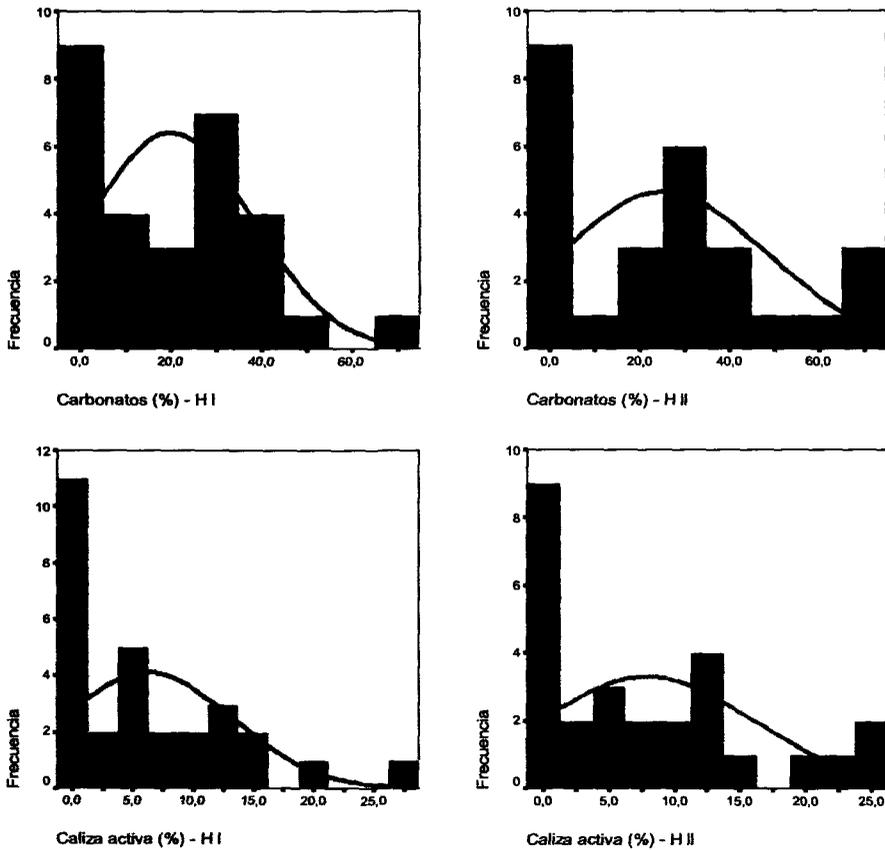


Figura 52. Histogramas de frecuencias del carbonato y caliza activa en horizontes superficiales y subsuperficiales.

Las pruebas de normalidad nos señalan que las propiedades no se ajustan a una distribución normal, con unos Sig. muy bajos y apartados del nivel crítico, lo cual quedaría refutado por los histogramas donde queda reflejada la gran asimetría presentada en las muestras.

4.3.5. Textura

En la figura 53 se observa que las muestras atípicas son las muestras 29 y 27 mientras la 26 representa un caso extremo en el caso de la arena. El limo presenta a su vez dos casos atípicos (muestras 26 y 27) mientras la arcilla cuenta con la muestra 26. En el caso del horizonte subsuperficial se dan casos atípicos como es la muestra 26 en la arena y limo y la muestra 25 en el limo y arcilla.

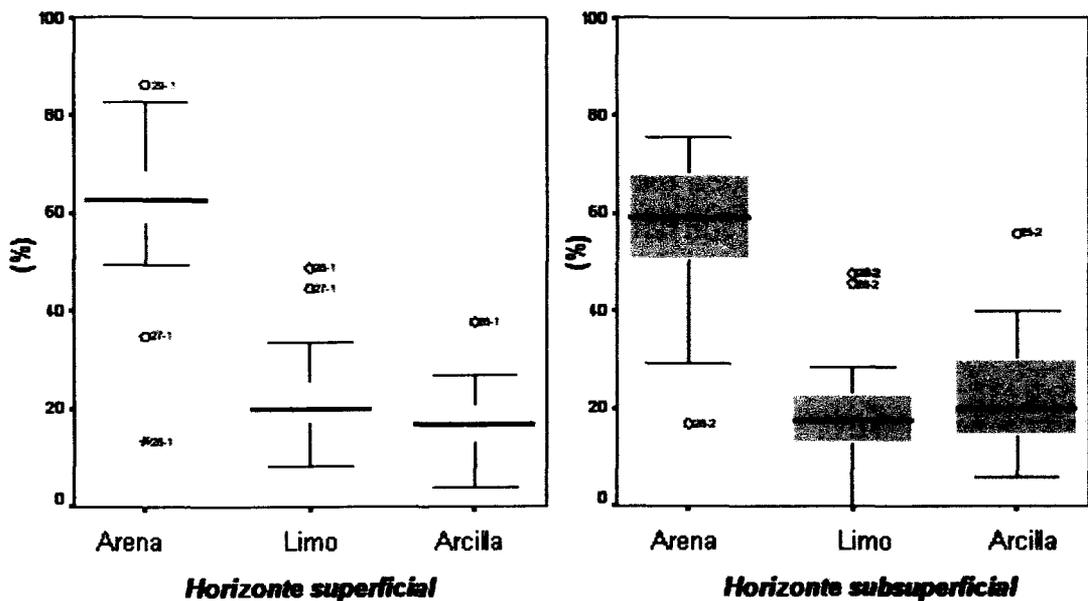


Figura 53. Diagramas de caja y bigotes de la textura (arena, limo y arcilla).

Una vez eliminados estos valores y diferenciando entre horizontes encontramos que los valores medios de la arena y limo van disminuyendo con la profundidad mientras la arcilla va aumentando debido generalmente a la presencia de horizontes argílicos.

	Horizonte superficial			Horizonte subsuperficial		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
Media	63.5	20.0	15.8	59.2	19.6	21.2
Mediana	63.0	19.3	16.4	59.6	17.7	19.7
Desv. tıp.	8.1	6.3	6.3	11.0	10.3	9.8
Asimetría	0.6	0.1	-0.4	-0.7	1.6	0.4
Curtosis	0.3	-0.1	-0.6	0.5	2.9	-0.7
Percentiles 25	58.5	16.8	11.8	51.3	12.8	14.1
50	63.0	19.3	16.4	59.6	17.7	19.7
75	68.9	24.0	20.5	68.8	23.0	28.8

Tabla 23. Estadísticos descriptivos de la textura.

Observamos a su vez que las propiedades medidas sobre el horizonte subsuperficial presentan una mayor dispersión de los datos que el superficial, dados por el aumento de sus rangos intercuartílicos, pasando de 10.4 a 17.5% para la arena, de 7.2 a 10.2% en el caso del limo y de 8.7 a 14.7% para la arcilla.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arena	0.145	26	0.168	0.966	26	0.513
Limo	0.153	26	0.121	0.974	26	0.737
Arcilla	0.105	26	0.200*	0.965	26	0.502
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arena	0.111	23	0.200*	0.946	23	0.240
Limo	0.129	23	0.200*	0.962	23	0.515
Arcilla	0.142	23	0.200*	0.948	23	0.263

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 24. Pruebas de normalidad de la textura.

Asimismo, una vez realizados los histogramas de frecuencias podemos

corroborar los altos niveles de significación de la tabla 24, advirtiendo sin embargo un ligero sesgo de la curva hacia la derecha en el caso de la arena para el horizonte subsuperficial.

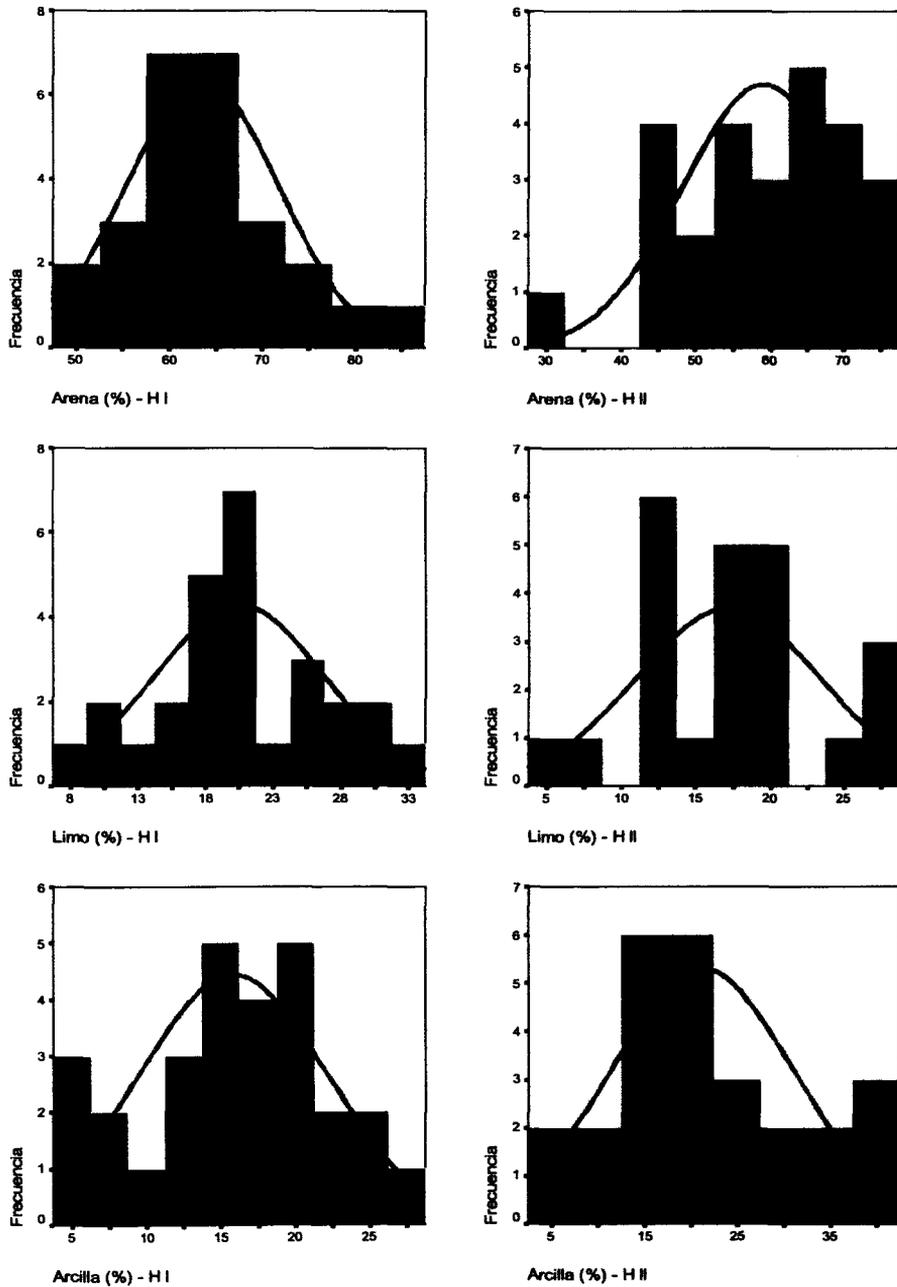


Figura 54. Histogramas de frecuencias de la textura en horizontes superficiales y subsuperficiales.

4.3.6. CIC y bases intercambiables

Estas determinaciones han sido llevadas a cabo sobre el horizonte subsuperficial por considerar que es en este horizonte donde se da mayor el mayor contenido de estos elementos debido a la presencia de arcilla intimamente relacionada con este tipo de propiedades.

En la totalidad de las bases de cambio determinadas se observa que la muestra 1-2 sobresale con valores muy superiores a los medios, siendo extremos en todos ellos excepto en el caso del calcio donde es atípico. Otros valores extremos en el sodio las representan las muestras 27-2 y 28-2 con unos valores casi nulos. La muestra 19-2 cuenta con un contenido de Ca^{2+} intercambiable excesivamente alto.

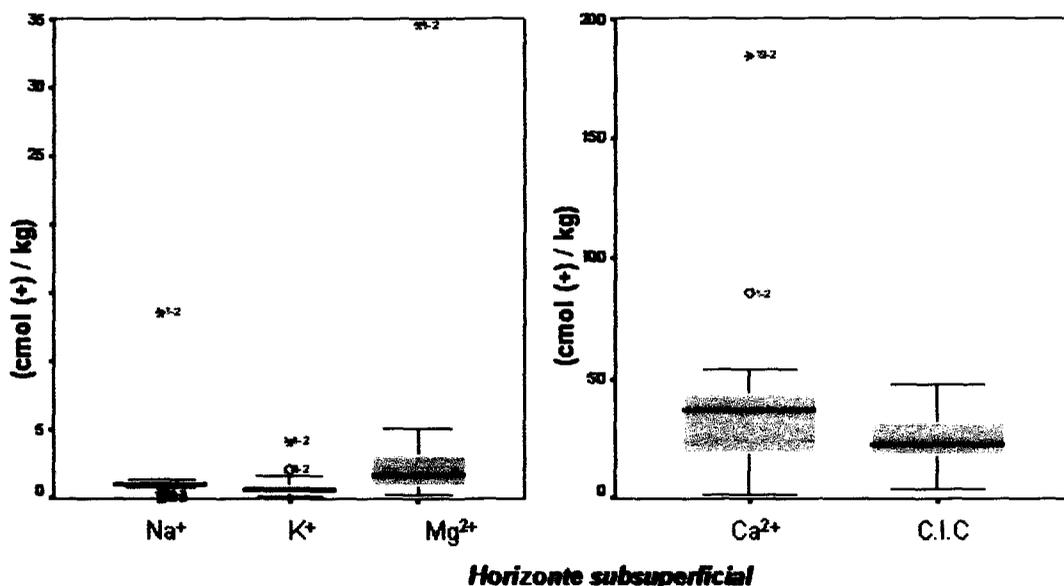


Figura 55. Diagramas de caja y bigotes de las bases de cambio y C.I.C.

Se observa que el calcio es el catión predominante en la totalidad de los suelos analizados, encontrando unos valores medios muy superiores al resto de cationes analizados. La muestra 1-2 correspondiente a la Laguna Larga presenta los valores más elevados debido a su elevada concentración en sales propia de los materiales de partida de esta zona semiendorreica.

	Horizonte subsuperficial					
	C.I.C	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Media	24.68	1.08	0.61	29.97	1.99	
Mediana	22.88	1.04	0.51	26.48	1.68	
Desv. típ.	10.53	0.12	0.35	15.93	1.30	
Asimetría	0.45	0.45	0.75	-0.17	0.58	
Curtosis	-0.03	0.61	0.27	-1.26	-0.45	
Percentiles	25	17.58	1.01	0.35	18.60	0.85
	50	22.88	1.04	0.51	26.48	1.68
	75	31.23	1.18	0.86	43.69	3.03

Tabla 25. Estadísticos descriptivos de la C.I.C y bases de cambio.

Los resultados aportados por la tabla 25 muestran que los valores medios de la C.I.C es superior al valor de 8-10 cmol(+)/kg establecida como la mínima aceptable para un horizonte Ap (Porta et al., 2003). El contenido en sodio de cambio presenta la mayor consistencia ya que su RI es de 0.17 cmol(+)/kg seguido del potasio con 0.51 cmol(+)/kg y el magnesio con una diferencia de 3.18 cmol(+)/kg. El calcio representa la base con mayor dispersión con un RI de 25.09 mientras por otra parte la C.I.C cuenta con un RI de 13.65 cmol(+)/kg.

Horizonte subsuperficial	Kolmogorov-Smimov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C.I.C	0.104	25	0.200 [*]	0.970	25	0.635
Na ⁺	0.191	25	0.020	0.919	25	0.048
K ⁺	0.157	25	0.114	0.95	25	0.255
Ca ²⁺	0.176	25	0.043	0.932	25	0.097
Mg ²⁺	0.131	25	0.200 [*]	0.964	25	0.502

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 26. Pruebas de normalidad de la C.I.C y bases de cambio.

Al analizar la tabla 26 observamos que ambos test se contradicen, por lo que escogeremos el contraste realizado por Shapiro-Wilk en el que señala al sodio de cambio como no normal, ya que su Sig. no es superior a 0.05.

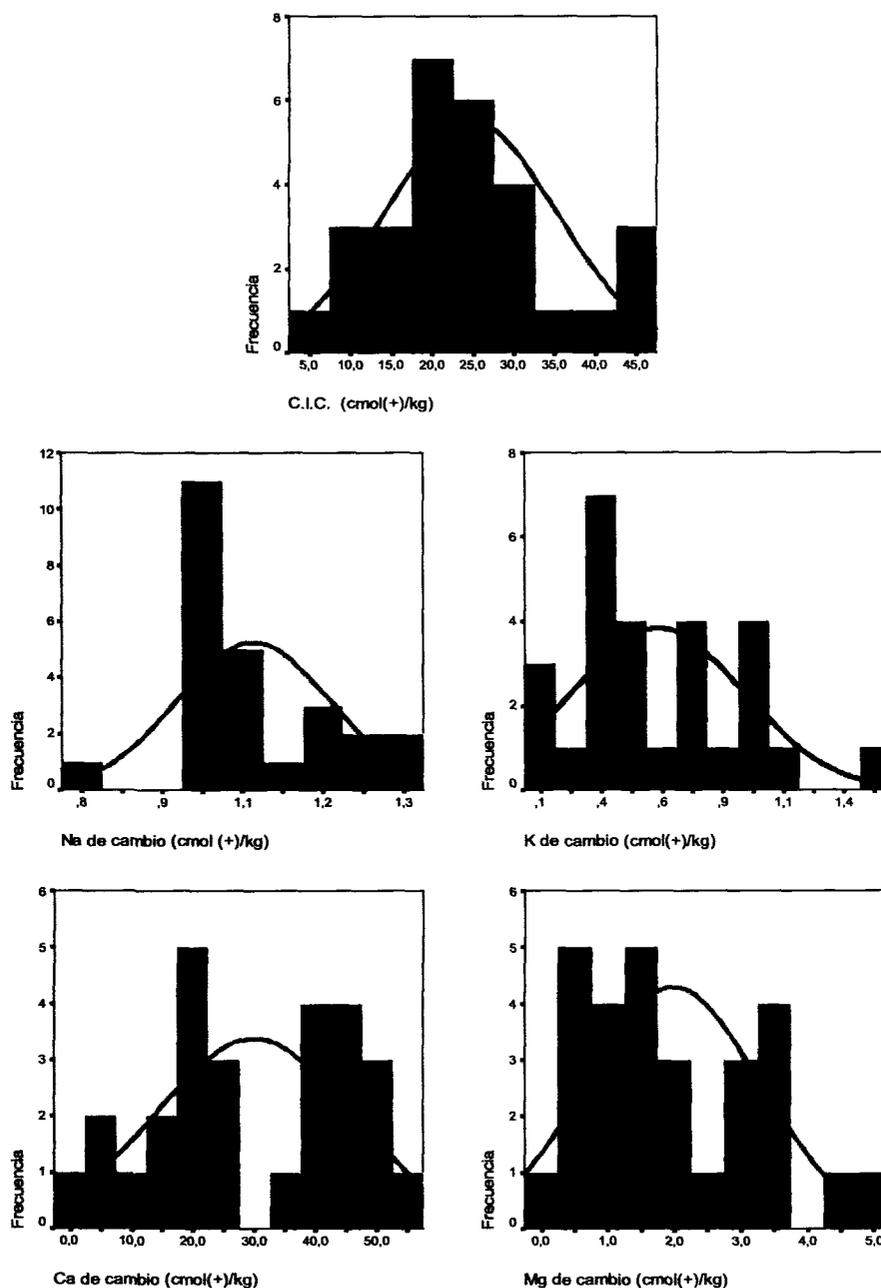


Figura 56. Histogramas de frecuencias del C.I.C y bases de cambio en horizontes subsuperficiales.

Entre los histogramas de frecuencias representados se observa que la capacidad de intercambio catiónico es la que presenta una mejor distribución normal mientras en la del sodio se observa cómo tiende a concentrar sus valores en torno a un valor.

4.3.7. Elementos asimilables

Las muestras del perfil 1 se presentan en la mayoría de los elementos como caso extremo. Analizando el horizonte superficial observamos que existen los siguientes casos extremos: Na (1-1 y 26-1), k (1-1), Ca (1-1 y 19-1), Mg (1-1 y 26-1) y P_2O_5 (1-1, 4-1 y 17-1). En el horizonte más profundo se dan resultados similares: Na (1-2, 25-2 y 26-2), k (1-2 y 4-2), Ca (1-2, 19-2 y atípico 29-2), Mg (1-2) y P_2O_5 (4-2 y 17-2). En este caso concreto al igual que en el caso anterior son las muestras correspondientes a los perfiles 1 y 19 los que presentan valores muy por encima de la media, especialmente en el contenido en calcio de las mismas debido a su material original de carácter yesífero.

Tal y como muestra la figura 57 y de los resultados mostrados por la tabla 27 podemos decir que el contenido de estos elementos asimilables es superior en el horizonte subsuperficial a excepción del K y P_2O_5 . En el primero disminuye en mayor grado que para el fósforo cuyo contenido es prácticamente muy similar. El calcio es por el contrario, el elemento que mayor diferencia presenta al comparar horizontes, pudiendo ser debido a la presencia de mayor carbonato cálcico equivalente y arcilla en profundidad.

Al observar la tabla 28 encontramos que las pruebas de normalidad difieren al contrastar ambos horizontes. En ella ni el sodio, ni el calcio, ni el magnesio siguen distribuciones normales en el horizonte superficial. Sin embargo, en el horizonte más profundo el sodio sigue esta tendencia al igual que el fosfato asimilable, que en el anterior si seguía una distribución normal.

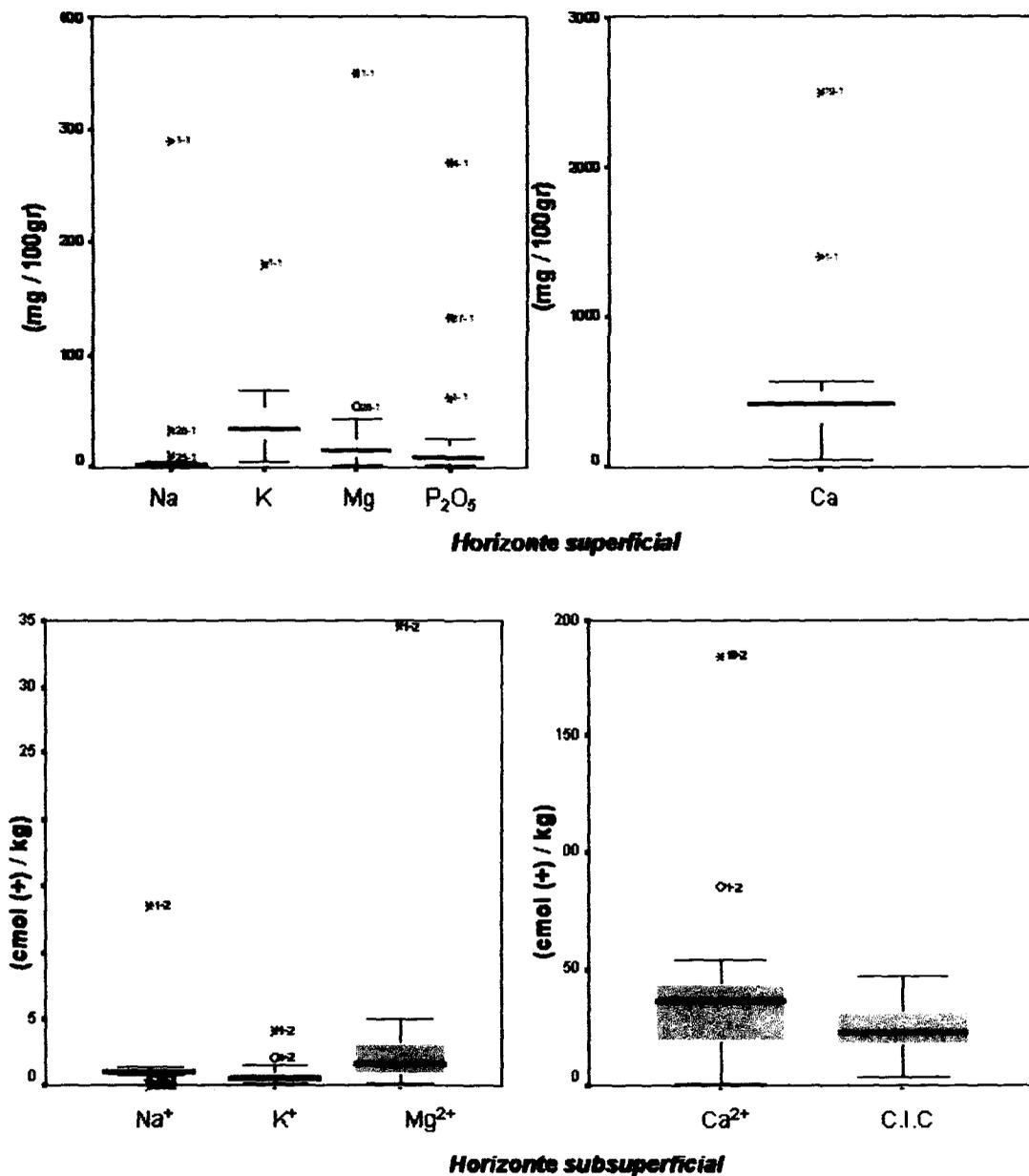


Figura 57. Diagramas de caja y bigotes de los elementos asimilables.

		Horizonte superficial				
		Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
Media		1.57	34.87	367.93	16.54	9.63
Mediana		1.50	34.00	395.00	13.80	7.50
Desv. típ.		0.71	17.46	146.51	10.89	7.14
Asimetría		0.68	0.22	-0.70	1.18	0.77
Curtosis		-0.67	-0.86	-0.34	0.74	-0.38
Percentiles	25	1.00	21.70	286.00	9.00	3.18
	50	1.50	34.00	395.00	13.80	7.50
	75	2.15	51.00	475.00	18.90	15.13

		Horizonte superficial				
		Na	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅
Media		2.13	20.95	414.92	19.43	8.85
Mediana		2.00	18.00	432.50	15.65	3.50
Desv. típ.		1.25	10.83	122.78	12.77	11.31
Asimetría		1.59	0.32	-0.72	0.47	1.59
Curtosis		3.08	-0.65	0.44	-1.01	1.10
Percentiles	25	1.13	13.00	350.00	9.03	1.50
	50	2.00	18.00	432.50	15.65	3.50
	75	2.50	29.10	488.75	30.70	9.75

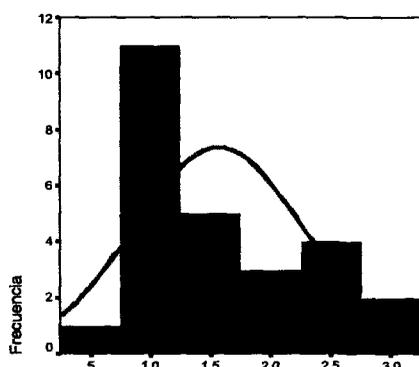
Tabla 27. Estadísticos descriptivos de los elementos asimilables.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Na	0.316	16	0	0.716	16	0
K	0.135	16	0.200 [*]	0.964	16	0.732
Ca	0.217	16	0.043	0.873	16	0.03
Mg	0.236	16	0.017	0.84	16	0.01
P ₂ O ₅	0.168	16	0.200 [*]	0.908	16	0.107
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Na	0.211	16	0.055	0.84	16	0.010
K	0.224	16	0.031	0.904	16	0.094
Ca	0.139	16	0.200 [*]	0.933	16	0.272
Mg	0.159	16	0.200 [*]	0.914	16	0.137
P ₂ O ₅	0.261	16	0.005	0.709	16	0

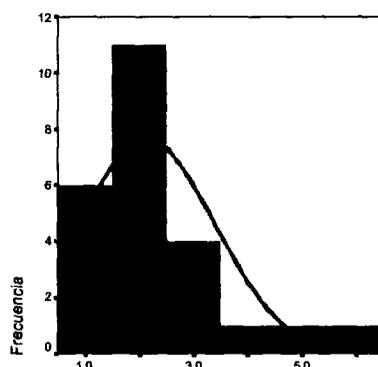
* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

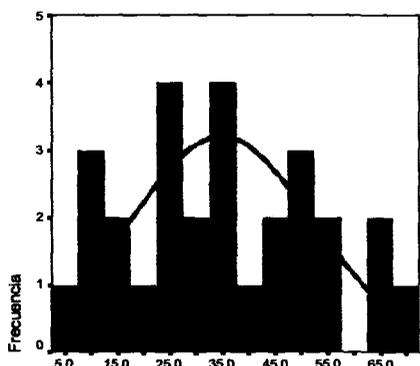
Tabla 28. Pruebas de normalidad de los elementos asimilables.



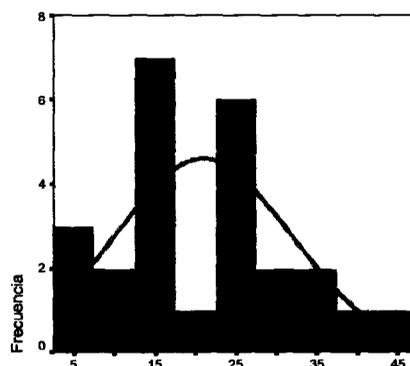
Na asimilable (mg/100g) - H I



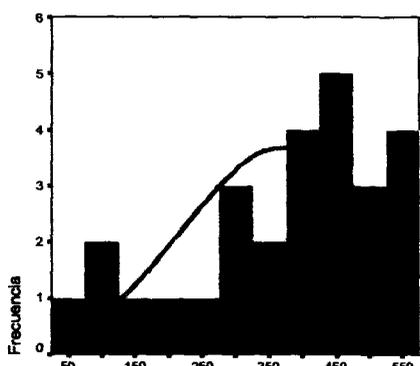
Na asimilable (mg/100g) - H II



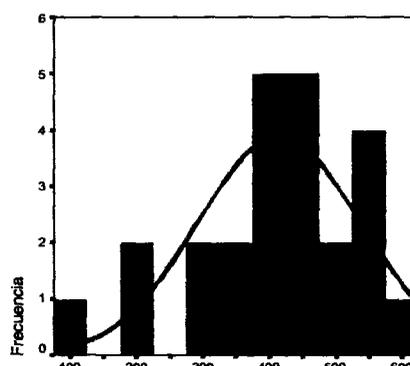
K asimilable (mg/100g) - H I



K asimilable (mg/100g) - H II



Ca asimilable (mg/100g) - H I



Ca asimilable (mg/100g)n- H II

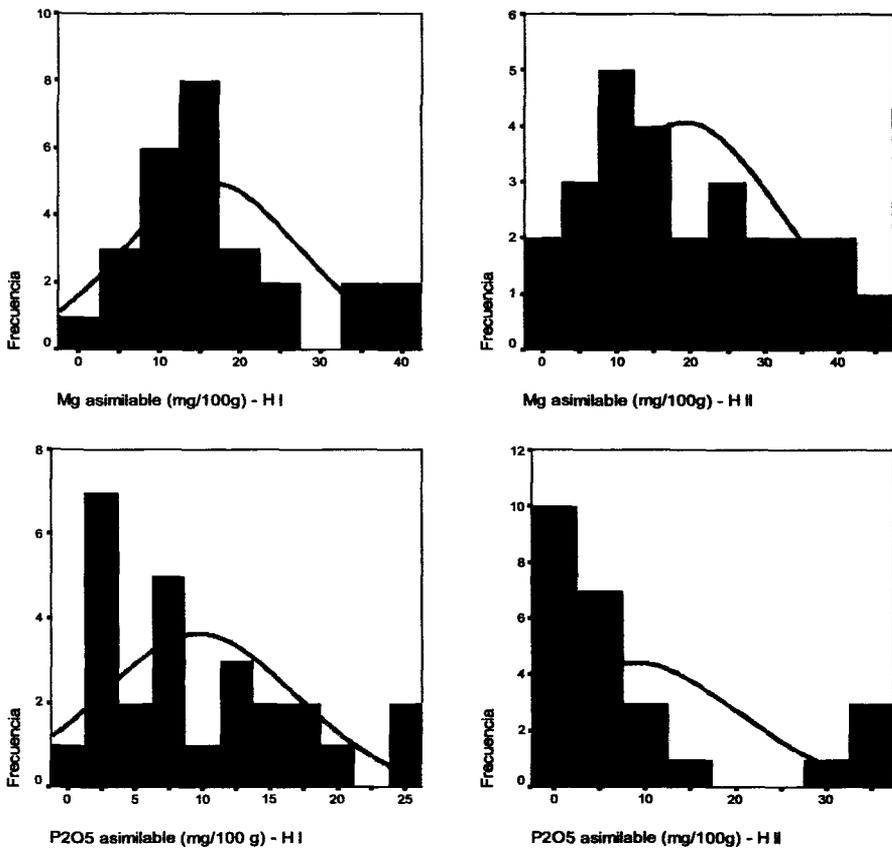


Figura 58. Histogramas de frecuencias de elementos asimilables en horizontes superficiales y subsuperficiales.

En la figura 58 observamos que el sodio en primer lugar muestra una asimetría muy marcada concentrando sus mayores frecuencias a valores más bajos que la media. Dicha tendencia se observa igualmente en el caso del magnesio y fósforo en el caso del primer horizonte. Sin embargo, el calcio sigue una distribución opuesta al resto de elementos ya que presenta un índice de simetría negativo, señalando de ese modo que los valores extremos se sitúan por encima de la media, señalándolo el desplazamiento de la curva normal hacia la derecha del histograma.

4.3.8. Densidad real, aparente y porosidad

La siguiente figura muestra como a pesar de que ninguna de las propiedades cuenta con valores atípicos o extremos en el caso de la porosidad las medidas son más dispersas.

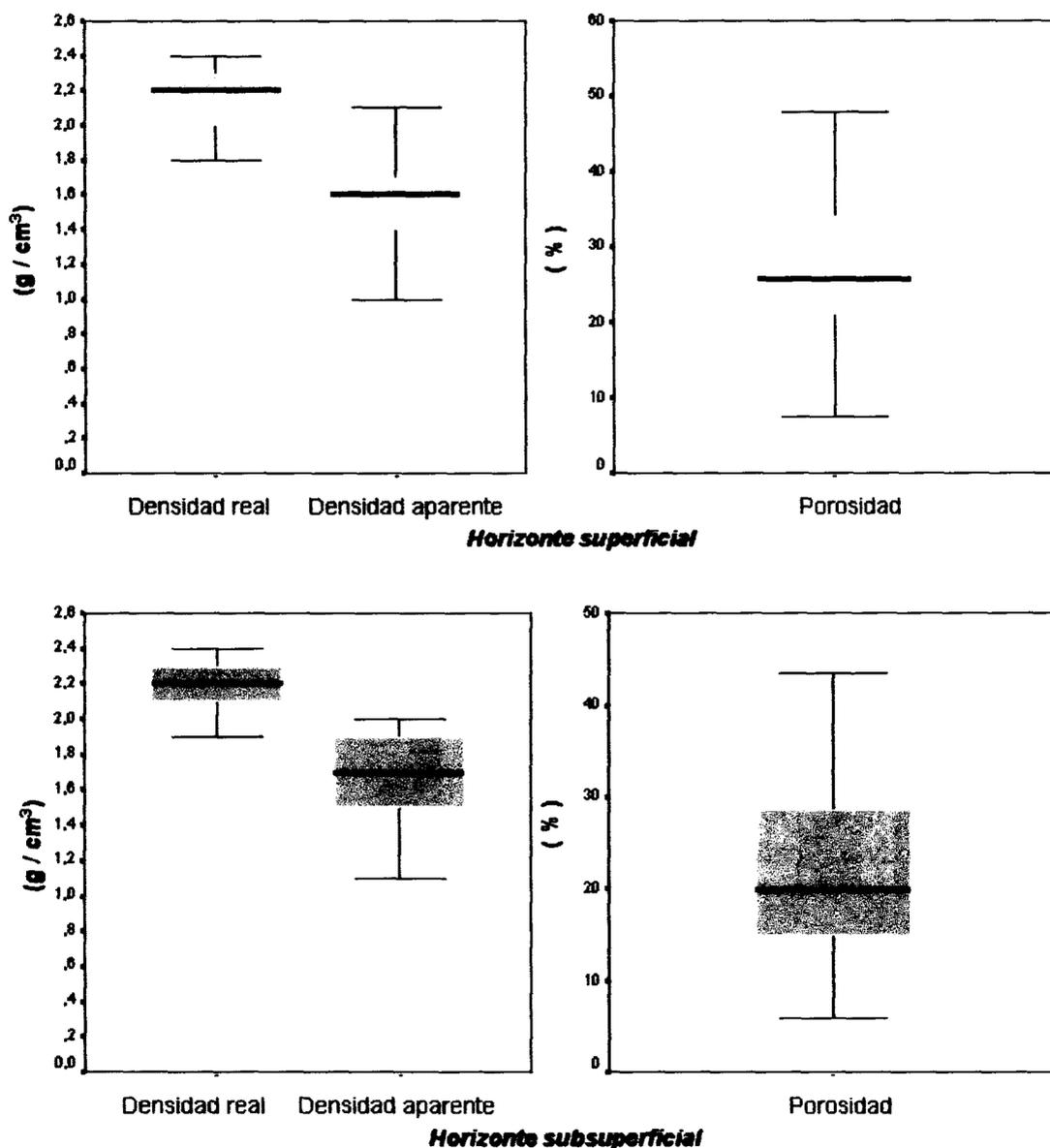


Figura 59. Diagramas de caja y bigotes de la densidad real, aparente y porosidad.

Analizando los estadísticos descriptivos de la tabla 29 observamos que las densidades reales son muy similares en ambos horizontes siendo la densidad aparente la que presenta una mínima diferencia en cuanto al horizonte superficial, reflejando así una menor porosidad en el horizonte más superficial. Esta diferencia se acentúa en mayor medida si comparamos las medianas en lugar de las medias, ya que serán más representativas las primeras por la mayor dispersión en los datos que hace que la media no sea lo suficientemente representativa de la tendencia seguida por la población. De este modo el horizonte superficial tendrá una porosidad de 25,9 % mientras el más inferior presentará un 19,9 % de poros.

	Horizonte superficial			Horizonte subsuperficial		
	D. Real	D. Aparente	Porosidad	D. Real	D. Aparente	Porosidad
Media	2,1	1,6	26,9	2,2	1,7	21,8
Mediana	2,2	1,6	25,9	2,2	1,7	19,9
Desv. Tip.	0,2	0,3	10,4	0,1	0,2	9,0
Asimetría	-0,4	-0,2	-0,1	-0,3	-0,7	0,5
Curtosis	-0,4	0,0	-0,3	-0,6	0,2	-0,2
Percentiles						
25	2,0	1,4	20,8	2,1	1,5	14,9
50	2,2	1,6	25,9	2,2	1,7	19,9
75	2,3	1,8	34,6	2,3	1,9	28,8

Tabla 29. Estadísticos descriptivos de la densidad real, aparente y porosidad.

Los rangos intercuartílicos son similares para las densidades en ambos horizontes mientras la porosidad difiere en 7,1 %. Las asimetrías negativas que presentan las densidades son las causantes del ligero desplazamiento de las curvas hacia la derecha de sus respectivos histodiagramas de frecuencias.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Densidad real	0.174	26	0.042	0.939	26	0.124
Densidad aparente	0.127	26	0.200	0.972	26	0.685
Porosidad	0.074	26	0.200	0.978	26	0.835
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Densidad real	0.159	26	0.090	0.929	26	0.075
Densidad aparente	0.168	26	0.058	0.916	26	0.035
Porosidad	0.148	26	0.146	0.959	26	0.369

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 30. Pruebas de normalidad de la densidad real, aparente y porosidad.

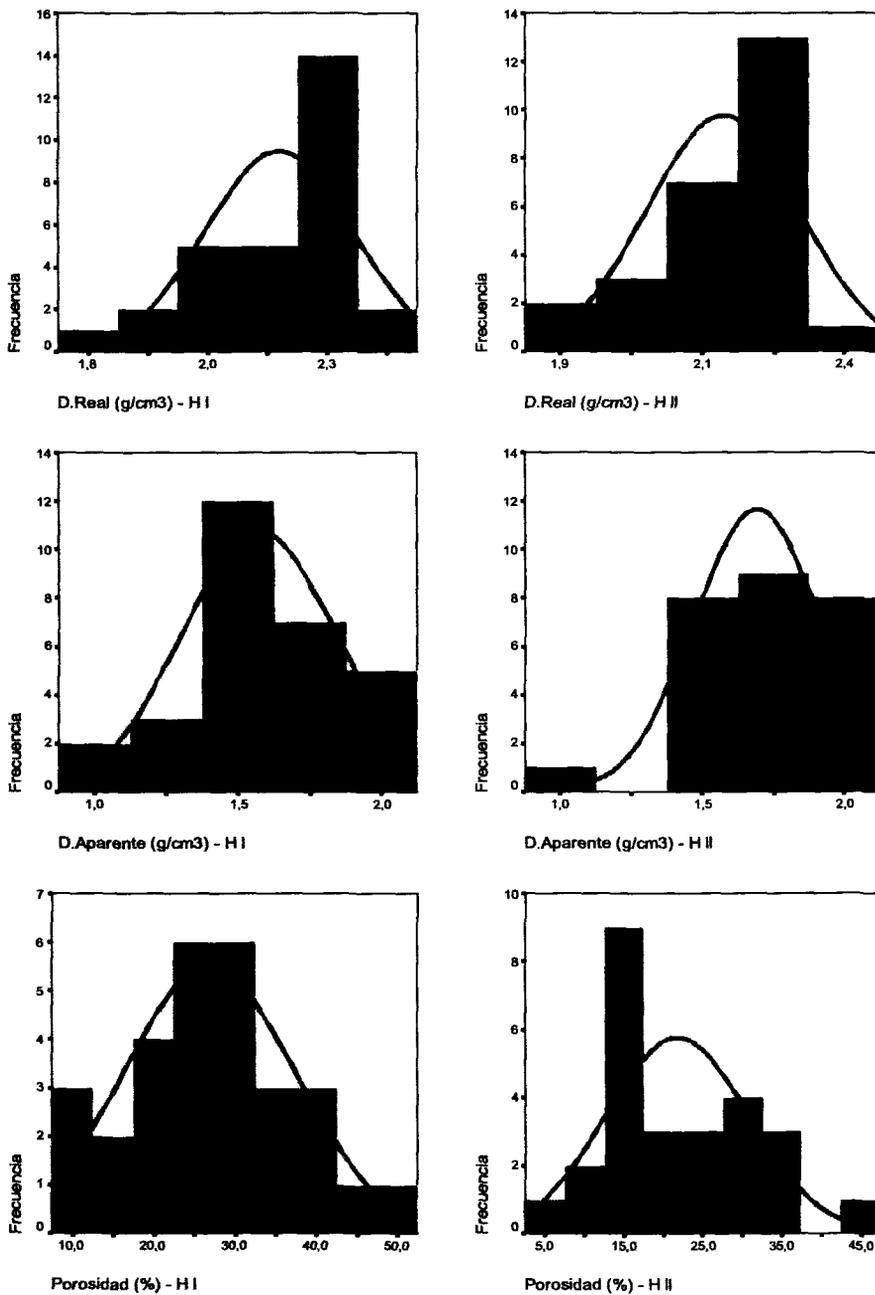


Figura 60. Histogramas de frecuencias de la densidad real, aparente y porosidad en horizontes superficiales y subsuperficiales.

El mayor grado de asimetría de la densidad aparente sobre el horizonte más subsuperficial es el que provoca que ésta propiedad no siga una distribución normal.

4.3.9. Capacidad de campo, punto de marchitamiento y agua útil

Estas propiedades han sido únicamente analizadas sobre los horizontes superiores por lo que sólo se presenta un diagrama de cajas, según la figura 61. Sobre ella advertimos que en las tres propiedades es el suelo yesífero (19-1) el que presenta los valores más elevados.

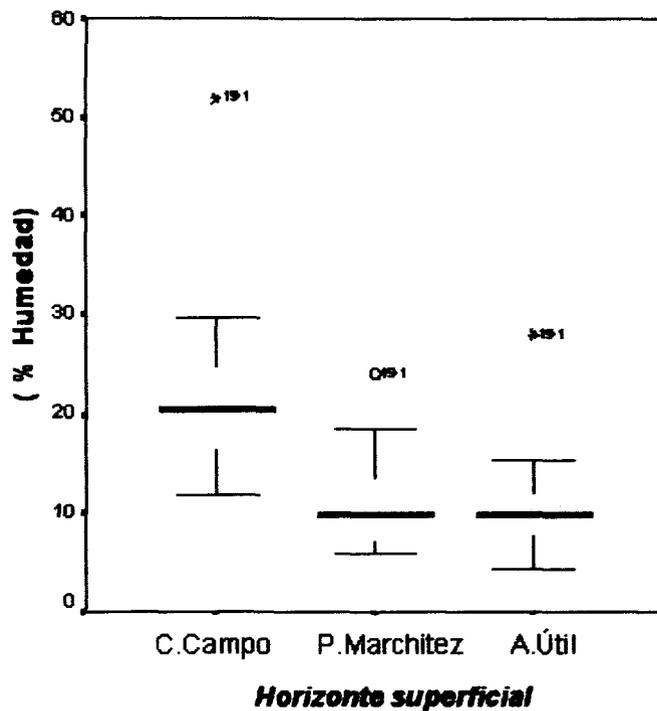


Figura 61. Diagramas de caja y bigotes de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.

En este caso aparece la muestra número 19-1 como único caso extremo en el punto de marchitez y atípico en el caso del agua útil.

Aunque los niveles de significación de Shapiro-Wilks presentados en la tabla 32 para el punto de marchitez sea muy cercano a 0.05, queda reflejado en su correspondiente histograma que existe un cierto grado de asimetría lo que causa que señalemos a esta propiedad como no normal.

		Horizonte subsuperficial		
		C.Campo	P.Marchitez	Agua útil
Media		19.90	10.49	9.41
Error típ. de la media		1.06	0.75	0.55
Mediana		20.10	9.80	9.80
Desv. típ.		5.38	3.83	2.83
Asimetría		0.07	0.59	-0.20
Curtosis		-0.97	-0.78	-0.64
Percentiles	25	16.03	6.98	7.10
	50	20.10	9.80	9.80
	75	24.38	12.78	11.50

Tabla 31. Estadísticos descriptivos de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.

Horizonte subsuperficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capacidad de campo	0.083	26	0.200 [*]	0.96	26	0.396
Punto de marchitez	0.144	26	0.178	0.919	26	0.042
Agua útil	0.123	26	0.200 [*]	0.956	26	0.324

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 32. Pruebas de normalidad de la C.Campo, P.Marchitez y A.Útil.

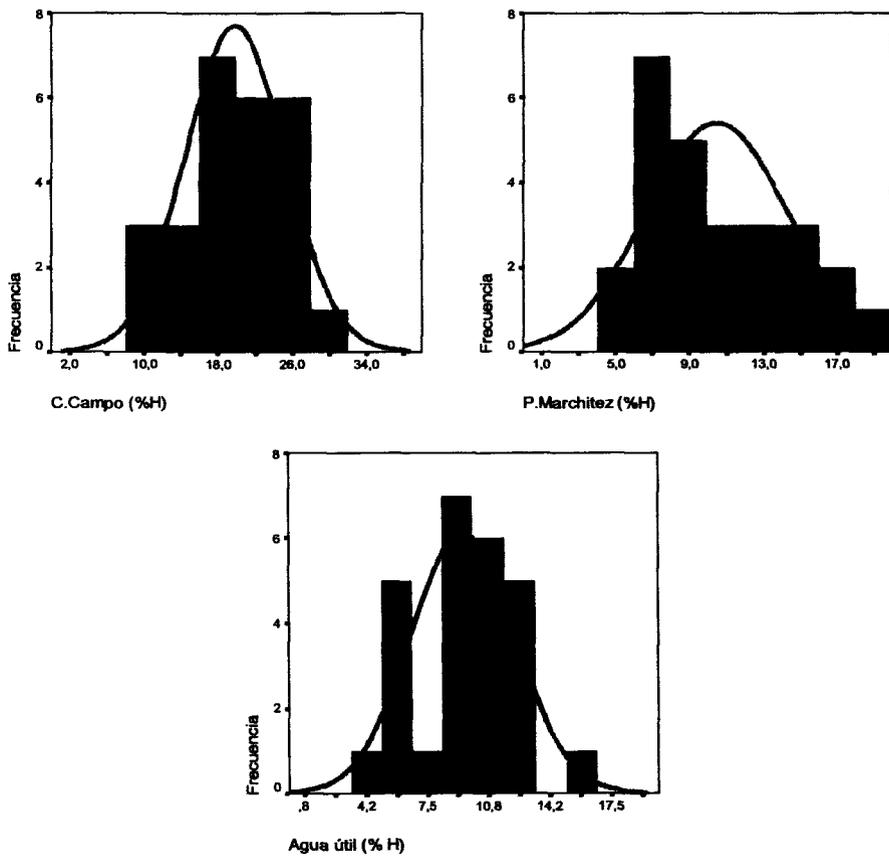


Figura 62. Histogramas de frecuencias de C.Campo, P.Marchitez y A.Útil en horizontes superficiales.

4.3.10. Tasa de infiltración

Este parámetro es de elevada variabilidad en los suelos analizados encontrándose valores medios muy bajos tal y como señala el diagrama de caja (figura 63). Sobre ésta se observa un único caso extremo, el correspondiente al perfil 29 tomado en el Parque Nacional de Cabañeros.

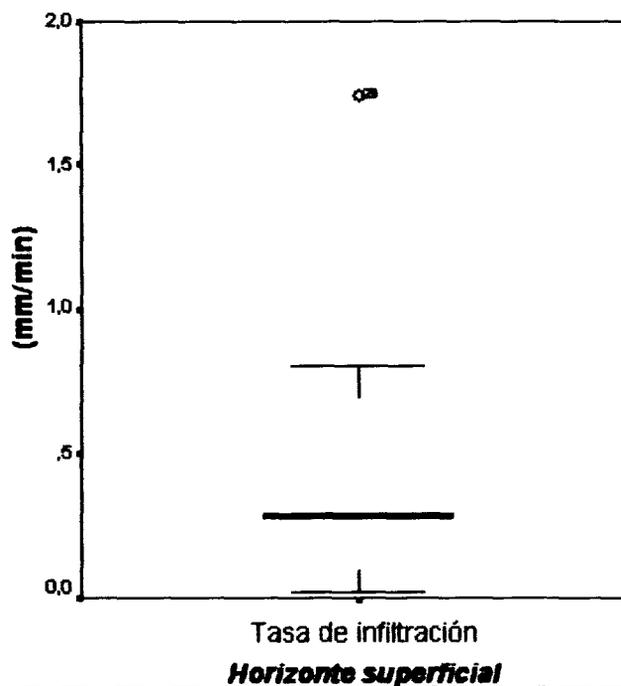


Figura 63. Diagramas de caja y bigotes de la tasa de infiltración.

		Horizonte superficial
		Tasa de infiltración
Media		0,35
Mediana		0,27
Desv. tip.		0,29
Asimetría		0,57
Curtosis		-1,29
Percentiles	25	0,10
	50	0,27
	75	0,69

Tabla 33. Estadísticos descriptivos de la tasa de infiltración.

La distribución de la muestra poblacional presenta una asimetría positiva, debido al alto valor de su caso extremo y se caracteriza por una elevada curtosis negativa. Este índice negativo representa el grado en que la distribución acumula casos en sus colas en comparación con los de la distribución normal que daría una curtosis próxima a 0.

Horizonte subsuperficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tasa de infiltración	0.174	25	0.050	0.852	25	0.002

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 34. Pruebas de normalidad de la tasa de infiltración.

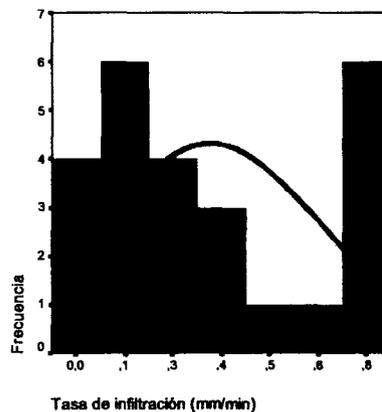


Figura 64. Histograma de frecuencias de la tasa de infiltración.

De este modo, podría ser esta elevada curtosis junto a la asimetría de la misma las razones que expliquen por qué el test de normalidad es tan bajo y por tanto nos lleva a asegurar que esta propiedad no sigue una distribución normal.

4.3.11. Fraccionamiento de arenas

Los diferentes tamaños de las arenas representadas en la figura 65 muestra cómo es la arena fina y muy fina en el horizonte superior la que presenta valores más dispersos mientras las arenas más gruesas son las que presentan valores atípicos (14-1, 16-1, 16-2, 20-2) y extremos (17-1).

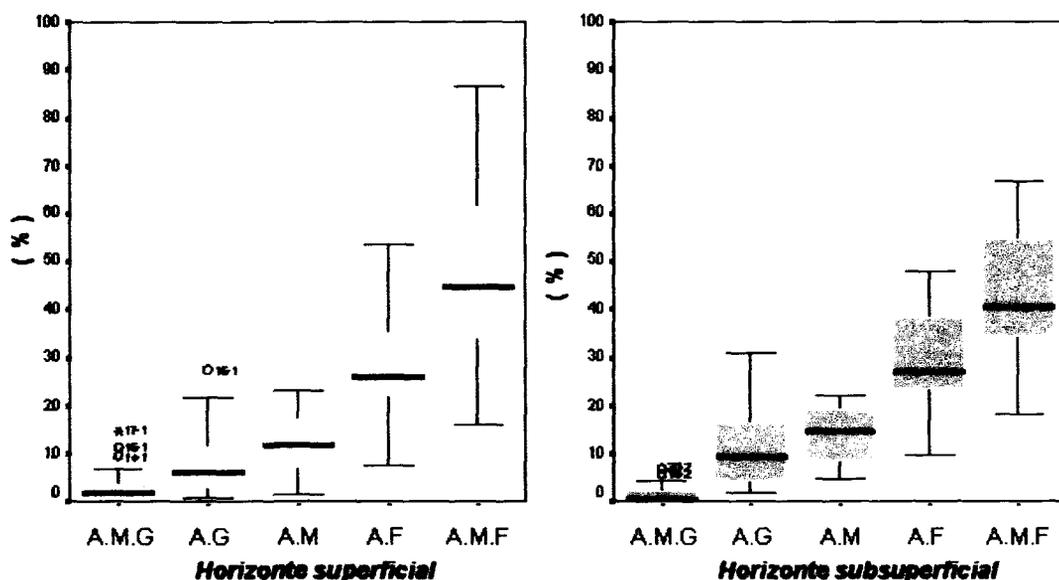


Figura 65. Diagramas de caja y bigotes de las arenas (A.M.G, A.G, A.M, A.F y A.M.F).

En ambos diagramas de cajas se observa cómo el porcentaje de arenas de menor tamaño, fina y muy fina son superiores en los dos horizontes muestreados. La tabla 35 muestra generalmente mayor concentración de arenas gruesas, medias y finas en el horizonte subsuperficial mientras que al contrario sucede en el caso de las arenas muy gruesas y muy finas, superiores en su horizonte más superficial.

	Horizonte superficial					Horizonte subsuperficial					
	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	A.M.G	A.G	A.M	A.F	A.M.F	
Media	1.9	7.5	12.0	28.4	48.5	1.1	10.8	14.1	29.8	43.8	
Mediana	1.3	6.1	11.6	25.9	44.5	0.5	9.4	14.8	26.8	40.3	
Desv. típ.	2.0	5.6	6.2	11.8	19.7	1.2	7.9	5.8	9.3	13.0	
Asimetría	1.2	0.9	0.0	0.3	0.5	1.1	0.8	-0.2	0.3	0.4	
Curtosis	0.7	0.2	-0.9	-0.3	-0.6	0.6	0.1	-1.4	-0.3	-0.6	
Percentiles	25	0.2	2.8	7.1	21.5	32.9	0.1	4.3	7.4	23.1	34.0
	50	1.3	6.1	11.6	25.9	44.5	0.5	9.4	14.8	26.8	40.3
	75	2.9	11.4	17.4	37.1	62.8	1.7	17.2	19.7	39.5	59.1

Tabla 35. Estadísticos descriptivos de las arenas.

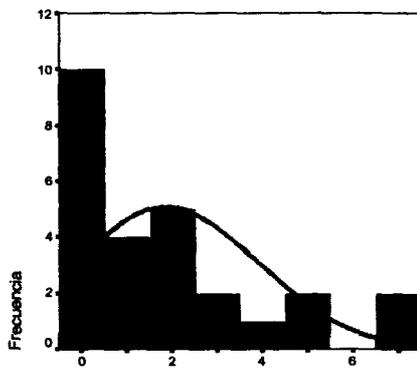
Las arenas más gruesas así como la arena fina en el caso del segundo horizonte presentan unos valores de Sig. muy bajos (tabla 36) y por tanto alejados de una distribución normal.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arena muy gruesa	0.195	20	0.045	0.877	20	0.016
Arena gruesa	0.204	20	0.029	0.852	20	0.006
Arena media	0.123	20	0.200*	0.957	20	0.482
Arena fina	0.181	20	0.085	0.947	20	0.330
Arena muy fina	0.162	20	0.179	0.953	20	0.411
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arena muy gruesa	0.228	20	0.008	0.831	20	0.003
Arena gruesa	0.205	20	0.028	0.882	20	0.019
Arena media	0.156	20	0.200*	0.906	20	0.054
Arena fina	0.279	20	0.000	0.842	20	0.004
Arena muy fina	0.189	20	0.060	0.919	20	0.097

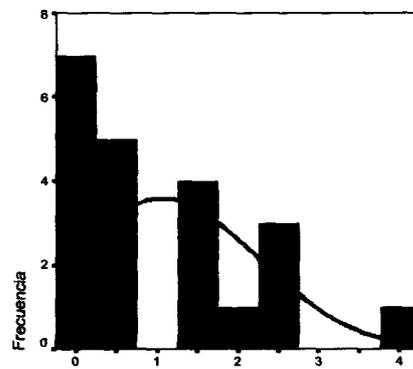
* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

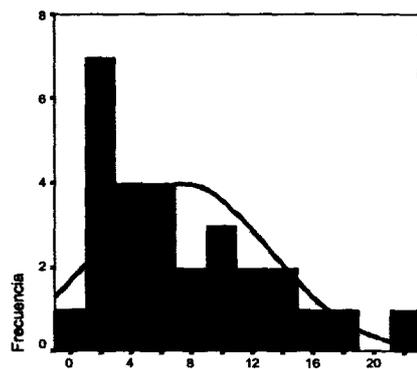
Tabla 36. Pruebas de normalidad de las arenas.



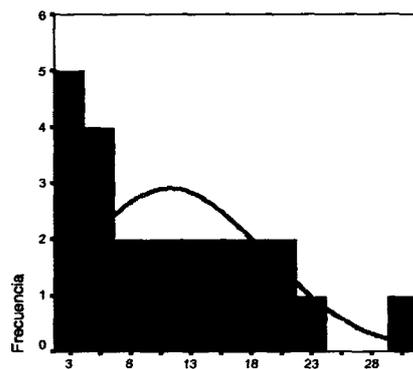
Arena muy gruesa (%) - H I



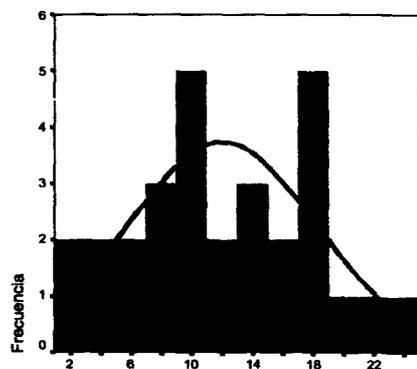
Arena muy gruesa (%) - H II



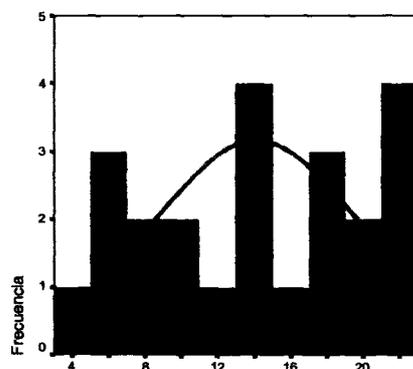
Arena gruesa (%) - H I



Arena gruesa (%) - H II



Arena media (%) - H I



Arena media (%) - H II

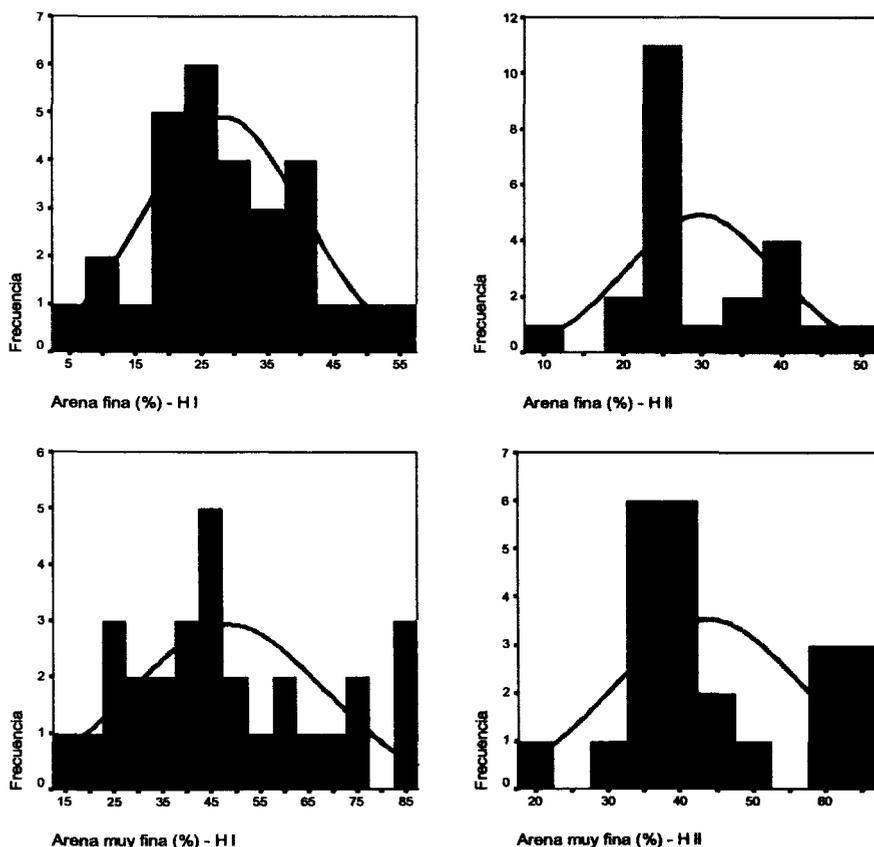


Figura 66. Histogramas de frecuencias de las arenas en horizontes superficiales y subsuperficiales.

Las arenas con niveles de significación bajos son los que muestran una asimetría muy elevada con coeficientes muy alejados de 0 tal y como se observan en la figura 66, cuyas curvas se ven muy desplazadas hacia la derecha.

4.3.12. Mineralogía: Caolinita, illita y esmectita

La mineralogía de los suelos medidos presenta mucha variabilidad en este tipo de parámetro. Las medidas son muy dispersas en ambos horizontes encontrando valores extremos en el superior, en el caso de la illita (24-1 y 29-1) y de la esmectita (15-1, 20-1 y 21-1). En el más inferior encontramos valores atípicos en la illita (24-2) y extremos en la esmectita (2-2, 11-2, 12-2, y 29-2).

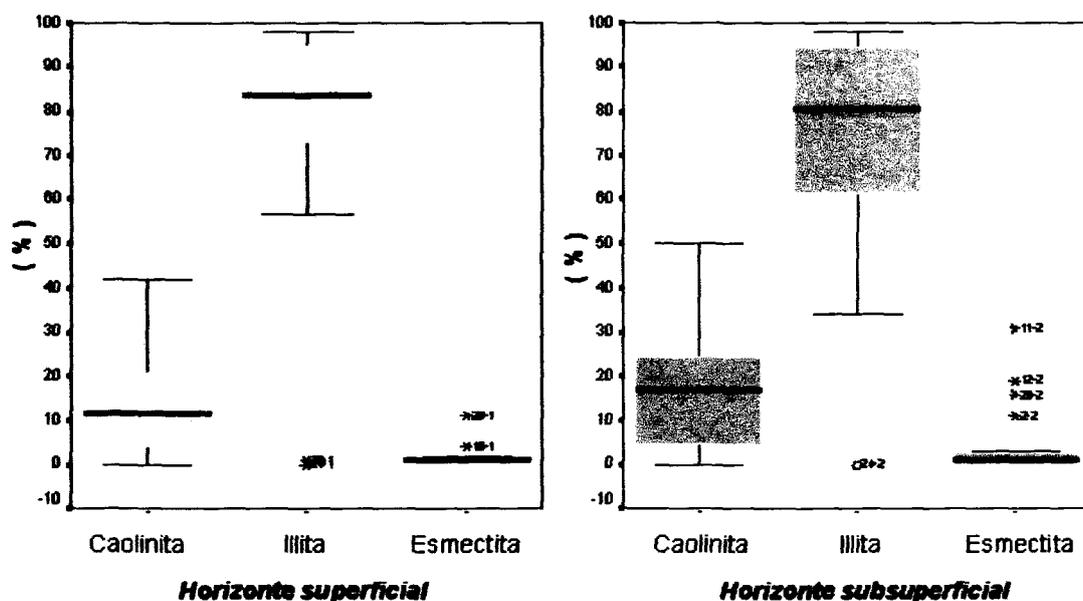


Figura 67. Diagramas de caja y bigotes de las arcillas.

La illita es la arcilla más abundante en ambos horizontes mientras su contenido en esmectita es muy bajo. Los RI que presentan la caolinita y esmectita son muy elevados y aumentan con la profundidad, de 18.5 a 20.5% y de 21.7 a 28.0% respectivamente.

	Horizonte superficial			Horizonte subsuperficial		
	Caolinita	Illita	Esmectita	Caolinita	Illita	Esmectita
Media	13,2	84,0	0,8	16,6	78,1	1,5
Mediana	11,5	85,5	1,0	17,0	81,0	0,0
Desv. típ.	11,8	11,9	0,6	13,4	18,9	3,8
Asimetría	0,9	-0,6	0,2	0,8	-1,0	3,8
Curtosis	0,0	-0,6	-0,3	0,3	0,1	15,0
Percentiles	25	3,8	73,3	0,0	4,3	67,0
	50	11,5	85,5	1,0	17,0	81,0
	75	22,3	95,0	1,0	24,8	95,0

Tabla 37. Estadísticos descriptivos de las arcillas.

Los estadísticos de la tabla 37 informan de que ningún tipo de arcilla presente en el horizonte subsuperficial sigue una distribución normal al igual que lo sucede con el contenido de esmectita en el horizonte anterior.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Caolinita	0,204	17	0,058	0,904	17	0,080
Illita	0,201	17	0,067	0,900	17	0,068
Esmectita	0,368	17	0,000	0,733	17	0,000
Horizonte subsuperficial	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Caolinita	0,177	17	0,161	0,882	17	0,034
Illita	0,193	17	0,092	0,874	17	0,026
Esmectita	0,379	17	0,000	0,428	17	0,000

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 38. Pruebas de normalidad de las arcillas.

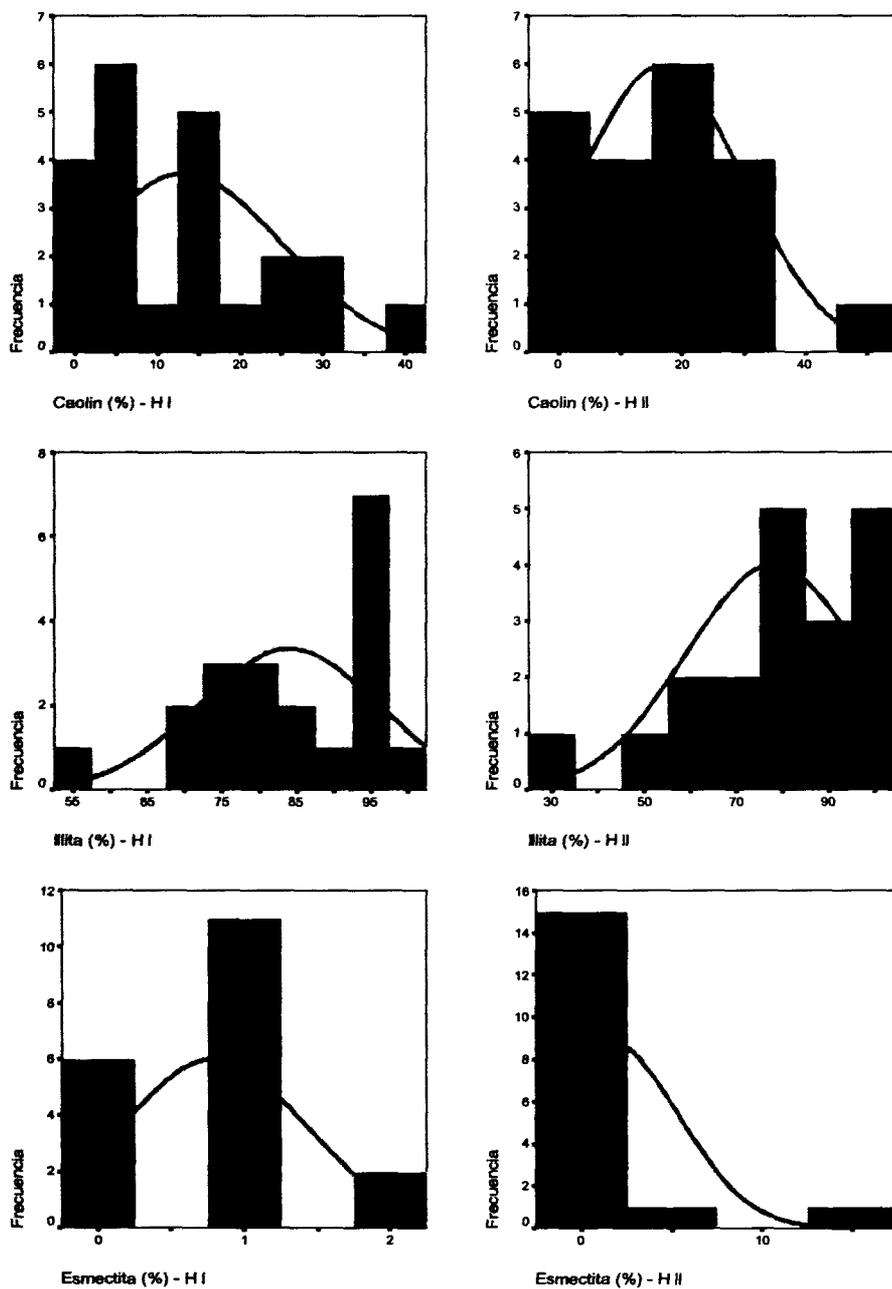


Figura 68. Histogramas de frecuencias de las arcillas en horizontes superficiales y subsuperficiales.

4.3.13. Profundidad efectiva

Este parámetro es muestra una gran variabilidad en los suelos analizados. De ahí la gran altura de la caja de la figura 69. En ella se muestra que el perfil 12 presenta una profundidad efectiva muy superior a la media calculada.

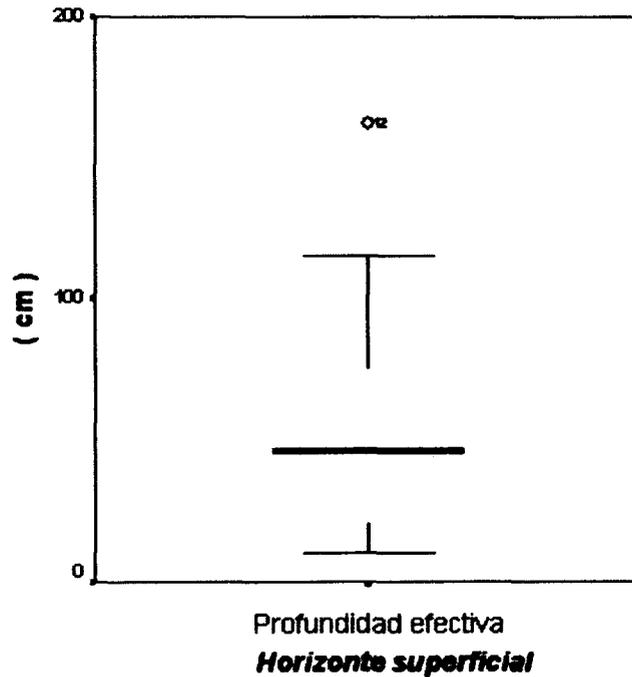


Figura 69. Diagramas de caja y bigotes de la profundidad efectiva.

El 50% de los suelos muestreados presentan una profundidad que varía de 18.75 a 74.75 cm, o lo que es lo mismo su rango intercuartílico es de 56 cm.

		Horizonte superficial
		Profundidad efectiva
Media		48.86
Mediana		45.50
Desv. típ.		30.676
Asimetría		0.449
Curtosis		-0.836
Percentiles	25	18.75
	50	45.50
	75	74.75

Tabla 39. Estadísticos descriptivos de la profundidad efectiva .

Aunque la distribución presenta cierta asimetría positiva (figura 69) sus estadísticos de presentan niveles de significación sean más elevados que el crítico por lo que se puede afirmar que se trata de una distribución normal.

Horizonte superficial	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Profundidad efectiva	0.104	28	0.200 [*]	0.937	28	0.092

^{*} Este es un límite inferior de la significación verdadera.
a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 40. Pruebas de normalidad de la profundidad efectiva.

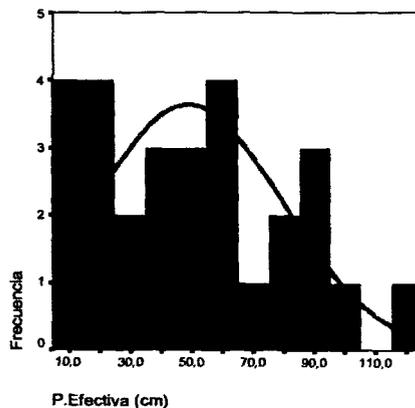


Figura 70. Histograma de frecuencias de la profundidad efectiva.

4.3.14. Propiedades biológicas y bioquímicas

El estudio de las propiedades tanto biológicas como bioquímicas se ha realizado únicamente en el horizonte superficial comparando por tanto entre diferentes usos: cultivado y natural. Debido a la importancia destacable de este tipo de parámetros y con el fin de realizar un estudio más profundo de los mismos hemos llevado a cabo, en primer lugar una presentación de los gráficos y estadísticos descriptivos y una discusión más exhaustiva sobre los diferentes resultados encontrados para este tipo de parámetros.

Los resultados obtenidos para este tipo de parámetros se encuentran en el Anexo I. Se analizan para ambas propiedades por separado y cada actividad enzimática específica, comparándolos con rangos de referencia tomados principalmente de las investigaciones realizadas por García et al. (2000) ya que proporcionan valores de los mismos en suelos degradados y naturales (tabla 41) con características similares a los de la presente tesis en cuanto a climatología se refiere, ya que todos ellos son suelos áridos del área mediterránea. En el caso de la actividad catalasa tomaremos los rangos obtenidos para diferentes suelos citados en la bibliografía por Trasar et al. (2003).

Los diferentes parámetros condicionantes de los procesos bioquímicos como luz, temperatura, humedad, pH o concentración del sustrato en el campo rara vez llegan a ser óptimos para el desarrollo de estas actividades bioquímicas en el sistema (Nannipieri, 1994). Por ello, los resultados obtenidos en las actividades enzimáticas de los suelos deben considerarse como medidas potenciales, al utilizar sustratos en exceso y controlar todas las variables que pueden influir en el desarrollo de las mismas (García-Gil, 2001).

Parámetros biológicos					
Tipo suelo	C biomasa μg C g⁻¹	C_{bio}/COT (%)	Respiración basal μg C-CO₂ g⁻¹ d⁻¹	q (CO₂) μg C-CO₂ μgC_{bio} h⁻¹	
Degradado	195.9	2.63	18.20	5.38	
Natural	450		81.20	5.20	
Parámetros bioquímicos					
Tipo suelo	Ureasa μmol NH₄⁺ g⁻¹h⁻¹	Proteasa μmol NH₄⁺ g⁻¹h⁻¹	Glucosidasa μmol PNP g⁻¹h⁻¹	Fosfatasa μmol PNP g⁻¹h⁻¹	Deshidrogenasa μmol INTF g⁻¹
Degradado	0.88	0.51	30.3	31.8	24.9
Natural	1.4	1.6	105	127	90

Tabla 41. Valores de referencia de actividades enzimáticas (García et al., 2000).

Tipo suelo	Actividad Catalasa (mmol O₂ g⁻¹ h⁻¹)	Referencia
Agrícolas	2.20-1.62	García-Álvarez e Ibáñez, 1994.
Forestales	0.24 – 3.28	Trasar-Cepeda et al., 1999.

Tabla 42. Valores de referencia de catalasa en diferentes suelos (Trasar et al., 2003).

4.3.14.1. Parámetros biológicos

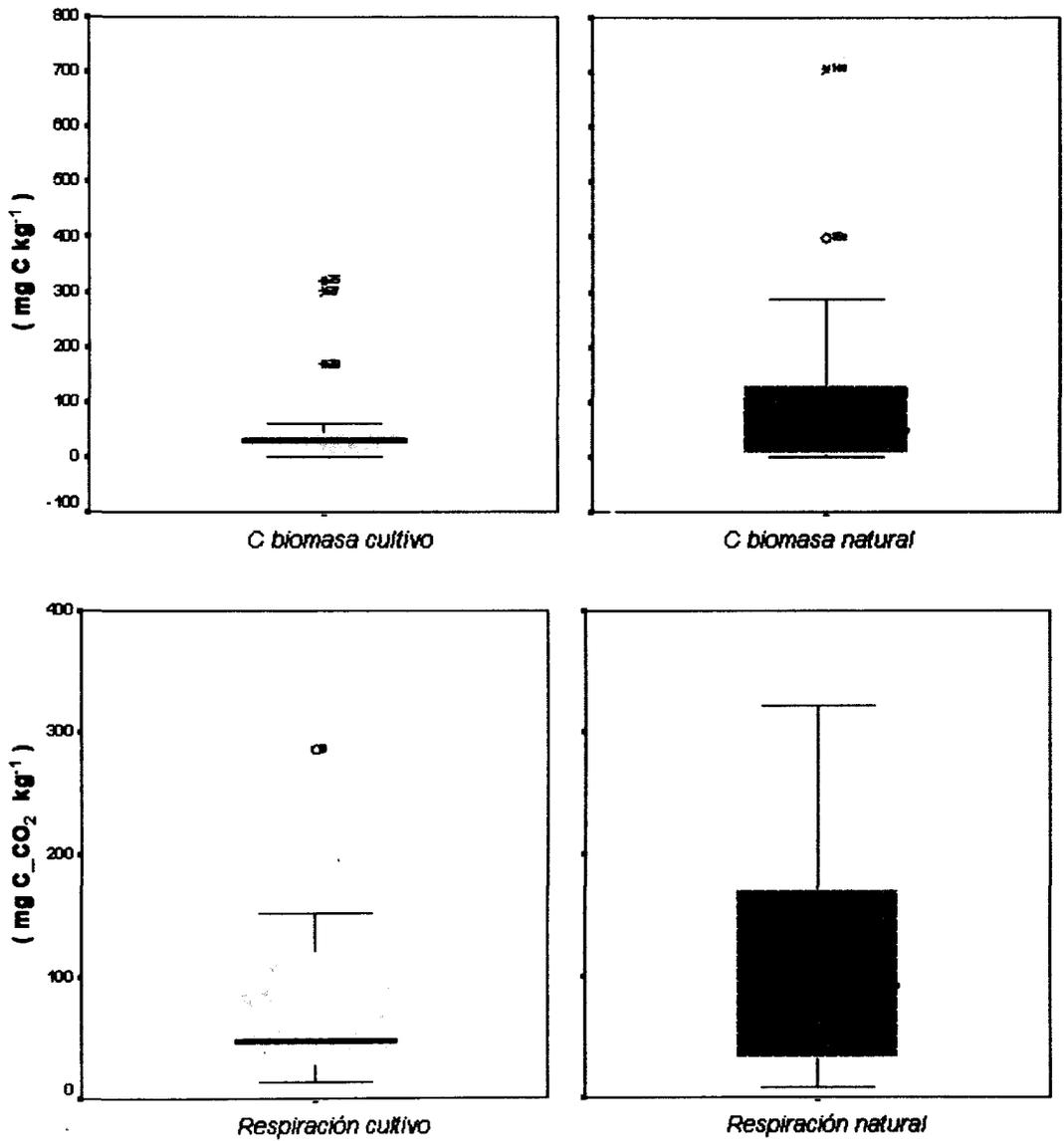


Figura 71. Diagramas de caja y bigotes de las propiedades biológicas.

En el suelo cuyo uso es el cultivo se encuentran como casos atípicos (25, 27 y 28) en el carbono de la biomasa mientras para la respiración se encuentran como casos extremos (3, 4 y 5). Los suelos bajo vegetación natural y en el caso específico del carbono de la biomasa se presentan un único caso atípico (14 bajo encinar) y uno extremo (16 bajo eucalipto).

	Suelo cultivo		Suelo natural	
	Carbono biomasa	Respiración microbiana	Carbono biomasa	Respiración microbiana
Media	23.33	62.06	68.10	105.07
Mediana	26.21	44.30	44.86	91.28
Desv. típ.	18.93	43.97	83.06	85.56
Asimetría	0.12	0.81	1.90	1.21
Curtosis	-1.13	-0.74	4.16	1.85
Percentiles				
25	3.42	27.50	4.35	31.04
50	26.21	44.30	44.86	91.28
75	35.84	107.30	113.34	170.78

Tabla 43. Estadísticos descriptivos de las propiedades biológicas.

El carbono de la biomasa resulta no seguir una distribución normal en ninguno de los casos estudiados, tal y como se desprende de las diferentes pruebas de la tabla 44.

Suelo cultivo	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Carbono biomasa	0.242	12	0.050	0.844	12	0.031
Respiración microbiana	0.203	12	0.186	0.877	12	0.079
Suelo natural	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Carbono biomasa	0.255	12	0.030	0.788	12	0.007
Respiración microbiana	0.157	12	0.200*	0.873	12	0.072

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

Tabla 44. Pruebas de normalidad de las propiedades biológicas.

Los histogramas de frecuencias (figura 72) muestran cómo en los dos casos la distribución sigue una tendencia similar. En la primera, bajo cultivo, se aprecia una elevada frecuencia con valores muy bajos a la vez que coexisten otras con valores más elevados. Lo mismo sucede bajo vegetación natural

donde se aprecia una baja frecuencia de valores muy elevados que hace que parezca dos tipos de poblaciones distintas. La respiración microbiana presenta una distribución de frecuencias más homogénea.

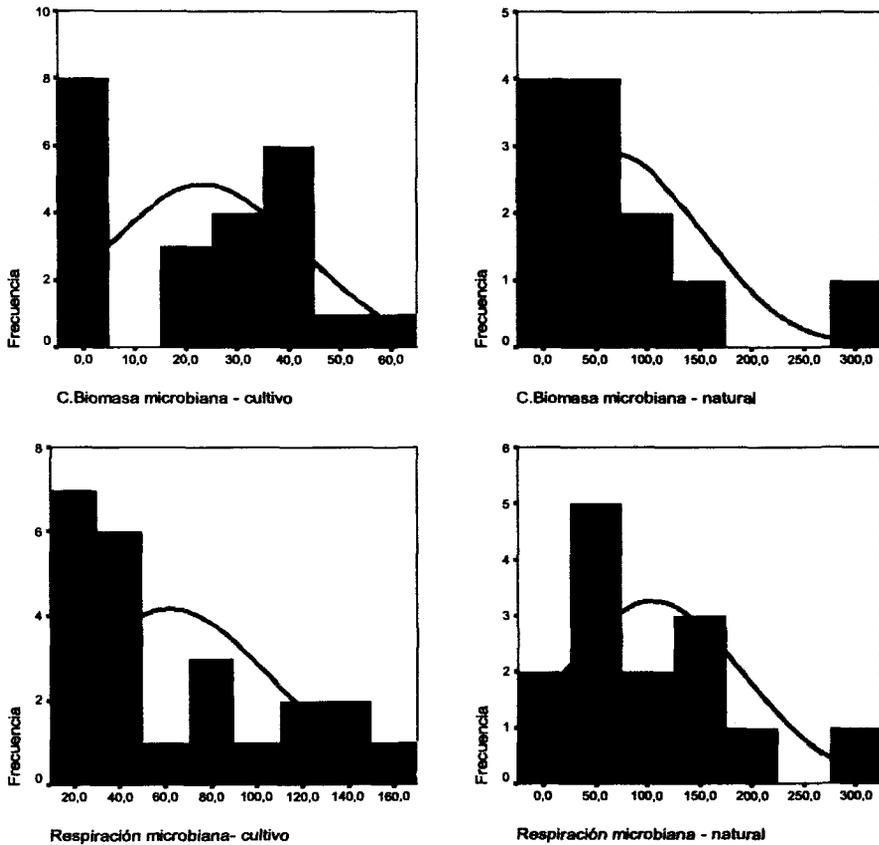


Figura 72. Histogramas de frecuencias de las propiedades biológicas.

La figura 73 es representativa de los parámetros medidos y de los dos índices obtenidos a partir de los mismos. Tanto en el caso del carbono de la biomasa microbiana como en la respiración basal se observa una mayor actividad sobre los suelos naturales que en los cultivados, siendo el carbono de la biomasa el que presenta mayor diferenciación entre ambos usos. Por el contrario, los índices hallados (cociente metabólico y relación Cbiomasa/Corgánico) presentan una tendencia opuesta a los anteriores, siendo todas ellas inferiores a los referenciados en la tabla 41, exceptuando la respiración microbiana, más elevada en ambos casos.

	C biomasa (mg C kg⁻¹)	Cbio/COT (%)	Respiración microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹ día⁻¹)	q CO₂ (µg C-CO₂ µgC_{bio} h⁻¹)
Cultivo	23.3	1.67	62.1	0.11
Natural	68.1	1.66	105.1	0.06

Tabla 45. Valores medios de las actividades sobre suelos de cultivo y naturales.

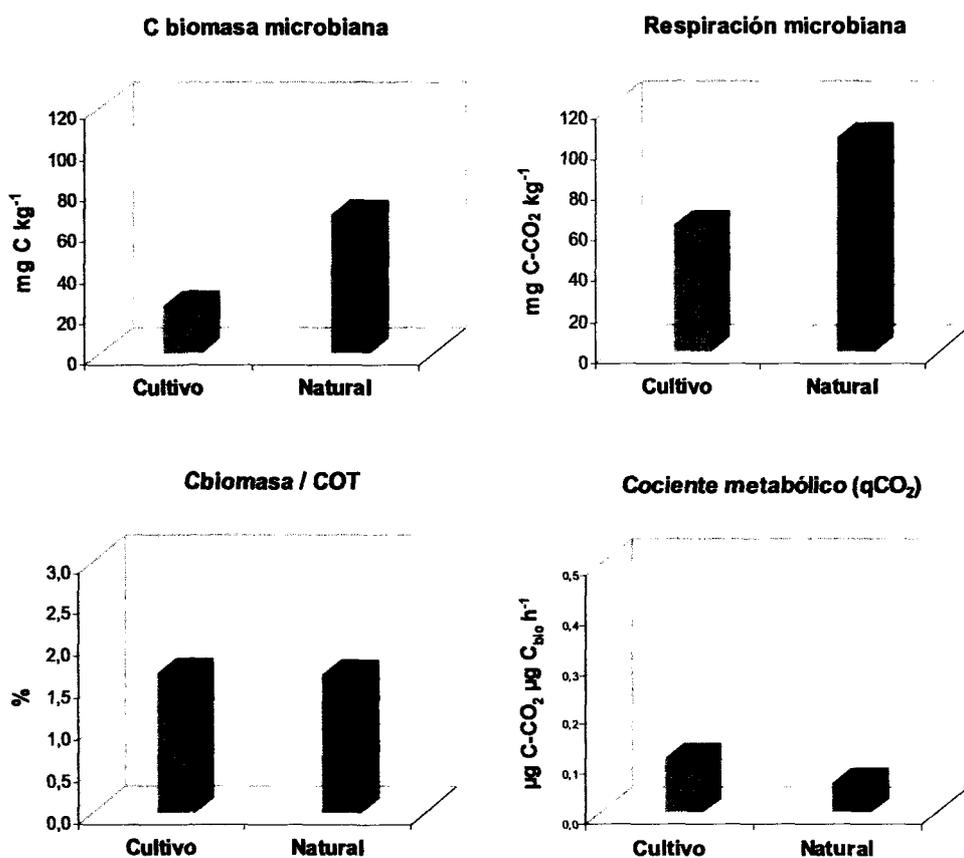


Figura 73. Comparación de parámetros biológicos en suelos cultivados y naturales.

4.3.14.1.1. Carbono de la biomasa microbiana

Es el parámetro que mayor variabilidad presenta en los resultados obtenidos, razones que llevaron a Smith y Papendick (1993) a sugerir el no usar este parámetro individualmente, recomendándolo especialmente para realizar comparaciones entre distintos tratamientos. Es generalmente muy bajo si comparamos los dos tipos de suelos con los citados por la bibliografía (Dick, 1992; García et al., 2000).

Los bajos valores que presentan numerosos suelos, como los valores nulos de los suelos 1 (Villacañas), 17 (Daimiel) y 19 (Cañaveras) hacen que su valor medio sea inferior a lo esperado. Esta falta de actividad puede deberse a la gran concentración salina que afecta directamente a su actividad en el caso del suelo 1, por ser salino, y el 19, característicamente yesífero. El suelo 17 también representa un caso especial por su emplazamiento sobre suelo permanentemente encharcado en las Tablas de Daimiel, característica que va a influir en la biodisponibilidad de cualquier sustrato potencial o xenobiótico inhibitorio (Burns, 2003). Asimismo, el resto de suelos con bajos valores de este parámetro son aquellas que presentan un alto contenido en carbonatos, factor que también podría influir negativamente.

Por el contrario, el suelo con el valor más elevado es el 14 (Alaminos II) bajo cubierta de encinar con una actividad de $706.6 \text{ mg C kg}^{-1}$, seguidos por el suelo 16 (Almadén) con cubierta de eucalipto y el 29 también con cubierta vegetal.

4.3.14.1.2. Respiración microbiana

Los valores de referencia en la bibliografía se refieren generalmente al C desprendido y no al O_2 consumido por los microorganismos (Hernández y García, 2003). Para ello, y tras determinar la cantidad de O_2 consumido por los microorganismos a lo largo de los catorce días de incubación establecimos éste como directamente proporcional al carbono en forma de CO_2 emitido por los mismos. Aunque los valores encontrados tanto en suelos cultivados como en naturales son más elevados que los referenciados en la tabla 41, se encuentran dentro del rango encontrados en otros trabajos (Hernández y García, 1997; Pascual et al., 1999).

El grupo mayoritario de suelos cultivados presenta una respiración muy elevada, en algunos casos concretos muy similar o incluso superior en valor a la obtenida para su homólogo bajo cubierta vegetal, como ocurre en los suelos 12 (Mesones) y 21 (Villar del Horno). Asimismo los suelos que aparecían anteriormente con valores cero para el carbono de la biomasa microbiana cuentan con una actividad óptima. Suelos fuertemente antropizados como por ejemplo, 3, 4, 5 (Montiel), 12 (Mesones) y 14 (Alaminos II) presentan valores muy superiores. Estas elevadas respiraciones podrían deberse a posibles adiciones de algún tipo de fertilización química que haya servido como sustrato nutritivo para los microorganismos. A pesar de esto el suelo con mayor actividad de este tipo es el 16 (Almadén) con cubierta de eucalipto contrastando con la menor actividad encontrada en el caso del suelo 12 con cubierta de encinar.

Además se observan medidas muy variables, coincidiendo éstas con los suelos que presentan mayor contenido en carbonatos, distorsionando de esta forma la medida efectuada debido a la rehumectación de suelos alcalinos que contienen carbonatos ya que puede producir una producción abiótica de CO_2 (Hernández y García, 2003) y en suelos salinos por quedar atrapado parte del CO_2 entre los intersticios del suelo formando carbonatos, los cuales en presencia de iones Mg^{2+} y Ca^{2+} , formarán sales (Anderson, 1982).

4.3.14.1.3. Relación C.Biomasa microbiana/ C.Orgánico total

Los valores encontrados para esta relación son superiores en los suelos cultivados que en los naturales siendo ambos inferiores a los citados en la tabla 41. Estos resultados concuerdan con la afirmación de Sparling (1992) de que cuanto menor es la relación $\text{C}_{\text{bio}}/\text{C}_{\text{OT}}$ más estable es la materia orgánica del mismo y menos susceptible a cambiar. Así pues, aunque en una proporción muy baja, son los suelos naturales, con menor índice, los que poseen mayor estabilidad de su materia orgánica. Sin embargo, los valores obtenidos por los suelos cultivados son a su vez bajos al compararlos con la bibliografía.

Al analizar los resultados individualmente, encontramos que efectivamente los tres valores más altos corresponden a suelos cultivados (25, 27 y 28). Sin embargo, al comparar en aquellos suelos tomados bajo ambos usos, encontramos varias excepciones, en las que los valores sobre uso

natural son superiores a aquellos encontrados bajo cultivo. Esto es debido a la elevada respiración microbiana encontrada en la mayoría de ellos, representando de este modo los suelos 14 (Alaminos II), 15 (Henares) y 16 (Almadén) sobre eucalipto los más inestables en cuanto a la maduración de la materia orgánica se refiere. Esto puede ser debido a que se están produciendo procesos de mineralización de la misma debido a que estos suelos posean mayor contenido en materia orgánica y que una parte de la misma sea lábil o fácilmente degradable.

4.3.14.1.4. Cociente metabólico

Este parámetro es el cociente de la respiración microbiana específica del carbono de la biomasa ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{C}_{\text{bio}} \text{h}^{-1}$). Este índice presenta valores medios muy bajos en ambos usos si lo comparamos con la tabla 41.

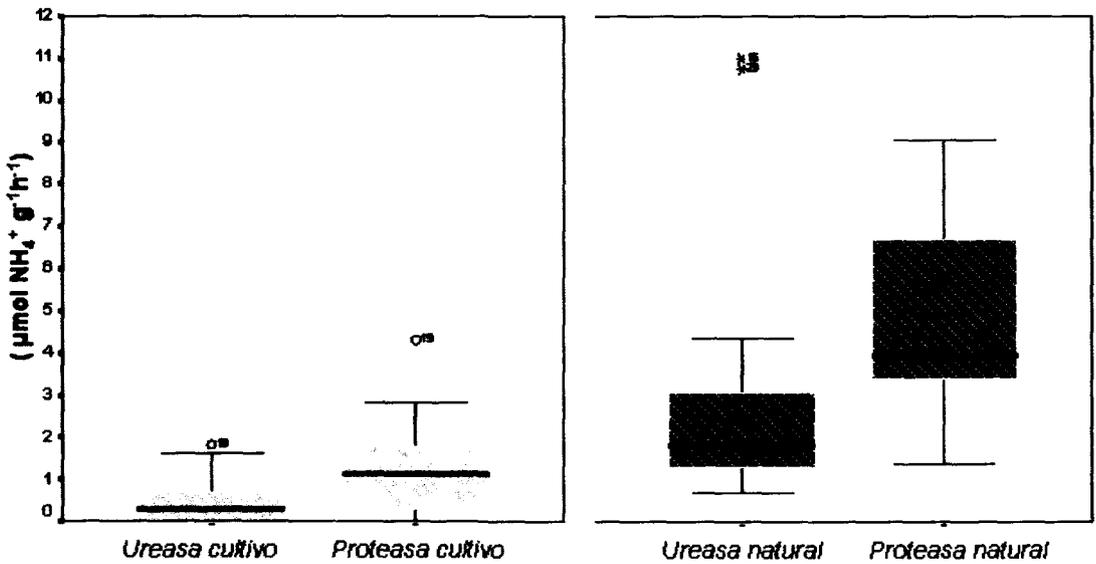
Los valores más bajos corresponden a los suelos naturales. De este modo se corrobora, y de acuerdo con Anderson y Domsch (1993), que el valor de $q\text{CO}_2$ decrece a medida que madura el ecosistema. Se encuentran algunas excepciones como es el caso de la muestra 20 que presenta mayor índice en suelo natural que en suelo cultivado, señal posible de que anteriormente ha estado sometido a algún tipo de estrés.

Entre los suelos cultivados destacar principalmente los altos valores obtenidos especialmente para el suelo 8 (Cozar III) con un valor extremo de 29.06 debido a su casi inexistente carbono de la biomasa y su bajísima respiración microbiana. También son destacables por sus elevados coeficientes los suelos 11 (Manzanares), 12 (Mesones) y 15 (Henares) sobre cultivo y 16 (Almadén) sobre olivar, señalando de este modo y según Nannipieri et al. (1997) que son éstos y en cuanto a esta propiedad se refiere, los suelos que mayor degradación han experimentado.

4.3.14.2. Propiedades bioquímicas

Este tipo de propiedades formadas por las actividades ureasa, proteasa, β -glucosidasa, fosfatasa, deshidrogenasa y catalasa, se caracterizan como las anteriores en su gran sensibilidad aportando una gran variabilidad a los resultados obtenidos. Por ello se observa que la figura 74 cuenta con diagramas de caja de gran altura, debido a la dispersión presentada en los datos de los suelos analizados.

Tal y como explicaremos más adelante, se observan unas diferencias significativas si comparamos ambos usos, siendo efectivamente mayores los valores encontrados en suelos cuya cobertura es natural para la totalidad de las actividades enzimáticas analizadas.



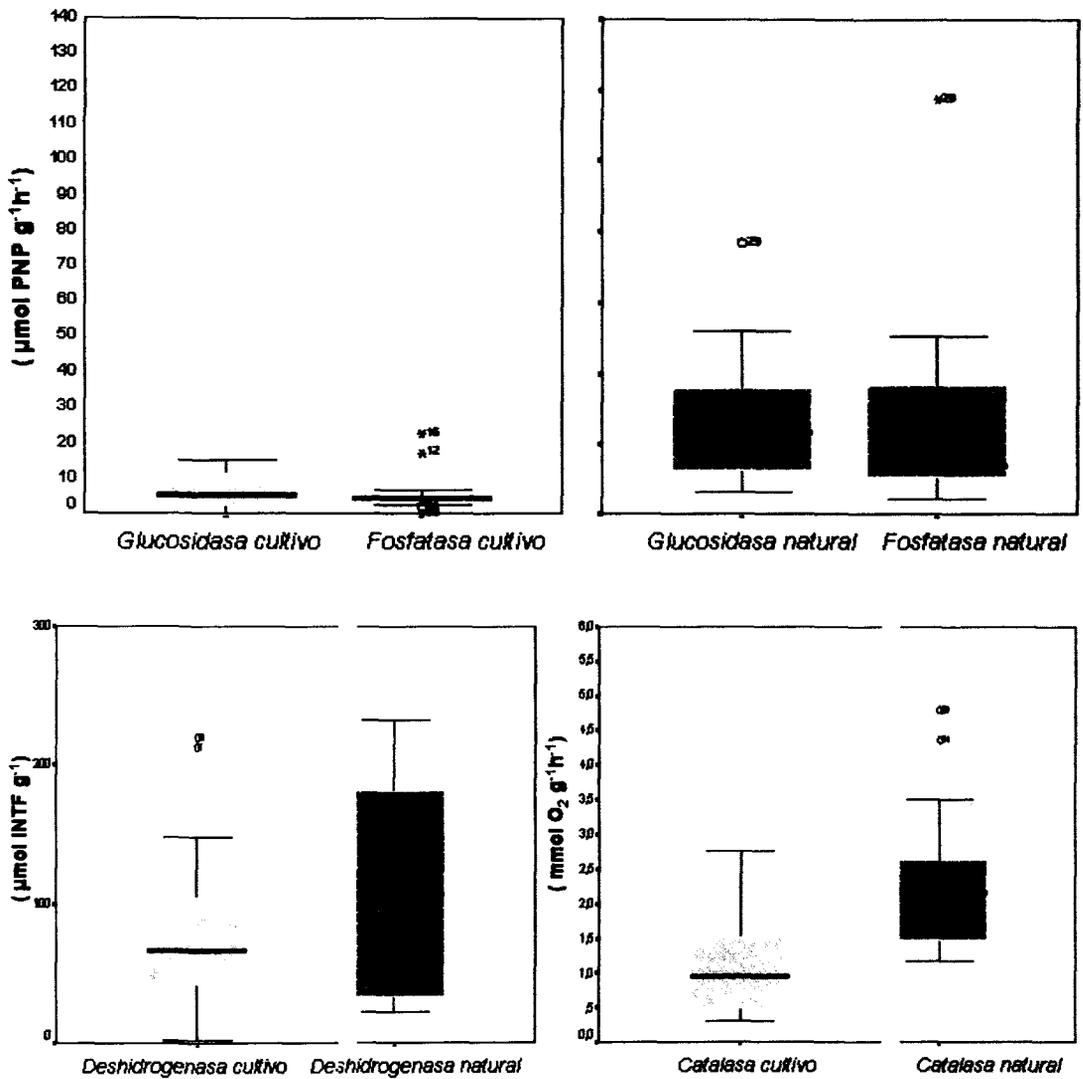
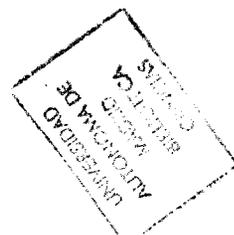


Figura 74. Diagramas de caja y bigotes de las propiedades bioquímicas.

La tabla 47 muestra como son varias las enzimas cuyo nivel de significación de Shapiro-Wilk es inferior al límite crítico. En el caso de los suelos cultivados aparecen como distribuciones no normales la ureasa, proteasa y fosfatasa mientras para suelos naturales son la catalasa y la fosfatasa las propiedades que no cumple la premisa de normalidad.



Suelo cultivado							
	Catalasa	Ureasa	Proteasa	Glucosidasa	Fosfatasa	Deshidrogenasa	
Media	1.10	0.37	1.07	6.63	4.07	66.42	
Mediana	0.96	0.30	1.15	5.38	4.13	62.85	
Desv. típ.	0.79	0.37	0.77	4.91	1.64	35.20	
Asimetría	0.93	1.72	0.26	0.26	-1.06	0.47	
Curtosis	-0.15	4.36	-0.60	-1.23	1.85	-0.04	
Percentiles	25	0.44	0.05	0.29	2.35	3.68	42.06
	50	0.96	0.30	1.15	5.38	4.13	62.85
	75	1.60	0.68	1.76	11.42	4.98	94.06

Suelo natural							
	Catalasa	Ureasa	Proteasa	Glucosidasa	Fosfatasa	Deshidrogenasa	
Media	2.37	1.97	4.79	23.74	19.93	109.19	
Mediana	2.16	1.74	3.95	22.81	13.94	107.12	
Desv. típ.	1.14	1.01	2.22	13.96	15.36	77.95	
Asimetría	1.09	1.25	0.63	0.61	0.91	0.27	
Curtosis	0.40	1.57	-0.42	-0.37	-0.62	-1.70	
Percentiles	25	1.42	1.22	3.39	12.35	8.43	33.40
	50	2.16	1.74	3.95	22.81	13.94	107.12
	75	2.84	2.66	6.81	34.44	35.98	186.32

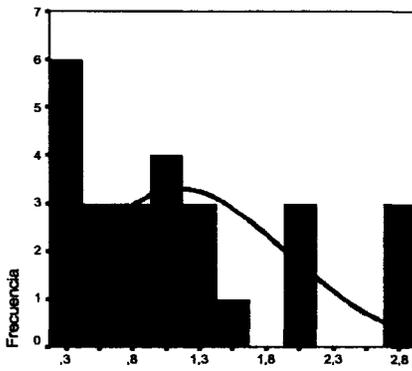
Tabla 46. Estadísticos descriptivos de las propiedades bioquímicas.

Suelo cultivado	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Catalasa	0.182	19	0.099	0.908	19	0.067
Ureasa	0.141	19	0.200 [*]	0.900	19	0.049
Proteasa	0.137	19	0.200 [*]	0.895	19	0.040
Glucosidasa	0.149	19	0.200 [*]	0.924	19	0.134
Fosfatasa	0.226	19	0.012	0.889	19	0.031
Deshidrogenasa	0.173	19	0.138	0.938	19	0.240
Suelo natural	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Catalasa	0.186	12	0.200 [*]	0.849	12	0.036
Ureasa	0.202	12	0.191	0.899	12	0.152
Proteasa	0.249	12	0.038	0.893	12	0.129
Glucosidasa	0.152	12	0.200 [*]	0.931	12	0.390
Fosfatasa	0.276	12	0.012	0.823	12	0.017
Deshidrogenasa	0.192	12	0.200 [*]	0.885	12	0.101

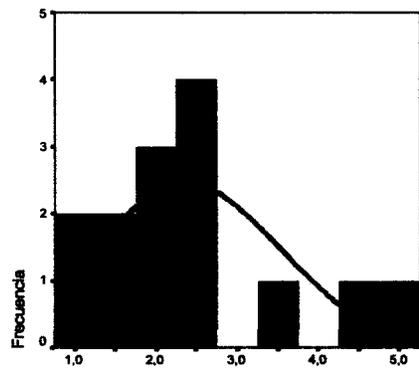
* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors.

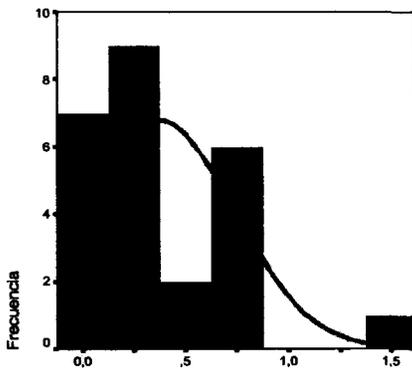
Tabla 47. Pruebas de normalidad de las propiedades bioquímicas.



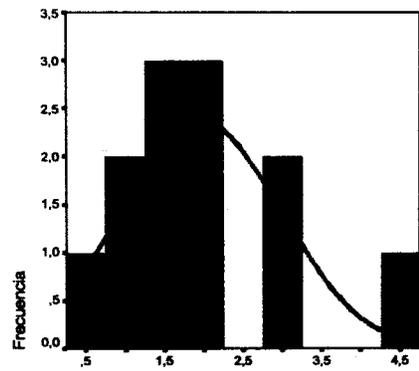
A. Catalasa - cultivo



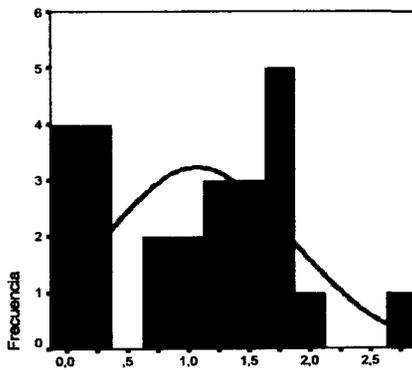
A. Catalasa - natural



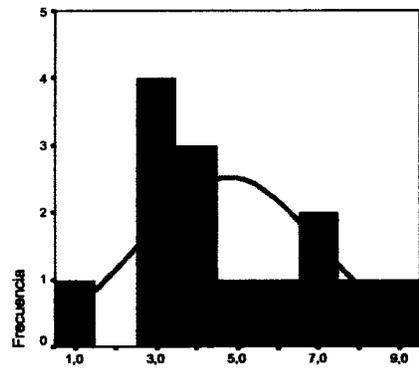
A. Ureasa - cultivo



A. Ureasa - natural



A. Proteasa - cultivo



A. Proteasa - natural

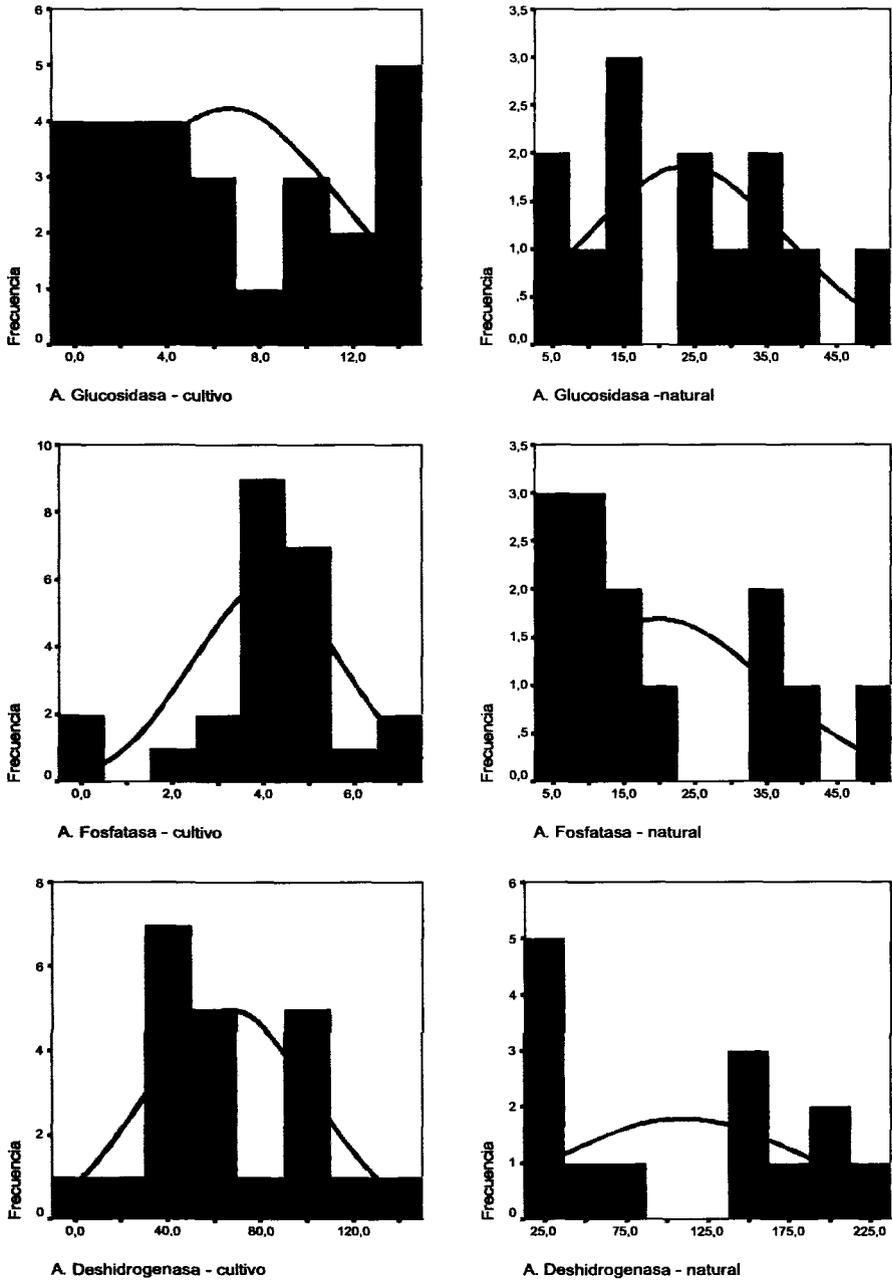


Figura 75. Histogramas de frecuencias de las propiedades bioquímicas.

Aunque las diferencias encontradas en este tipo de parámetros entre los suelos naturales y manejados (figura 76) corroboran los resultados obtenidos por García et al (2000) se ha de señalar sin embargo, que los valores medios encontrados en este estudio (tabla 48) no concuerdan con sus valores, como en el caso de la β -glucosidasa y fosfatasa (menores) mientras la deshidrogenasa medida sobre suelos agrícolas presenta un valor medio sensiblemente superior al de referencia (tabla 42).

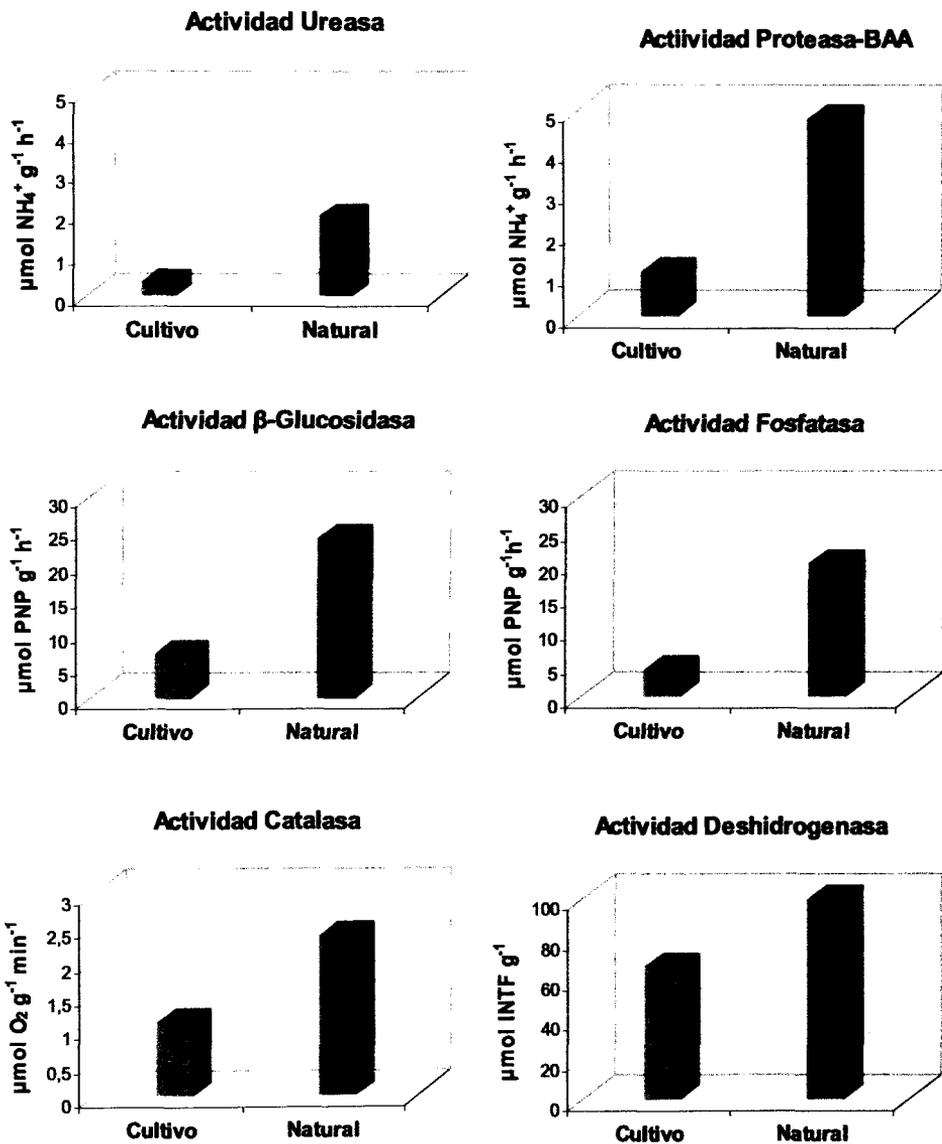


Figura 76. Comparación de los parámetros bioquímicos en suelos cultivados y naturales.

La gran variabilidad característica de la determinación de este tipo de propiedades hace que sean muy diversos los rangos establecidos por diversos autores.

	Ureasa $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Proteasa $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Glucosid. $\mu\text{mol PNPg}^{-1} \text{h}^{-1}$	Fosfatasa $\mu\text{mol PNPg}^{-1} \text{h}^{-1}$	Catalasa $\mu\text{mol O}_2 \text{g}^{-1} \text{min}^{-1}$	Deshidrogen. $\mu\text{mol INTFg}^{-1}$
Cultivo	0.37	1.07	6.6	4.1	1.10	66.4
Natural	1.97	4.79	23.7	19.9	2.37	109.2

Tabla 48. Valores medios de las actividades enzimáticas sobre suelos de cultivo y naturales.

4.3.14.2.1. Actividad Ureasa

En la mayoría de los suelos analizados se observan que los valores correspondientes al suelo natural son sensiblemente más altos que bajo cultivo, excepto en el suelo 24 (Balazote) donde la actividad sobre cultivo es muy similar a la natural superándola en valor. Tanto los resultados obtenidos como los valores de referencia (tabla 42) son muy bajos, exceptuando la actividad medida bajo suelo natural (29, Cabañeros) cuyo valor es el máximo de los analizados e incluso superior al medido por los mismos autores en un suelo reforestado ($4.24 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$). Los suelos 1 (Villacañas), 8 (Cozar III), 11 (Manzanares), 21 (Villar del Horno), 25 (Manchuela de Cuenca) y 27 (Don Martín) presentan unos valores excepcionalmente muy por debajo de la media lo que puede ser indicativo de un proceso degradativo de los mismos.

4.3.14.2.2. Actividad Proteasa

Los valores obtenidos para esta actividad siguen prácticamente la tendencia de la actividad ureasa, con valores muy similares a los referenciados. Por el contrario, y en el caso de ambas actividades, el suelo 29 (Cabañeros) presenta actividades muy superiores a los valores citados. El menor valor encontrado es un nulo para la muestra 21 (Villar del Horno), mientras los suelos 7 y 8 (Cozar) también sobresalen por su casi inexistente actividad proteasa. La tendencia general es la de aumentar su actividad al ser más natural

encontrando excepciones en el caso del suelo 19 (Cañaveras).

En ambas actividades, ureasa y proteasa, se muestran unas diferencias muy significativas entre suelo virgen, como es el 29 (Cabañeros) y suelo cultivado. Estos últimos, sin una cubierta vegetal estable, sin sustrato añadido y sin exigencia por parte de los microorganismos son los causantes de los bajos valores encontrados tal y como demostraron García et al. (2000) señalando la presencia de vegetación como la clave para la síntesis de este tipo de enzimas relacionadas con el ciclo del nitrógeno.

4.3.14.2.3. Actividad β -Glucosidasa

Hay que resaltar que las diferencias entre cultivo y natural resultan más pronunciadas en este caso, excepto en los suelos 19 (Cañaveras) y 24 (Balazote) donde los valores dados para ambos usos son muy similares. Por el contrario, los suelos 7, 8 (Cozar), 21(Villar del Horno) y 28 (Don Martín) son nuevamente los menos activos mientras el 29 presenta los valores más elevados.

De acuerdo con García-Gil (2001) las fracciones lábiles de carbono (polisacáridos) en especial la celulosa procedente de restos vegetales, junto con diversos compuestos provenientes de la mineralización de la materia orgánica del suelo, actúan como sustratos para esta enzima y estimulan la actividad microbiana (García et al., 1998; Bandick y Dick, 1999; García-Gil et al., 2000). La baja concentración de carbono en los suelos cultivados hace que no exista sustrato en el medio para activar la síntesis de esta enzima, por lo que los suelos bajo vegetación natural, con mayor contenido en carbono, presenten valores bastante más altos que aquellos bajo cultivo (García et al., 2000).

4.3.14.2.4. Actividad Fosfatasa

La mayoría de los resultados presentan valores muy inferiores a los tomados como referencia en la tabla 15. El suelo 29 (Cabañeros) sobresale de nuevo encontrándose dentro del rango de magnitud propuesto para los suelos naturales, al contrario que los suelos 8 (Cozar) y 18 (Huete) con valores significativamente inferiores a la media.

En el presente trabajo se ha determinado la fosfatasa ácida, por lo que, como afirman Trasar et al. (2003) un pH ácido va a ser la condición óptima para el desarrollo de esta actividad, hecho demostrado en los resultados obtenidos, en el caso de los suelos 12 (Mesones), 16 (Almacén), 22 (Alcudia) y 29 (Cabañeros). Según lo expuesto por otros autores (García-Gil et al., 2000, Plaza, 2002), la síntesis de esta enzima se activa cuando existe una disponibilidad baja de fósforo en el suelo inhibiéndose con la presencia de altas concentraciones. Esto podría explicar los bajos valores que presentan los resultados obtenidos como consecuencia del proceso de retroalimentación en el sistema, que activa o inhibe la síntesis de esta enzima en función de los requerimientos de la biota del suelo y los contenidos en fósforo asimilable del mismo (Nannipieri et al., 1979).

4.3.14.2.5. Actividad Catalasa

Los resultados obtenidos concuerdan con los valores de referencia citados (tabla 16). Así el valor del suelo 1 (laguna de Villacañas) concuerda con el rango de valores dados por Radulescu et al (1984) para suelos semiencharcados lacustres (0.50-0.60), mientras el resto de valores bajo cultivo se ajustan en mayor o menor medida a los rangos establecidos por Trasar-Cepeda et al. (1999).

Se observa una tendencia generalizada que esta actividad es mayormente sintetizada en muestras naturales presentando el suelo 29 (Cabañeros) nuevamente el valor más elevado mientras el 8 (Cozar III) cuenta con el más bajo.

La actividad catalasa es un índice del metabolismo aerobio por lo que se hace necesaria la presencia de oxígeno para sintetizar esta enzima. Esto se

traduce en que suelos con mayor porosidad van a presentar una mejor aireación del suelo y favorecer los procesos metabólicos aerobios en los microorganismos, hecho constatado por Giusquiani et al. (1998) al aplicar diferentes dosis de compost al suelo. De lo anterior se deduce que la porosidad es un factor determinante de una mayor o menor actividad, pudiendo ser la compactación, sufrida por la mayoría de los horizontes superficiales de los suelos bajo cultivo durante el proceso de labranza, la causa fundamental de las variaciones entre suelo cultivado y natural.

4.3.14.2.6. Actividad Deshidrogenasa

La mayoría de los suelos tomadas sobre cultivo presentan valores muy variables y excesivamente altos, incluso superiores a los referenciados como naturales. Comparando los valores de los suelos naturales y cultivados se deduce que la mayoría son superiores en los primeros. En este caso es característicamente significativo, que el suelo 29, presenta un valor muy bajo si lo comparamos con la media obtenida para el resto de suelos naturales, siendo en este caso el 19 (yesífero bajo cubierta natural) el que presenta la mayor actividad deshidrogenasa. Su opuesto lo representa el suelo 12 (cultivado).

La medida de esta actividad enzimática es cuestionada por diversos autores (Nannipieri et al., 1990) debido a la gran influencia que los factores del medio tienen sobre ella. Esto hace que los valores obtenidos puedan ser muy variables.

4.3.14.3. Factores que afectan a los parámetros biológicos y bioquímicos

Tras analizar los diferentes parámetros biológicos y bioquímicos se ha de señalar que la mayoría de ellos han detectado las condiciones excepcionales como son los siguientes suelos:

El suelo 1 (Villacañas) corresponde a un suelo semiencharcado lacustre situado en un cultivo próximo al vaso lagunar de la Laguna Larga (Villacañas). Este suelo se caracteriza por su elevada salinidad (> 7 dS/m) y por presentar un pH de 9.2. Estos factores pueden ser la causa de los bajos valores obtenidos para la mayoría de enzimas, ya que la salinidad puede provocar efectos tóxicos para la mayoría de las actividades. Sin embargo, la deshidrogenasa es muy superior al resto situándose muy por encima del valor medio obtenido. Este resultado podría ser explicado por la presencia en el suelo de algún compuesto que actúe como sustrato para los microorganismos específicos de esta actividad.

El suelo 19 (Cañaveras) también presenta valor alto para la deshidrogenasa a pesar de contar con una salinidad alta (> 2 dS/m), reforzando la hipótesis de García et al. (2000) de que la presencia de Na_2SO_4 , asociado a un suelo yesífero en nuestro caso, podría ser capaz de mejorar esta actividad metabólica.

El suelo 16 (Almadén), tomado bajo cubierta de olivar presenta en la totalidad de las actividades enzimáticas determinados valores significativamente inferiores tanto a los hallados bajo un suelo del mismo tipo cultivado como bajo cubierta de eucalipto. El emplazamiento de este perfil sobre el que se tomó la muestra presentaba cierta inclinación que pueda ser la responsable de que el agua de lluvia no infiltre en el suelo con la consecuente falta de agua necesaria para que se desarrolle una actividad biológica óptima.

El suelo 29 (Cabañeros) presenta elevados valores en ambos parámetros. Su estado casi virgen, situado en el "Parque Nacional de Cabañeros", le confiere una gran calidad biológica.

Además de la gran susceptibilidad a los factores externos, la posible adaptación de la población microbiana a esas condiciones de estrés (García et al., 2000) pueden interferir en las características de los suelos analizados. Tras analizar los resultados obtenidos observamos que existen diversos factores que determinan de forma clara la calidad biológica y bioquímica, entre los que

se encuentran, además de la salinidad, los siguientes:

- *Presencia de carbonatos*

Afecta específicamente a la respiración microbiana, constatándose que los suelos cultivados presentan valores que podrían considerarse elevados para este uso específico. Tal y como indicaron Hernández y García (2003) los suelos calizos presentan mayores variaciones y elevados valores en este parámetro debido principalmente al desprendimiento de CO₂ de forma abiótica que va a aportar mayor actividad que la realmente específica de los microorganismos. La rehumectación inicial de estos suelos carbonatados es la responsable de este incremento abiótico de CO₂.

- *Vegetación*

Como se ha podido comprobar en la mayoría de los parámetros analizados el contenido en carbono orgánico, y por tanto, la presencia de cubierta vegetal es la clave para activar una actividad biológica óptima. Además, se ha comprobado que el tipo de vegetación presente en el suelo va a condicionar el desarrollo de diferentes parámetros. De este modo, y tras analizar los tres suelos correspondientes al 12 (Mesones), tomada bajo cultivo, jara (*Cistus ladanifer*) y encinar (*Quercus ilex*) y el suelo 16 (Almadén), tomada en cultivo, olivo (*Olea europaea*) y eucalipto (*Eucalyptus camaldutensis*), se han encontrado valores dispares en los parámetros analizados.

	C biomasa (mgC kg ⁻¹)	Cbio/COT (%)	Respiración microbiana (mgC-CO ₂ kg ⁻¹ día ⁻¹)	q CO ₂ (µg C-CO ₂ µgC _{bio} h ⁻¹)
Suelo 12 (Mesones)				
<i>Cultivo</i>	4.0	0.08	135.8	1.41
<i>Cistus ladanifer</i>	2.9	0.01	32.4	0.46
<i>Quercus ilex</i>	8.6	0.02	8.0	0.04
Suelo 16 (Almadén)				
<i>Cultivo</i>	50.8	0.23	52.3	0.04
<i>Olea europaea</i>	2.1	0.01	200.9	3.91
<i>Eucalyptus camaldutensis</i>	398.8	0.87	321.8	0.03

Tabla 49. Valores medios de las propiedades biológicas sobre los suelos 12 y 16.

En el caso de los resultados obtenidos para el suelo 12, es atípico el alto

valor de la respiración microbiana encontrada para el cultivo si lo comparamos con el obtenido sobre suelo natural (tabla 49). Este incremento podría ser debido a la aplicación de algún tipo de fertilización que haya actuado como sustrato para los microorganismos. Si observamos el cociente metabólico se aprecia claramente como ambos suelos naturales corroboran lo citado por Anderson y Domsch (1993) ya que éstos presentan valores muy inferiores a los que posee el suelo antropizado.

Los valores de la tabla 49 en relación al C de la biomasa se refieren son variables y bajos para el suelo 12, sin embargo, la relación C biomasa/Corgánico indica el decrecimiento del mismo conforme aumenta la estabilidad de la materia orgánica (Sparling, 1992). Se desprende de lo anterior que según la propiedad biológica que señalemos encontramos una especie mayormente precursora que otra.

Este hecho contrasta con los valores obtenidos por las actividades enzimáticas (figura 77) donde se observa que en la mayoría de los casos los valores obtenidos son mayores en el suelo cuya cubierta es la jara a excepción de la actividad fosfatasa donde el suelo bajo encina supera al anterior.

	Ureasa $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Proteas	Glucosid. $\mu\text{mol PNPg}^{-1} \text{h}^{-1}$	Fosfatasa	Catalasa $\mu\text{mol O}_2 \text{g}^{-1} \text{min}^{-1}$	Deshidrog. $\mu\text{mol INTFg}^{-1}$
Suelo 12 (Mesones)						
<i>Cultivo</i>	0.30	0.80	2.5	17.3	0.31	3.0
<i>Cistus ladanifer</i>	4.33	8.15	16.0	35.4	1.75	73.7
<i>Quercus ilex</i>	2.09	5.66	12.7	50.2	1.82	41.0
Suelo 16 (Almadén)						
<i>Cultivo</i>	1.62	2.85	9.1	22.7	1.12	32.8
<i>Olea europaea</i>	0.27	1.19	6.5	8.7	0.96	16.4
<i>Eucaliptus camaldutensis</i>	10.98	4.52	35.0	41.3	3.50	32.8

Tabla 50. Valores medios de las propiedades bioquímicas sobre los suelos 12 y 16.

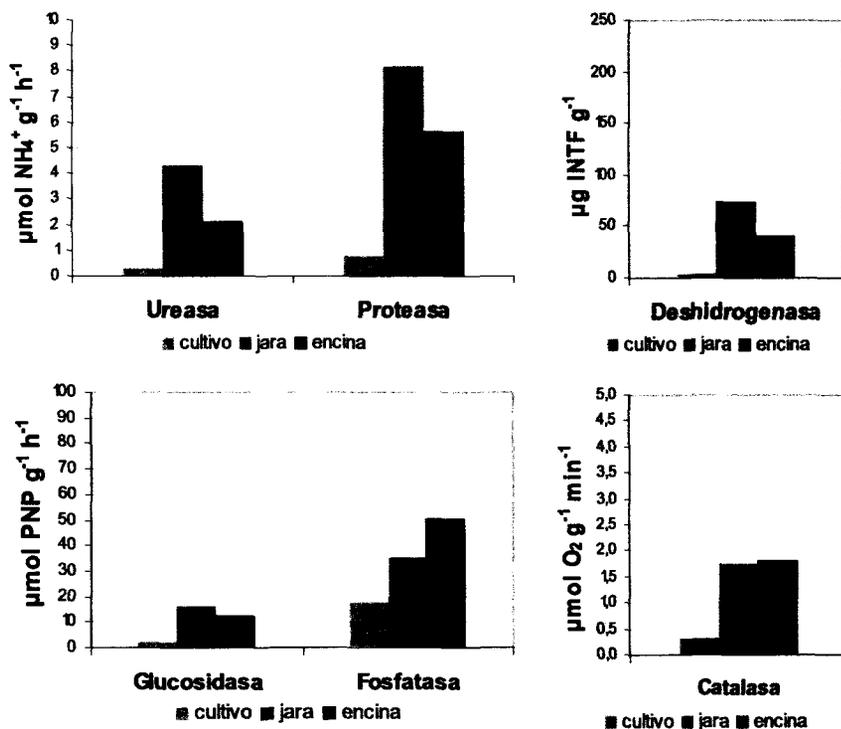


Figura 77. Resumen de las actividades enzimáticas del suelo 12 bajo diferentes usos.

El suelo 16 (Almadén) presenta resultados preliminarmente esperables si nos fijáramos únicamente en los valores de la respiración microbiana (tabla 49) ya que se observa que el suelo cultivado cuenta con el menor valor de los tres usos. Sin embargo, si observamos tanto los valores de carbono de la biomasa y su cociente metabólico, rectificáramos la hipótesis anterior, ya que en éstos el suelo cultivado parece tener mayor calidad que aquél bajo olivo. La posibilidad de algún tipo de fertilización podría explicar estos elevados valores de respiración, al igual que en el caso anterior. Es destacable también la elevada relación $C_{\text{bio}}/C_{\text{orgánico}}$ del suelo bajo eucalipto, ya que habría de esperarse un valor muy inferior, lo que podría deberse, como ya se comentó anteriormente, a la presencia de materia orgánica fácilmente degradable llevando asociado procesos de mineralización de la misma.

Para contrastar los resultados anteriores se muestra la figura 78, a partir de los valores hallados para las diferentes actividades enzimáticas, en la que se puede corroborar claramente la mayor actividad bioquímica presentado por el suelo bajo eucalipto, confirmando así que la cubierta vegetal de eucalipto tomada bajo suelo natural promueve, en mayor medida, una actividad biológica y bioquímica más intensa. Sin embargo, y contrario a los resultados obtenidos para la respiración microbiana, encontramos que las actividades enzimáticas son mayores en el suelo cultivado que sobre el olivar.

De los resultados obtenidos en los diferentes suelos analizados se puede concluir en primer lugar que la vegetación es clave indispensable para encontrar una actividad biológica óptima y adecuada para el buen funcionamiento del ecosistema presente en el suelo y que la antropización de los suelos conlleva una disminución muy significativa de su calidad.

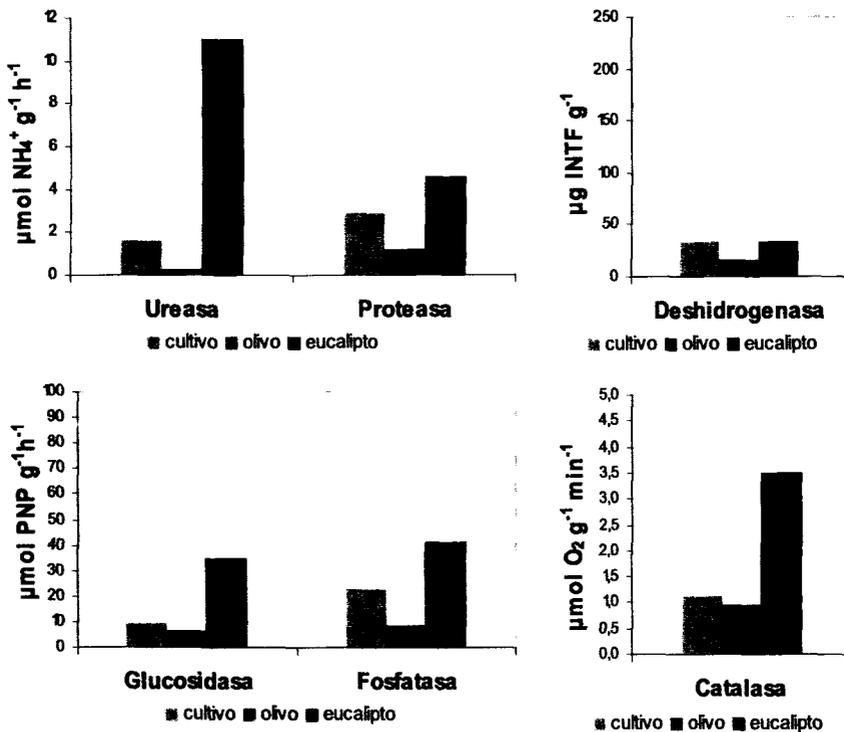


Figura 78. Resumen de las actividades enzimáticas del suelo 16 bajo diferentes usos.

Tras analizar los comportamientos de los diferentes tipos de cubierta vegetal frente a los propiedades biológicas y bioquímicas, podemos señalar que la especie de la misma si parece repercutir de alguna manera en la mayor o menor activación de ciertos parámetros específicos. Por esta razón no podríamos afirmar que una determinada especie vegetal es mejor biológica o bioquímicamente hablando sino que hay que señalar cuál es el atributo específico que promueve o para el que actúa de manera más efectiva como sustrato. Para llegar a un mejor conocimiento de por qué una especie favorece un tipo de enzima o propiedad biológica es necesario llevar a cabo mayor número de estudios especializados.

CAPÍTULO 5

FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD Y APLICACIÓN DEL MISMO

CAPÍTULO 5. FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD Y APLICACIÓN DEL MISMO

La finalidad de cualquier evaluación es diagnosticar, en primer lugar, a través de los análisis obtenidos, cuál es la calidad del proceso que se está dando en el suelo para que, en función del mismo actuar adecuadamente. Por ello, si el resultado tras el diagnóstico es desfavorable, entonces se está produciendo algún proceso de degradación, debiéndose actuar en consecuencia con el fin de remediar esa situación actual.

Para llevar a cabo este tipo de diagnósticos se utiliza un índice que aúne los parámetros más relevantes en relación al buen funcionamiento del suelo. Así, un índice de calidad pretende resumir en un único valor numérico un conjunto de propiedades variadas y complejas representativas de las funciones del suelo. Estas propiedades, denominadas indicadores, deben ser de naturaleza física, química y biológica. No obstante, Karlen et al. (2003a) afirman que no existe un índice ideal y que la evaluación debe priorizar los usos potenciales, identificar las funciones críticas del suelo necesarias para conseguir esas metas y seleccionar los indicadores que proporcionen una información útil del proceso específico que representan.

5.1. Métodos utilizados para elaborar un índice de calidad de suelos

Para conseguir una evaluación adecuada de los suelos se han de seguir los siguientes pasos, que según (Burger y kelting, 1999) serían:

- Establecer el tipo de suelo a evaluar.
- Identificar las funciones del suelo.
- Identificar los atributos que influyen en las funciones especificadas.
- Seleccionar un conjunto mínimo de indicadores representativos.

- Usar un modelo aditivo ponderado para combinar y cuantificar el cambio neto de los indicadores del suelo.
- Establecer unas condiciones base para comparar cambios en la calidad con diferentes sistemas de manejo.
- Validar las relaciones entre los índices de calidad y productividad.
- Controlar las prácticas que producen los cambios en los indicadores.
- Implementar un esquema de muestreo a lo largo del espacio y el tiempo.
- Analizar las tendencias sufridas en los indicadores y adaptar las prácticas de manejo.

Ahora bien, para combinar los indicadores seleccionados, representativos de las funciones en un índice, son necesarias varias etapas. La primera es la unificación de los diferentes parámetros en una escala adimensional, ya que cada una de ellas viene definida en diferentes unidades de medida, utilizando para ello las *funciones puntuadoras*. Finalmente éstas se resuelven en unos valores que ya sí pueden combinarse en un índice.

Con estas premisas, previamente al intento de elaborar un índice de calidad de suelos que permita evaluar el conjunto de suelos de Castilla-La Mancha consideramos oportuno realizar una revisión de los mismos, dado que existe una bibliografía exhaustiva sobre este tema.

En una primera aproximación es frecuente observar que para diversos autores la calidad del suelo se ha utilizado como método apropiado para evaluar las prácticas de manejo llevadas a cabo en un suelo, de tal forma que se han desarrollado índices para graduar y comparar la calidad de los suelos en diferentes lugares o en los mismos a lo largo del tiempo (Nortcliff, 2002, Sparling et al., 2004) o han desarrollado índices de calidad aplicándolo en suelos similares sometidos a diferente uso (Hussain et al., 1999).

Karlen et al. (1996) midieron varios indicadores con el objeto de detectar las diferencias atribuidas a varios cultivos y prácticas de manejo. Stamatis et al. (1996) compararon la calidad del suelo y el crecimiento de la planta en dos viñedos sometidos a dos sistemas de manejo, uno de tipo orgánico y otro de tipo convencional, mediante el estudio de C orgánico, N total, amonio, nitrato, P Olsen, K asimilable, C.I.C, carbonato cálcico, pH, conductividad eléctrica,

concentración en sales, respiración microbiana, infiltración de agua y población de microartrópodos y lombrices.

Gómez et al. (1996) propone una serie de indicadores sostenibles: producción, beneficio, frecuencia de error de cultivo, profundidad del suelo, C orgánico y cubierta del suelo permanente. Establecen límites a partir de los valores medios medidos en campo por medio de diferentes porcentajes y los analizan en el tiempo para estudiar la sostenibilidad de un sistema agrario.

Smith et al. (1994) desarrollaron una metodología para integrar un número ilimitado de indicadores de calidad en un índice global. El método llamado, Transformación de Indicador de Variable Múltiple (MVIT) transforma los datos medidos en un índice de calidad del suelo acorde con criterios específicos, establecidos independientemente para cada indicador. Para ello muestrearon suelos determinando en ellos el pH, conductividad eléctrica y nitrógeno inorgánico total. El método establece un código de 0 o 1 si los indicadores están o no dentro de los límites establecidos y los combina en un valor a partir del cual se puede usar para determinar la calidad de un suelo en áreas que no han sido muestreadas usando un método basado en geoestadísticas no paramétricas llamados indicador Kriging (IK).

En los últimos años los parámetros biológicos y bioquímicos han ido adquiriendo cada vez mayor relevancia. Prueba de ello son los trabajos encaminados a estudiar la influencia de éstos parámetros en una evaluación tales como los de Dick (1994), Schloter et al. (2003), Anderson (2003), Caravaca et al. (2002), Taylor (2002); Bending et al. (2004) quienes determinan como esenciales el uso de éstos por poseer una gran sensibilidad a los cambios producidos en él.

Dick (1994) enumera dos de los primeros índices relacionados con las actividades enzimáticas de los suelos. Stefanie (1984) propuso un índice biológico de fertilidad (BIF), calculado como:

$$BIF = \frac{DHG + kCA}{2}$$

A su vez, Beck (1984) proponía un Índice del número de enzimas (EAN) basado en medidas de la actividad deshidrogenasa (DH), catalasa (CA), fosfatasa alcalina (AP), proteasa (PR) y amilasa (AM), combinadas de la

siguiente forma:

$$EAN = 0.2 \times \left(DH + \frac{CA}{10} + \frac{AP}{40} + \frac{PR}{2} + \frac{AM}{20} \right)$$

Estimando valores medios de EAN de 1 a 4 para suelos cultivados y de 2 a 8 para pastos y bosques.

A partir de entonces son más frecuentes y variados los estudios proponiendo diferentes medidas de características bioquímicas como Turco et al. (1994) con la medida de biomasa microbiana, mientras otros proponen la combinación de varios atributos, por ejemplo Anderson (2003) quien toma como indicadores la respiración por unidad de biomasa (qCO_2) o la relación entre el C de biomasa microbiana y el C orgánico ($C_{mic}:C_{org}$). Bending et al. (2004) analizaron las relaciones establecidas entre parámetros bioquímicos y microbianos para diferenciar áreas con prácticas de manejo diferente resultando los parámetros microbianos más efectivos al detectar cambios en el uso. Sin embargo, resaltan la necesidad de abordar el estudio de ambos y de incluir una gran variedad de los mismos para mejorar la evaluación de los cambios.

Caravaca et al. (2002) analizaron propiedades químicas y bioquímicas (actividades enzimáticas) sobre suelos destinados a diferentes usos, comparando estos a suelos control desarrollados sobre suelos naturales. Para describir las diferencias entre ambos describieron un índice de sensibilidad calculado como:

$$IS = \frac{(p_i)_n}{(p_i)_a}$$

siendo el subíndice i la propiedad del suelo, n suelo natural y a suelo cultivado.

Además, van surgiendo grupos de investigación relacionado con la actividad biológica encaminadas o centradas en el estudio de la microfauna para incluirlas como indicadores fiables de la actividad biológica del suelo como parte fundamental en una evaluación de calidad completa y por su implicación directa en el resto de procesos dados en el suelo. Linden et al. (1994) sugieren la enumeración e identificación de fauna en el grupo (set de indicadores mínimos, afirmando que estas tienen una gran importancia tanto en la fabricación estructural del suelo como en las propiedades físicas, químicas y su potencial contribución en las funciones del suelo. Otros como Bohlen y

Edwards (1994) estudiaron la variación poblacional de nemátodos presentes en el suelo cuando este es sometido a diferentes tipos de fertilización mientras Eash et al. (1994) dirigen sus estudios hacia la actividad de hongos y los beneficios de ésta sobre las propiedades físicas del suelo.

Por otra parte, Parisi et al. (2005) señalaron la alta dependencia de los microartrópodos con el suelo y sus procesos. Para ello crearon un índice, llamado "Calidad Biológica del Suelo" (QBS) propuesto por Parisi et al. (2001), basado en el reconocimiento de los diferentes niveles de adaptación de los grupos sistemáticos al suelo. Asignan diferentes puntuaciones según un índice eco-morfológico (EMI), con valores de 1 a 20, según el grado de adaptabilidad de los grupos de fauna, cuya suma total representa el QSB.

Barbiroli et al. (2004) establecieron un índice de calidad basado en su fertilidad y en la presencia de varios tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Obtuvieron un índice de calidad general mediante la combinación de dos subíndices, el índice de calidad agrícola (AQI), basado en propiedades físicas, químicas y biológicas, y el índice de calidad multifuncional (MQI) basado en las sustancias contaminantes.

Liu et al. (2002) incorporaron el uso de actividades enzimáticas relacionadas con el C, N, P y S para evaluar la calidad de un suelo agrícola llegando a establecer una correlación significativa entre el índice de calidad y la producción.

Andrews et al. (2002a) contrastaron varios métodos para transformar indicadores en índices demostrando que los métodos de puntuación no lineal era más representativa que los métodos lineales. Así pues, la mayoría de autores han utilizado las curvas de puntuación por ser las más fiables y adaptarse mejor a los diferentes indicadores. Andrews et al (2002b) encontraron un índice hallado a partir de métodos estadísticos de ACP de la forma:

$$SQI = \sum_{i=1}^n 0,61 \times S_{SOMi} + 0,61 \times S_{ECi} + 0,16 \times S_{pHi} + 0,16 \times S_{WSAi} + 0,14 \times S_{Zni} + 0,09 \times S_{BDi}$$

Además, Andrews et al. (2003) calcularon un índice de calidad basado en tres funciones: ciclo de nutrientes, disponibilidad de agua y la

salinidad y modicidad. Los indicadores utilizados fueron: pH, P Olsen, K intercambiable, materia orgánica y biomasa microbiana para ciclo de nutrientes; densidad aparente, materia orgánica y estabilidad de agregados para disponibilidad de agua; conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio para la salinidad. Posteriormente tomaron funciones puntuadoras (Wymore, 1993) modificándolas y estableciendo límites según la bibliografía. Propusieron un índice de calidad de la forma:

$$SQindex = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \right) \times 10$$

donde S representa el valor del indicador y n el número de indicadores tomados. Multiplican por 10 para que el índice esté en una escala de 0 a 10 y ser así más manejable que en una escala 0-1.

También existen trabajos que muestran evaluaciones realizadas sin usar un índice de calidad, sino que adoptan el estudio de diferentes parámetros como indicadores de la calidad y estudian su evolución con el tiempo con el fin de comparar entre prácticas de manejo (Doran y Werner, 1990; Filip, 2002; De Clerck et al., 2003).

Liebig et al. (2004) estudiaron los efectos interactivos de la secuencia e intensidad del cultivo sobre las propiedades consideradas como indicadoras de la calidad del suelo recogidos desde el año 1984, siendo éstas: densidad aparente, pH, C.E, estabilidad agregados, Infiltración, nitratos, C orgánico, N total, C materia orgánica particulada, N materia orgánica particulada, %C y N potencialmente mineralizable, C biomasa microbiana y N biomasa microbiana. Encontraron sólo diferencias en los centímetros superficiales, a una profundidad de 0 -7.5cm.

Sparling et al. (2002), como ya se describió en el capítulo 1, evaluaron la calidad del suelo de Nueva Zelanda a través de siete parámetros: pH, C total, N total, N mineralizable, P Olsen, densidad aparente y macroporosidad (Sparling y Schipper, 2004). Por otra parte, desde que se creara el denominado Soil Quality Test Kit (USDA, 1999) ha sido aplicado en numerosos trabajos para evaluar las diferentes calidades en suelos bajo distinto uso (Sarrantonio et al., 1996) o comparándolo con otras metodologías (Evanylo y McGuinn, 2000;

Seybold et al., 2001; Seybold et al., 2002). Liebig et al. (1996) determinaron su grado de exactitud contrastándolo con procedimientos analíticos de laboratorio. Por último se ha aplicado a suelos de otros países como es el caso de Winder et al. (2003) en su estudio de la calidad del suelo de Alberta (Canadá).

Otras evaluaciones no usan medidas cuantitativas, sino que se basan en las características descriptivas del suelo. Éstas han sido desarrolladas con el fin de hacer la evaluación lo más simple posible e incorporando la participación del agricultor, como es el caso de las cartas de calidad usadas por numerosos autores en el reconocimiento de los suelos (Garlynd et al., 1994; Romig et al., 1996), como ya se mencionó en el capítulo 1.

5.2. Elaboración metodológica de un índice de calidad de suelos para Castilla-La Mancha

En el caso de los suelos de Castilla-La Mancha seguiremos el siguiente esquema metodológico:

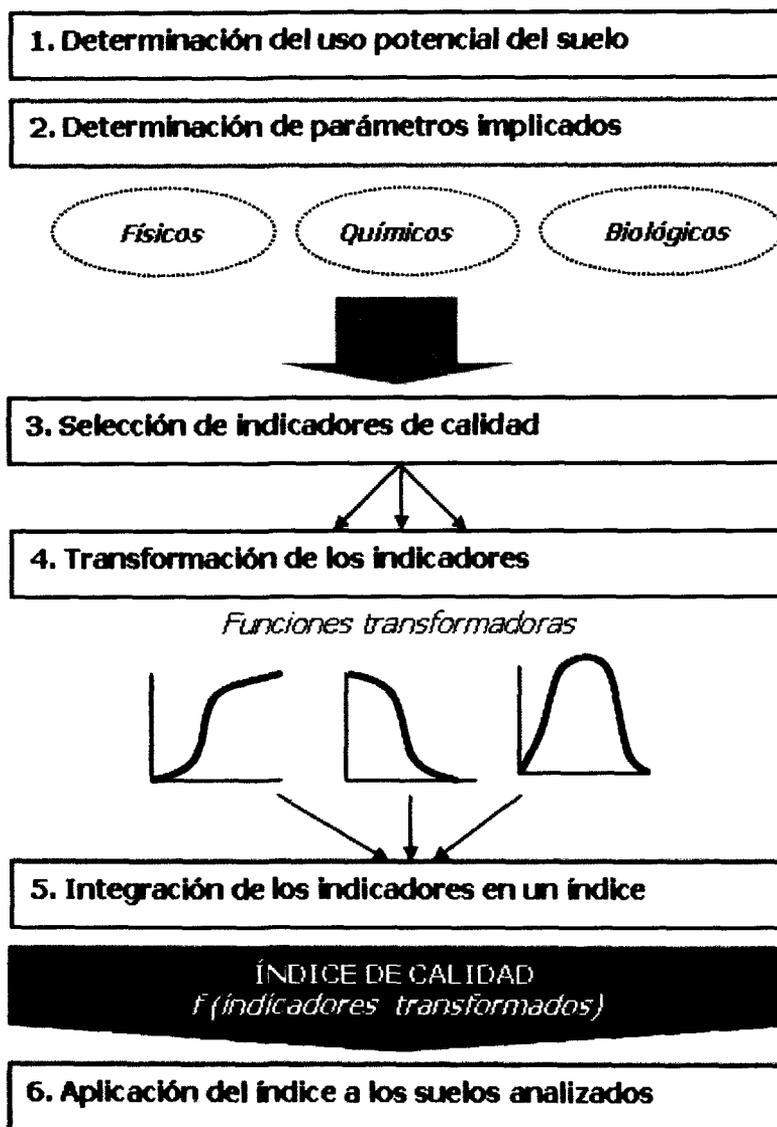


Figura 79. Esquema metodológico para la obtención de un índice de calidad de suelos en Castilla-La Mancha.

5.2.1. Establecimiento de un uso específico

Habida cuenta que uno de los recursos mayoritarios y fundamentales de Castilla-La Mancha son los suelos cultivados, consideramos que el uso específico de este debería ser por tanto agrícola. Aunque son numerosos los usos potenciales del suelo, con diferentes exigencias nutricionales para cada tipo de manejo, no es el fin de esta tesis el estudio detallado de la calidad del suelo específico de cada cultivo, sino que se tomarán consideraciones de carácter general. Esto no significa que sólo se tengan en cuenta parámetros relativos a la fertilidad.

5.2.2. Determinación de los parámetros implicados

El siguiente paso a seguir en la evaluación de la calidad es la selección de las propiedades a través de las cuales vamos a efectuar dicha evaluación. La selección preliminar y determinación de los atributos implicados en la calidad del suelo se ha basado en la opinión de expertos y secundariamente en la nuestra. Estos atributos se denominan indicadores una vez sean seleccionados como los idóneos para representar alguna función que proporcione información sobre el estado de salud del suelo. Sin embargo, las funciones implicadas son variadas y complejas ya que un indicador puede ser considerado de alta calidad para una función mientras puede resultar baja para otras. Como consecuencia de esto hay potencialmente muchas propiedades del suelo que pueden servir como indicadores de la calidad del suelo (Nortcliff, 2002), clasificados en la presente memoria como parámetros de naturaleza física, mineralógica, química, biológica y bioquímica.

5.2.3. Selección de un Conjunto Mínimo de Indicadores

La mayoría de estudios realizados basan la etapa preliminar de una evaluación en la selección de unas funciones específicas del suelo y mediante opinión de expertos han determinado cuáles son los indicadores más influyentes relacionados con dichas funciones (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Karlen et al., 1996). Sin embargo, los trabajos más recientes realizados sobre calidad están encaminados a utilizar funciones estadísticas para agrupar las propiedades analizadas en factores, representados por

combinaciones de cierto número de indicadores, por lo que se reduce de esta forma el número inicial de parámetros, escogiendo de este modo aquéllos que mejor representan la calidad del suelo (Anderson et al., 2002, Bredja et al., 2000 a,b; Sparling et al., 2004). De esta forma, varios autores han seleccionado los diferentes indicadores de calidad mediante análisis factorial, siendo el Análisis de Componentes Principales uno de los procedimientos más utilizados para este fin (Wander y Bollero, 1999; Shukla et al., 2005).

5.2.3.1. Desarrollo metodológico

Dentro del tratamiento estadístico multivariante se ha escogido el análisis factorial ya que se trata de un método muy utilizado en la reducción de los datos para identificar un pequeño número de factores por cuanto explique a la mayoría de la varianza observada en un número mayor de variables manifiestas. Para ello se aplicará un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el programa informático SPSS v11.5 para windows.

Siguiendo la metodología más reciente se ha aplicado un ACP como primera etapa para reducir las numerosas variables iniciales agrupándolas en factores, que son funciones lineales de las variables originales. Estas pueden referirse a funciones del suelo específicas (Jhonson y Wichern, 1992; Bredja et al., 2000). Los componentes principales (CP) o factores de un conjunto de datos se definen como combinaciones lineales de las variables que recogen la máxima varianza dentro del conjunto de datos mediante la descripción de vectores que mejor se ajusten a las n observaciones en el espacio p -dimensional, sujeto a ser ortogonal entre ellos (Dunteman, 1989).

Entre la bibliografía que aplica este procedimiento para reducir grandes grupos de datos (Wander y Bollero, 1999, Andrews y Carroll, 2001, Andrews et al., 2002, Shukla et al., 2005, entre otros) se citan una serie de criterios, detallados a continuación y que adoptaremos en el desarrollo de este trabajo:

- Los autovalores son la cantidad de varianza explicada por cada factor (Sharma, 1996). Se asume que los CP con autovalores altos son los que mejor representan los atributos del sistema, escogiendo por ello sólo los CP con autovalores ≥ 1 (Kaiser, 1960) y aquellos que expliquen por lo menos un 5% de la variación en los datos (Wander y Bollero, 1999).

- Para cada CP extraído, la saturación de una variable sobre un factor o CP extraído toma valores entre -1 y 1, coincidiendo su valor con la correlación entre la variable y el factor (Ferrán, 1993). Por lo tanto, sólo aquellas variables que presentan máxima saturación en valor absoluto sobre un factor van a identificarse como las más significativas. La discriminación se basa en seleccionar aquellas variables cuyos valores absolutos se sitúen dentro del 20% del peso máximo encontrado para esa componente.
- Cuando se retiene más de una variable en un CP es necesario examinar si están asociadas linealmente entre sí mediante la matriz de los coeficientes de correlación. Si las variables no se correlacionan (coeficiente <0.70) se mantienen en el análisis. Sin embargo, si existe un alto grado de correlación (>0.70) se consideran redundantes y deben ser eliminadas del análisis. En el caso de tener un gran número de variables en una sola componente se escogerán dos de ellas como más representativas sumando todos los coeficientes de correlación de las mismas. Se seleccionará aquella de mayor valor (valor absoluto) para el análisis por ser la que mejor representa al grupo (Andrews y Carroll, 2001) y, en caso de escoger otra adicional se determina cuál de las variables restantes presenta mayor número de no asociaciones lineales.
- Los factores retenidos son sometidos a una rotación Varimax, ya que esta redistribuye la varianza de cada factor para maximizar la relación entre las variables interdependientes (SAS Institute, 1989).

Las diferentes propiedades analizadas se han determinado en su mayor parte en los dos primeros horizontes de cada perfil, considerando que es sobre éstos dónde tiene mayor trascendencia para objetivos de calidad. Sin embargo, existen una serie de parámetros que han sido determinados específicamente en uno de los horizontes, es el caso de la actividad microbiana sobre el horizonte superficial y la capacidad de intercambio catiónico y las bases de cambio en el horizonte subsuperficial.

Por todo ello, y con el fin de llegar a un análisis multivariante adecuado se ha aplicado el ACP bajo dos estrategias:

- **Estrategia 1.** A cada horizonte por separado, incluyendo la totalidad de los parámetros analizados, coincidiendo con Shukla et al. (2005) que afirman que los factores determinantes en la calidad del suelo varían con la profundidad.

- **Estrategia 2.** A cada horizonte por separado, agrupando previamente los parámetros considerados inicialmente atendiendo a su naturaleza física y mineralógica, química y biológica (tabla 51), tal y como hicieran Wander y Bollero (1999).

Propiedades Físicas y Mineralógicas	
Arena (%)	Esmectita (%)
Limo (%)	Capacidad Campo (%H)
Arcilla (%)	Punto marchitamiento (%H)
Arena Muy Gruesa (%)	Agua útil (%H)
Arena Gruesa (%)	Humedad (%)
Arena Media (%)	Tasa de infiltración (mm min)
Arena Fina (%)	Densidad real (g cm ⁻³)
Arena Muy Fina (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)
Caolinita (%)	Porosidad (%)
Illita (%)	Profundidad efectiva (cm)
Propiedades Químicas	
	<i>Elementos asimilables</i>
pH en H ₂ O (1:2.5)	Na ⁺ (mg 100g ⁻¹)
pH en KCl (1:2.5)	K ⁺ (mg 100g ⁻¹)
Conductividad eléctrica (1:5)	Ca ²⁺ (mg 100g ⁻¹)
Carbono orgánico (%)	Mg ²⁺ (mg 100g ⁻¹)
Nitrógeno total (%)	P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)
C/N (%)	<i>Bases intercambiables</i>
Carbonato equivalente (%)	Na ⁺ (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)
Caliza activa (%)	K ⁺ (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)
C.I.C (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	Ca ²⁺ (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)
	Mg ²⁺ (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)
Propiedades Biológicas y Bioquímicas**	
	<i>Actividades enzimáticas</i>
C biomasa (mg C kg ⁻¹)	Fosfatasa (μmol PNP g ⁻¹ h ⁻¹)
Respiración microbiana (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ día ⁻¹)	Deshidrogenasa (μg INTF g ⁻¹)
	Catalasa (mmol O ₂ g ⁻¹ min ⁻¹)
	Ureasa (μmolNH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)
	Proteasa (μmolNH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)
	Glucosidasa (μmol PNP g ⁻¹ h ⁻¹)

*Medidas sólo en horizonte subsuperficial

**Medidas sólo en horizonte superficial

Tabla 51. Parámetros físicos, mineralógicos, químicos, biológicos y bioquímicos utilizados para elaborar un índice de calidad de suelos.

Los resultados obtenidos por el Análisis de Componentes Principales para cada uno de los casos se discuten a continuación.

5.2.3.1.1. Aplicación de ACP sobre horizontes superficiales

El análisis estadístico realizado sobre este horizonte ha extraído un total de 5 componentes, con autovalores ≥ 1 , que explican conjuntamente el 100% de la varianza total de las variables introducidas. En la tabla 52 se muestran los diferentes porcentajes explicados por cada uno de los componentes, así como el porcentaje total acumulado por todos ellos, valores que se utilizarán posteriormente para obtener los diferentes coeficientes de ponderación de los indicadores que sean seleccionados. Además se muestran en la misma los pesos que las diferentes variables tienen sobre cada uno de los componentes extraídos, determinados en la matriz de componentes tras aplicar una rotación Varimax.

A la hora de considerar los parámetros biológicos hemos tomado en consideración los resultados obtenidos para las muestras sobre cultivo, en caso de que existan otros usos diferentes.

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	10.593	9.640	8.030	7.681	7.056
% de la varianza	24.634	22.419	18.673	17.864	16.410
% acumulado	24.634	47.053	65.726	83.590	100.000
Variables					
pH agua	-0.257	-0.795	-0.303		-0.456
pH KCl	-0.409	-0.582	0.334	-0.155	-0.598
C. Eléctrica		0.688	0.663	-0.228	0.187
C. Orgánico	0.300	0.447	0.198	0.305	0.760
N total		0.470	0.143	0.145	0.859
C/N	0.856	0.193	0.111	0.416	0.212
Carbonatos		-0.426	0.685	0.546	-0.224
Caliza activa	-0.313	-0.332	0.133	0.447	-0.758
Caolinita	-0.858	0.460		-0.167	0.149
Illita	0.837	-0.506		-0.152	-0.136
Esmectita	-0.104	0.235		0.966	
Ca asimilable	0.337	0.774		-0.476	0.246
Mg asimilable	0.716	0.287	-0.420	0.382	-0.287

Na asimilable	0.714	0.451	-0.445	-0.161	0.250
K asimilable		-0.127	0.125	0.981	
P2O5 asimilable	-0.471	0.499	-0.325	0.621	0.193
Arena	0.231	0.278	0.912		-0.186
Limo	0.118		-0.230	0.931	-0.252
Arcilla	-0.274	-0.265	-0.549	-0.662	0.340
A.M.G	0.448	0.287	0.566	-0.435	0.455
A.G	0.341		-0.800	0.362	0.332
A.M.	0.930	0.182	-0.208		0.237
A.F	0.129	-0.105	0.960		-0.218
A.M.F	-0.893	-0.144	-0.332		-0.263
C. Campo	0.569	0.713		0.173	0.372
P. Marchitez	0.993				
Agua útil	-0.280	0.843		0.123	0.440
Humedad		0.534	0.700		0.468
T. Infiltración	0.301	-0.206	-0.908	-0.104	-0.179
D.Real	-0.773		0.140	0.548	-0.282
D. Aparente	-0.299		-0.738	-0.559	-0.231
Porosidad			0.748	0.634	0.195
Prof. Efectiva	-0.644	-0.328		0.261	-0.640
Catalasa		0.693		0.615	0.368
Ureasa	0.172	0.975	0.110		
Proteasa	-0.248	0.945		0.168	0.102
Glucosidasa		0.982			0.165
Fosfatasa	0.498	0.371	-0.615	0.391	0.287
Deshidrogenasa	-0.897	0.324	-0.208	0.218	
C biomasa	0.177		0.289	0.514	-0.788
Respiración	-0.688			-0.448	-0.566
Cbiomasa/COT	-0.247	-0.238	0.101		-0.932
qCO ₂	-0.437	0.466	-0.352	-0.465	0.501

Tabla 52. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre horizontes superficiales.

Analizando la tabla 52 observamos que en todas las componentes son más de dos las variables que tienen mayor peso sobre ellas. Por ello, y con la finalidad de desechar las variables redundantes recurrimos a la matriz de correlaciones (tabla 54) obtenida en el análisis para determinar si estos parámetros son dependientes entre sí, definidos como tal aquellos cuyos coeficientes de correlación sea ≥ 0.7 . Si no están correlacionadas se escogerán todos ellos como indicadores. Sin embargo, si esta correlación es positiva, se determina cuál de los parámetros es el más representativo del grupo analizando la matriz de correlaciones. Se hace la suma de los coeficientes en valor absoluto y se escoge la de mayor valor como indicador (Tabla 53).

Siguiendo los criterios establecidos anteriormente observamos que la primera componente se encuentra ponderada por numerosos parámetros. Por ello y para una mejor representatividad de esta componente se escogerán dos de los atributos, la relación C/N por ser la que menor correlación presenta con el resto y el punto de marchitamiento, por poseer la suma de coeficientes más elevada.

En la componente 2 se separa preliminarmente las variables en dos, las de naturaleza bioquímica y el resto, escogiendo dentro de estos dos subgrupos los de mayor valor en sus coeficientes de correlación, el pH en agua y la β -glucosidasa.

La arena fina es la propiedad de mayor peso en la componente 3 mientras también es seleccionada la densidad aparente por ser la variable que presenta menor correlación con el resto.

La esmectita es el indicador seleccionado para la componente 4 mientras en el factor final, son las variables biológicas las que presentan mayor saturación en la componente (Cbiomasa/COT) y el carbono de la biomasa microbiana por su mayor grado de independencia con el resto.

Variables CP 1	C/N*	Caolin.	Illita	A.M.	A.M.F	P. March.*	D.Real	Deshidrog.
C/N	1.000	0.688	0.531	0.834	0.903	0.910	0.488	0.637
Caolinita	0.688	1.000	0.948	0.659	0.684	0.836	0.498	0.892
Illita	0.531	0.948	1.000	0.653	0.648	0.782	0.658	0.958
A.M.	0.834	0.659	0.653	1.000	0.848	0.932	0.856	0.744
A.M.F	0.903	0.684	0.648	0.848	1.000	0.914	0.702	0.814
P. Marchitez	0.910	0.836	0.782	0.932	0.914	1.000	0.725	0.854
D.Real	0.488	0.498	0.658	0.856	0.702	0.725	1.000	0.766
Deshidrogenasa	0.637	0.892	0.958	0.744	0.814	0.854	0.766	1.000
Suma coef.	5.992	6.205	6.177	6.526	6.512	6.953	5.692	6.665
Variables CP 2	pH ag.*	Ca asim.	A.Útil	Ureasa	Proteasa	Glucosidasa*		
pH agua	1.000	0.791	0.795	0.860	0.767	0.852		
Ca asimilable	0.791	1.000	0.608	0.772	0.593	0.787		
Agua útil	0.795	0.608	1.000	0.784	0.929	0.917		
Ureasa	0.860	0.772	0.784	1.000	0.903	0.951		
Proteasa	0.767	0.593	0.929	0.903	1.000	0.963		
Glucosidasa	0.852	0.787	0.917	0.951	0.963	1.000		
Suma coef.	5.065	4.550	5.033	5.270	5.156	5.469		
Variables CP 3	Arena	A.G	A.F*	T. Infiltrac.	D. Apar*	Porosidad		
Arena	1.000	0.721	0.914	0.776	0.660	0.614		
A.G	0.721	1.000	0.783	0.722	0.210	0.294		
A.F	0.914	0.783	1.000	0.778	0.727	0.712		
T. Infiltración	0.776	0.722	0.778	1.000	0.676	0.771		
D. Aparente	0.660	0.210	0.727	0.676	1.000	0.960		
Porosidad	0.614	0.294	0.712	0.771	0.960	1.000		
Suma coef.	4.684	3.729	4.913	4.723	4.233	4.351		
Variables CP 4	Esmec.*	K asim.	Limo					
Esmectita	1.000	0.911	0.906					
K asimilable	0.911	1.000	0.870					
Limo	0.906	0.870	1.000					
Suma coef.	2.817	2.781	2.776					
Variables CP 5	C. Org.	N total	Caliza act.	C biomasa*	Cbio/COT*			
C. Orgánico	1.000	0.926	0.656	0.335	0.852			
N total	0.926	1.000	0.714	0.569	0.882			
Caliza activa	0.656	0.714	1.000	0.812	0.901			
C biomasa	0.335	0.569	0.812	1.000	0.750			
Cbio/COT	0.852	0.882	0.901	0.750	1.000			
Suma coef.	3.770	4.091	4.083	3.466	4.386			

Tabla 53. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP3, CP4 y CP5, horizonte superficial.

	pH	pH	C.E	C.O	Nt	CN	Carbon.	Caliza	Ceolín	ilita	Fermed.	Ca esi	Mg esi	Na esi	K esi	P2O5 esi	Arena	Lirno	Arcilla	A.M.G	A.G	A.M.	A.F	A.M.F
pH agua	1.00																							
pH KCl	0.75	1.00																						
C.E	-0.83	-0.26	1.00																					
C. Org.	-0.85	-0.82	0.52	1.00																				
N total	-0.81	-0.75	0.54	0.93	1.00																			
CAN	-0.52	-0.62	0.17	0.65	0.32	1.00																		
Carbon.	0.22	0.54	-0.01	-0.07	-0.21	0.14	1.00																	
Caliza	0.63	0.75	-0.39	-0.66	-0.71	-0.29	0.66	1.00																
Ceolín	-0.19	0.00	0.34	0.00	0.34	-0.69	-0.32	-0.08	1.00															
ilita	0.24	0.07	-0.29	-0.12	-0.39	0.53	0.16	-0.05	-0.95	1.00														
Fermed	-0.20	-0.24	-0.07	0.36	0.24	0.35	0.43	0.39	0.03	-0.35	1.00													
Ca esi	-0.79	-0.66	0.69	0.49	0.50	0.29	-0.66	-0.76	0.18	-0.07	-0.32	1.00												
Mg esi	-0.17	-0.49	-0.21	0.16	-0.14	0.72	-0.17	0.01	-0.57	0.42	0.37	0.21	1.00											
Na esi	-0.51	-0.83	0.11	0.47	0.32	0.64	-0.67	-0.69	-0.32	0.34	-0.12	0.73	0.69	1.00										
K esi	-0.02	-0.09	-0.22	0.32	0.14	0.45	0.66	0.44	-0.26	-0.04	0.91	-0.54	0.31	-0.22	1.00									
P2O5 esi	-0.30	-0.42	0.01	0.35	0.46	-0.04	-0.12	0.07	0.57	-0.78	0.77	-0.02	0.12	-0.02	0.49	1.00								
Arena	-0.47	0.17	0.78	0.21	0.09	0.29	0.50	0.07	-0.13	0.13	-0.02	0.28	-0.11	-0.15	0.02	-0.34	1.00							
Lirno	0.06	-0.15	-0.37	0.11	-0.09	0.42	0.38	0.52	-0.26	-0.05	0.91	-0.42	0.63	0.00	0.87	0.56	-0.18	1.00						
Arcilla	0.32	-0.02	-0.34	-0.25	0.00	-0.55	-0.69	-0.45	0.30	-0.07	-0.67	0.10	-0.39	0.12	-0.68	-0.17	-0.66	-0.62	1.00					
A.M.G	-0.70	-0.37	0.76	0.59	0.53	0.42	-0.09	-0.70	-0.14	0.26	-0.41	0.89	-0.13	0.38	-0.35	-0.43	0.84	-0.58	-0.07	1.00				
A.G	-0.05	-0.69	-0.51	0.33	0.24	0.43	-0.46	-0.32	-0.24	0.12	0.33	0.06	0.64	0.65	0.28	0.41	-0.72	0.48	0.21	-0.29	1.00			
A.M.	-0.43	-0.69	0.06	0.48	0.22	0.83	-0.34	-0.58	-0.66	0.85	-0.11	0.54	0.72	0.91	-0.05	-0.27	0.04	0.05	-0.07	0.48	0.55	1.00		
A.F	-0.14	0.45	0.52	0.03	-0.10	0.17	0.77	0.31	-0.25	0.23	0.01	-0.11	-0.26	-0.45	0.18	-0.44	0.91	-0.11	-0.64	0.45	-0.78	-0.15	1.00	
A.M.F	0.57	0.50	-0.37	-0.61	-0.32	-0.90	-0.09	0.46	0.68	-0.65	0.02	-0.46	-0.48	-0.61	-0.12	0.38	-0.50	-0.01	0.40	-0.73	-0.15	-0.85	-0.36	

Tabla 54. Coeficientes de correlación entre los parámetros del horizonte superficial.

	C.C	P.M	A.U	Hum.	T. Infil.	D.R	D.A	Poros	Prof.Erec.	Catalasa	Ureasa	Proteasa	Glucosid.	Fosfatasa	Deshidróg.	C biomasa	Resp	Clae/COT	gCO ₂
pH agua	-0.89	-0.33	-0.79	-0.86	0.45	0.30	0.42	-0.36	0.70	-0.73	-0.86	-0.77	-0.85	-0.39	0.02	0.21	0.52	0.84	-0.36
pH NCl	-0.90	-0.47	-0.67	-0.37	-0.18	0.48	0.09	0.02	0.80	-0.75	-0.82	-0.51	-0.82	-0.86	0.07	0.42	0.72	0.82	-0.44
C.E	0.52	0.06	0.61	0.93	-0.75	-0.13	-0.40	0.39	-0.41	0.35	0.73	0.66	0.74	-0.16	0.02	-0.07	-0.08	-0.29	0.28
C. Orgánico	0.82	0.38	0.86	0.73	-0.35	-0.28	-0.57	0.50	-0.75	0.76	0.54	0.49	0.55	0.53	-0.10	-0.33	-0.81	-0.85	0.25
N total	0.66	0.04	0.80	0.74	-0.40	-0.14	-0.37	0.37	-0.65	0.72	0.49	0.57	0.61	0.37	0.18	-0.57	-0.57	-0.88	0.54
C.N	0.77	0.91	0.06	0.30	0.04	-0.49	-0.62	0.41	-0.64	0.47	0.39	0.07	0.16	0.65	-0.64	0.23	-0.91	-0.42	-0.41
Carbonatos	-0.32	-0.01	-0.40	0.11	-0.56	0.51	-0.75	0.81	0.45	-0.10	-0.30	-0.27	-0.43	-0.45	-0.13	0.65	-0.08	0.42	-0.79
Caliza activa	-0.82	-0.31	-0.48	-0.48	-0.06	0.74	-0.08	0.22	0.91	-0.25	-0.33	-0.23	-0.43	-0.40	0.24	0.81	0.46	0.90	-0.65
Caolin	-0.13	-0.64	0.68	0.25	-0.32	0.50	0.36	-0.14	0.26	0.27	0.28	0.63	0.54	-0.25	0.69	-0.37	0.55	-0.05	0.76
Illita	0.04	0.78	-0.74	-0.25	0.35	-0.66	-0.18	-0.06	-0.33	-0.49	-0.36	-0.72	-0.57	0.10	-0.96	0.19	-0.40	0.04	-0.62
Ferred.	0.27	0.00	0.34	0.06	-0.17	0.60	-0.50	0.60	0.25	0.75	0.30	0.41	0.22	0.41	0.38	0.48	-0.37	0.03	-0.30
Ca esi	0.75	0.34	0.61	0.57	-0.05	-0.63	0.12	-0.24	-0.75	0.34	0.77	0.59	0.78	0.34	-0.16	-0.38	-0.21	-0.52	0.56
Mg esi	0.58	0.75	-0.02	-0.26	0.55	-0.34	-0.05	-0.11	-0.27	0.37	0.39	0.09	0.16	0.79	-0.38	0.43	-0.51	0.00	-0.35
Na esi	0.80	0.72	0.29	0.09	0.50	-0.80	0.15	-0.36	-0.81	0.35	0.50	0.21	0.42	0.81	-0.44	-0.28	-0.58	-0.57	0.25
K esi	0.13	0.14	0.02	-0.01	-0.18	0.51	-0.67	0.73	0.23	0.52	-0.01	0.05	-0.13	0.30	0.10	0.51	-0.50	0.04	-0.56
P205 esi	0.27	-0.38	0.73	0.07	-0.05	0.58	0.00	0.16	0.18	0.62	0.43	0.69	0.53	0.45	0.79	-0.01	-0.09	-0.18	0.36
Arena	0.24	0.25	0.05	0.71	-0.78	-0.05	-0.66	0.61	-0.13	0.02	0.40	0.25	0.27	-0.42	-0.32	0.42	-0.08	0.14	-0.36
Limo	0.18	0.20	0.03	-0.29	0.18	0.46	-0.33	0.37	0.31	0.54	0.13	0.14	-0.02	0.51	0.16	0.63	-0.35	0.22	-0.50
Arcilla	-0.33	-0.35	-0.06	-0.34	0.48	-0.31	0.77	-0.77	-0.13	-0.42	-0.42	-0.30	-0.20	-0.06	0.13	-0.81	0.33	-0.28	0.67
A.M.G	0.55	0.45	0.24	0.81	-0.47	-0.65	-0.41	0.25	-0.78	0.06	0.36	0.18	0.36	-0.06	-0.52	-0.34	-0.41	-0.57	0.17
A.G	0.42	0.37	0.16	-0.38	0.72	-0.27	0.21	-0.29	-0.36	0.45	0.05	-0.01	0.03	0.92	-0.05	-0.25	-0.56	-0.47	0.15
A.M.	0.74	0.93	0.00	0.11	0.39	-0.86	-0.14	-0.12	-0.83	0.20	0.31	-0.06	0.14	0.70	-0.74	-0.11	-0.75	-0.52	-0.10
A.F	-0.09	0.14	-0.25	0.52	-0.78	0.13	-0.73	0.71	0.11	-0.20	0.03	-0.07	-0.10	-0.61	-0.34	0.50	-0.01	0.30	-0.58
A.M.F	-0.71	-0.91	0.02	-0.48	0.11	0.70	0.59	-0.35	0.78	-0.20	-0.34	0.02	-0.14	-0.39	0.81	-0.07	0.80	0.46	0.33

Continuación de la Tabla 54.

	C.C	P. M	A.U	Hum.	T. Infil.	D.R	D. A	Poros	Prof. Efec.	Catalasa	Ureasa	Protensa	Glucosid.	Fosfatasa	Deshidr. op.	C. biomasa	Resp	Cbio/COT	gCO ₂
C.C	1.00																		
P. M	0.64	1.00																	
A.U	0.63	-0.20	1.00																
Hum.	0.57	0.11	0.61	1.00															
T. Infil.	-0.05	0.25	-0.32	-0.81	1.00														
D.R	-0.49	-0.72	0.11	-0.13	-0.36	1.00													
D. A	-0.33	-0.37	-0.05	-0.60	0.68	-0.11	1.00												
Poros	0.19	0.11	0.13	0.58	-0.77	0.37	-0.96	1.00											
Prof. Efec.	-0.79	-0.65	-0.35	-0.52	-0.04	0.84	0.19	0.02	1.00										
Catalasa	0.74	0.12	0.82	0.45	-0.20	0.18	-0.36	0.40	-0.31	1.00									
Ureasa	0.81	0.24	0.78	0.61	-0.26	-0.12	-0.17	0.15	-0.41	0.73	1.00								
Protensa	0.60	-0.17	0.93	0.59	-0.36	0.22	-0.09	0.18	-0.17	0.79	0.90	1.00							
Glucosid.	0.72	-0.01	0.92	0.63	-0.29	-0.05	-0.03	0.06	-0.39	0.73	0.95	0.96	1.00						
Fosfatasa	0.73	0.55	0.37	-0.09	0.54	-0.36	0.03	-0.14	-0.53	0.66	0.42	0.27	0.34	1.00					
Deshidr. op.	-0.24	-0.85	0.56	-0.03	-0.17	0.77	0.30	-0.04	0.53	0.37	0.16	0.55	0.37	-0.11	1.00				
C. biomasa	-0.11	0.21	-0.35	-0.19	-0.12	0.41	-0.37	0.39	0.53	0.00	0.10	-0.02	-0.14	-0.12	-0.11	1.00			
Resp	-0.73	-0.75	-0.17	-0.34	-0.02	0.45	0.61	-0.44	0.71	-0.54	-0.23	-0.03	-0.11	-0.69	0.50	0.09	1.00		
Cbio/COT	-0.65	-0.28	-0.54	-0.51	0.04	0.51	0.18	-0.08	0.85	-0.48	-0.27	-0.24	-0.37	-0.52	0.13	0.75	0.69	1.00	
gCO ₂	0.19	-0.44	0.69	0.24	0.05	-0.13	0.54	-0.47	-0.31	0.25	0.30	0.49	0.56	0.13	0.52	-0.82	0.20	-0.53	1.00

Continuación de la Tabla 54.

5.2.3.1.2. Aplicación de ACP sobre horizontes subsuperficiales

Tras el análisis estadístico de este horizonte resultan un total de 7 factores principales representantes de más del 96% de la variación total de las variables consideradas. En este caso difieren las variables introducidas en el análisis ya que algunas propiedades se han efectuado específicamente en cada horizonte.

La tabla 55 muestra como de nuevo la mayoría de las componentes vienen formadas por más de dos variables, exceptuando la CP 4 y 7, por lo que tendremos que determinar las sumas de los coeficientes de estas variables (tabla 56).

Las sumas de los coeficientes de correlación de las distintas variables de mayor peso con mayores valores son: Ca asimilable, K de cambio, arena media y Na de cambio, correspondientes a las CP 1, 2, 5 y 6 respectivamente.

La relación C/N y la caliza activa son las dos variables con mayores pesos sobre la CP 4 mientras el fósforo asimilable y la arcilla lo son sobre la CP 7. Las primeras son dependientes entre sí por su coeficiente de correlación, por ello se selecciona la que mayor peso presente en la matriz (tabla 55), en este caso la relación C/N. Sin embargo, seleccionaremos las dos variables de la última componente por no presentar un alto grado de correlación.

Componentes Principales							
	1	2	3	4	5	6	7
Autovalores	5.572	5.188	5.045	4.002	3.963	3.748	3.418
% de la varianza	17.414	16.213	15.766	12.507	12.386	11.713	10.680
% acumulado	17.414	33.627	49.394	61.900	74.286	85.999	96.679
Variables							
pH agua	0.715		-0.105		-0.349	-0.313	0.202
pH KCl	0.656	-0.579	0.156	0.435			
C.Eléctrica	-0.544		0.475	-0.179	0.462	0.172	-0.441
C. Orgánico	-0.159		0.951	0.170	-0.143		
N total	-0.174		0.958	-0.121			-0.117
C/N		0.143	0.141	0.940	-0.183		
Carbonatos	0.634			0.643		0.200	-0.122
Caliza activa	0.369	0.107		0.842	0.115	-0.270	
Ca asimilable	-0.780		0.204	-0.327	0.326	0.276	-0.216
Mg asimilable		0.932		0.247		0.159	0.170
Na asimilable	0.150	0.308	0.530	0.581	-0.219		-0.395
K asimilable	-0.353	0.288		-0.148	0.448	0.669	0.307
P2O5 asimilable		0.138		-0.305	-0.181	0.207	0.897
C.I.C.	-0.609	0.625	0.220	-0.258		0.245	-0.156
Na cambio	-0.285		0.137	0.117	0.225	0.902	0.117
K cambio		0.956		0.174		0.139	
Ca cambio	0.306	0.144	0.527	0.560	-0.400		-0.318
Mg cambio	-0.232	0.249			0.405	0.776	0.305
Arena	-0.183	-0.789		-0.171		0.254	0.468
Limo	0.458	0.316	0.546	0.307		-0.227	0.469
Arcilla	-0.166	0.505	-0.383				-0.740
A.M.G	-0.237		0.773		0.491		0.287
A.G	0.243	0.465	0.239	0.144	-0.759	-0.127	-0.163
A.M.	0.158				-0.909	-0.295	0.194
A.F	0.205	-0.759	-0.163	0.121	0.301	0.272	0.224
A.M.F	-0.407	0.296		-0.186	0.770		-0.246
Caolinita	-0.807		0.204	-0.294	0.432		0.136
Illita	-0.111	0.440		0.133	0.113	-0.856	0.136
Esmectita	-0.183	-0.238	-0.403	-0.375	-0.487	-0.406	0.428
D.Real	0.943	0.184	-0.134			-0.107	-0.137
D. Aparente	0.410	0.341	-0.650	-0.230		-0.277	-0.388
Porosidad		-0.265	0.698	0.422		0.333	0.375

Tabla 55. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre horizontes subsuperficiales.

Variables CP 1	pH agua	Ca asimilable*	Caolinita	D.Real	
pH agua	1.000	0.874	0.756	0.632	
Ca asimi.	0.874	1.000	0.872	0.755	
Caolinita	0.756	0.872	1.000	0.796	
D.Real	0.632	0.755	0.796	1.000	
Suma coef.		3.263	3.501	3.424	3.183
Variables CP 2	Mg asim.	K cambio*	Arena	A.F	
Mg asim.	1.000	0.992	0.648	0.575	
K cambio	0.992	1.000	0.694	0.629	
Arena	0.648	0.694	1.000	0.678	
A.F	0.575	0.629	0.678	1.000	
Suma coef.		3.215	3.315	3.020	2.882
Variables CP 5	A.G	A.M.*	A.M.F		
A.G	1.000	0.778	0.551		
A.M.	0.778	1.000	0.792		
A.M.F	0.551	0.792	1.000		
Suma coef.		2.329	2.571	2.343	
Variables CP 6	Na cambio*	Mg cambio	Illita		
Na cambio	1.000	0.903	0.652		
Mg cambio	0.903	1.000	0.444		
Illita	0.652	0.444	1.000		
Suma coef.		2.555	2.346	2.096	

Tabla 56. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP5 y CP6, horizonte subsuperficial.

	pH	pH	C.E.	C. O	N t	C/N	Carbon.	Caliza	Ca esi	Mg esi	Na esi	K esi	P205 esi	C.I.C.	Na ca	K ca	Ca ca	Mg ca	Arena	Limo	Arcilla
pH agua	1.00																				
pH KCl	0.42	1.00																			
C.E.	-0.75	-0.42	1.00																		
C. Orgánico	-0.19	0.06	0.45	1.00																	
N total	-0.31	-0.02	0.66	0.92	1.00																
C/N	0.13	0.41	-0.22	0.30	-0.02	1.00															
Carbonatos	0.26	0.75	-0.39	0.06	-0.13	0.71	1.00														
Caliza activa	0.31	0.56	-0.31	0.05	-0.16	0.76	0.72	1.00													
Ca esi	-0.87	-0.65	0.86	0.23	0.42	-0.36	-0.60	-0.60	1.00												
Mg esi	-0.04	-0.40	0.01	0.12	-0.01	0.35	0.21	0.29	-0.03	1.00											
Na esi	0.20	0.24	0.16	0.61	0.43	0.72	0.47	0.55	-0.20	0.32	1.00										
K esi	-0.49	-0.52	0.42	0.00	0.04	-0.19	-0.31	-0.38	0.59	0.40	-0.30	1.00									
P205 esi	0.13	-0.22	-0.36	0.04	-0.04	-0.21	-0.22	-0.39	-0.08	0.23	-0.46	0.40	1.00								
C.I.C.	-0.52	-0.87	0.68	0.31	0.36	-0.18	-0.54	-0.44	0.75	0.49	0.14	0.60	0.06	1.00							
Na cambio	-0.57	-0.18	0.41	0.22	0.18	0.11	0.06	-0.22	0.51	0.27	-0.05	0.83	0.23	0.43	1.00						
K cambio	-0.04	-0.43	0.01	0.07	-0.04	0.28	0.19	0.26	-0.03	0.99	0.29	0.36	0.19	0.50	0.22	1.00					
Ca cambio	0.36	0.43	-0.06	0.60	0.36	0.72	0.58	0.55	-0.39	0.17	0.95	-0.46	-0.37	-0.08	-0.12	0.15	1.00				
Mg cambio	-0.44	-0.36	0.37	0.06	0.09	-0.09	-0.15	-0.32	0.50	0.40	-0.21	0.98	0.41	0.52	0.90	0.35	-0.33	1.00			
Arena	-0.21	0.27	-0.09	-0.04	-0.01	-0.28	-0.18	-0.39	0.15	-0.65	-0.62	0.17	0.42	-0.36	0.26	-0.69	-0.47	0.19	1.00		
Limo	0.52	0.32	-0.30	0.52	0.34	0.47	0.38	0.43	-0.52	0.41	0.51	-0.17	0.35	-0.15	-0.17	0.35	0.56	-0.08	-0.24	1.00	
Arcilla	-0.18	-0.48	0.29	-0.33	-0.23	-0.08	-0.12	0.06	0.23	0.31	0.20	-0.04	-0.62	0.45	-0.15	0.39	0.03	-0.13	-0.74	-0.47	1.00

Tabla 57. Coeficientes de correlación entre los parámetros del horizonte subsuperficial.

	A.M.G	A.G	A.M.	A.F	A.M.F	Caolín	Ilita	Esmec	D.R	D.A	Porosidad
pH agua	-0.40	0.35	0.53	0.17	-0.67	-0.76	0.21	0.26	0.63	0.30	-0.05
pH HCl	-0.04	0.03	0.07	0.55	-0.53	-0.66	-0.26	-0.19	0.53	-0.10	0.44
C.F	0.59	-0.30	-0.67	-0.19	0.73	0.73	-0.06	-0.53	-0.53	-0.33	0.08
C. Orgánico	0.69	0.36	0.04	-0.25	-0.12	0.22	0.03	-0.39	-0.26	-0.72	0.74
N total	0.78	0.18	-0.16	-0.24	0.11	0.39	0.01	-0.41	-0.28	-0.60	0.55
C/N	-0.06	0.38	0.17	-0.06	-0.26	-0.39	0.10	-0.36	0.14	-0.23	0.50
Carbonatos	-0.20	0.34	0.10	0.09	-0.34	-0.72	-0.21	-0.44	0.67	0.12	0.35
Caliza activa	-0.14	0.23	0.04	0.07	-0.22	-0.48	0.37	-0.40	0.44	0.13	0.16
Ca sei	0.46	-0.40	-0.55	-0.16	0.72	0.67	-0.17	-0.18	-0.76	-0.34	-0.03
Mg sei	0.01	0.39	0.02	-0.57	0.23	0.01	0.33	-0.35	0.19	0.18	-0.04
Na sei	0.09	0.59	0.13	-0.33	-0.18	-0.33	0.18	-0.57	0.19	-0.17	0.39
K sei	0.31	-0.46	-0.58	0.14	0.54	0.53	-0.32	-0.30	-0.43	-0.31	0.13
P2O5 sei	0.20	0.00	0.30	0.03	-0.24	0.14	-0.06	0.47	-0.12	-0.30	0.27
C.I.C.	0.26	0.07	-0.23	-0.56	0.56	0.63	0.09	-0.23	-0.53	-0.15	-0.11
Na cambio	0.27	-0.28	-0.49	0.22	0.29	0.29	-0.65	-0.49	-0.36	-0.50	0.45
K cambio	-0.05	0.42	0.05	-0.63	0.25	-0.01	0.34	-0.33	0.23	0.28	-0.14
Ca cambio	-0.01	0.68	0.33	-0.23	-0.45	-0.52	0.07	-0.43	0.30	-0.18	0.47
Mg cambio	0.32	-0.42	-0.57	0.19	0.44	0.40	-0.44	-0.40	-0.33	-0.37	0.27
Arens	0.25	-0.55	-0.11	0.68	-0.19	0.22	-0.51	0.37	-0.40	-0.54	0.39
Limo	0.38	0.42	0.28	-0.16	-0.35	-0.29	0.38	-0.15	0.38	-0.26	0.55
Arcilla	-0.48	0.20	-0.10	-0.51	0.43	0.02	0.23	-0.21	0.08	0.67	-0.75
A.M.G	1.00	-0.30	-0.47	0.01	0.38	0.63	0.12	-0.32	-0.36	-0.68	0.58
A.G	-0.30	1.00	0.78	-0.66	-0.55	-0.48	0.19	0.04	0.35	0.17	0.06
A.M.	-0.47	0.78	1.00	-0.96	-0.79	-0.48	0.20	0.62	0.21	0.15	-0.03
A.F	0.01	-0.66	-0.36	1.00	-0.20	-0.16	-0.47	-0.04	-0.04	-0.29	0.28
A.M.F	0.38	-0.55	-0.79	0.20	1.00	0.69	0.14	-0.37	-0.28	0.12	-0.32
Caolinita	0.63	-0.48	-0.48	-0.16	0.69	1.00	0.19	0.03	-0.60	-0.39	-0.02
Ilita	0.12	0.19	0.20	-0.47	0.14	0.18	1.00	0.20	0.04	0.25	-0.31
Esmectita	-0.32	0.04	0.62	-0.04	-0.37	0.03	0.20	1.00	-0.17	0.14	-0.31
D. Resol	-0.36	0.35	0.21	-0.04	-0.28	-0.80	0.04	-0.17	1.00	0.63	-0.19
D. Apariencia	-0.68	0.17	0.15	-0.29	0.12	-0.39	0.25	0.14	0.63	1.00	-0.87
Porosidad	0.58	0.06	-0.03	0.28	-0.32	-0.02	-0.31	-0.31	-0.19	-0.87	1.00

Continuación de la Tabla 57.

5.2.3.1.3. Aplicación de ACP sobre propiedades físicas y mineralógicas

▪ Horizonte superficial

El análisis estadístico realizado sobre este grupo ha extraído un total de 6 componentes que explican conjuntamente más del 92% de la varianza total de los datos originales. Los pesos que las diferentes variables tienen sobre cada uno de los componentes extraído se observa en la tabla 58, determinados en la matriz de componentes tras aplicar una rotación varimax.

	Componentes Principales					
	1	2	3	4	5	6
Autovalores	4.260	3.659	3.217	2.885	2.320	2.180
% de la varianza	21.298	18.295	16.085	14.423	11.598	10.902
% acumulado	21.298	39.594	55.679	70.101	81.700	92.601
Variables						
Arena	-0.124		-0.611	-0.158	-0.746	
Limo	0.246				0.957	
Arcilla	-0.113		0.917	0.190		-0.121
A.M.G	0.410	0.113	-0.182	0.186		-0.750
A.G	0.827	-0.190	0.265	0.215		0.194
A.M.	0.876	-0.115	0.174	0.275	0.103	-0.200
A.F	0.840	0.255	-0.123		0.119	-0.226
A.M.F	-0.941			-0.197	-0.120	0.195
Caolinita	-0.158	0.935		-0.126	-0.151	
Illita	0.124	-0.949				-0.163
Esmectita	0.151	0.169	-0.414	0.200	0.515	0.636
C. Campo	0.427	0.241		0.811	0.217	-0.162
P. Marchitez	0.214	-0.151	-0.122	0.824	0.281	-0.311
Agua útil	0.526	0.663		0.435		0.111
Humedad	0.386	0.682	-0.185		0.258	-0.428
T. Infiltración	-0.182	-0.781	0.390	-0.120	-0.147	0.321
D.Real	-0.131			-0.559		0.723
D. Aparente	0.232	-0.218	0.818	-0.326		0.218
Porosidad	-0.215	0.240	-0.889	0.179	-0.106	
Prof. Efectiva	-0.305	0.115		-0.751	0.520	

Tabla 58. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades físicas en horizontes superficiales.

La arena muy fina es la variable de mayor peso de la CP1 (tabla 58), mientras la illita y la tasa de infiltración lo son sobre la dos. Esta última no correlaciona ni con la illita ni con la caolinita (tabla 60), mientras éstas sí lo hacen, escogiendo por tanto la illita por presentar mayor peso en la matriz de las dos. Análogamente sucede en la CP3 donde la arcilla se escoge por no correlacionar con la densidad aparente y porosidad que sí lo hacen, siendo la porosidad la que aparece como más representativa. Las variables de la CP 4 presentan el mismo comportamiento donde se escoge la profundidad efectiva, no correlacionada, y el punto de marchitez.

Variables CP 1	A.G	A.M.	A.F	A.M.F*
A.G	1.000	0.866	0.532	0.816
A.M.	0.866	1.000	0.733	0.950
A.F	0.532	0.733	1.000	0.895
A.M.F	0.816	0.950	0.895	1.000
Suma coef.	3.215	3.550	3.160	3.662

Tabla 59. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, CP2, CP5 y CP6, propiedades físicas, horizonte superficial.

El limo es la propiedad seleccionada en la CP 5, al encontrarse correlacionada con la arena. Por el contrario, la CP 6 presenta tres variables independientes entre sí, por lo que se seleccionan todas, la arena muy gruesa, esmectita y densidad real.

	Arens	Limo	Arcilla	A.M.G	A.G	A.M.	A.F	A.M.F	Caolín.	SiKa	Emec.	C.C	P.M	A.UJ	H	T.I	D.R	D.A	Poros	P.E
Arens	1.000																			
Limo	-0.725	1.000																		
Arcilla	-0.578	-0.143	1.000																	
A.M.G	-0.064	0.147	-0.083	1.000																
A.G	-0.373	0.331	0.144	0.164	1.000															
A.M.	-0.341	0.324	0.106	0.477	0.866	1.000														
A.F	-0.161	0.280	-0.101	0.487	0.532	0.733	1.000													
A.M.F	0.293	-0.341	-0.016	-0.530	-0.816	-0.950	-0.895	1.000												
CaolínKa	0.133	-0.224	0.075	-0.071	-0.280	-0.253	0.056	0.140	1.000											
SiKa	-0.100	0.107	0.017	0.108	0.238	0.245	-0.078	-0.120	-0.979	1.000										
EmecKa	-0.146	0.549	-0.440	-0.189	0.175	0.011	0.112	-0.063	0.007	-0.211	1.000									
C. Campo	-0.300	0.320	0.051	0.497	0.421	0.603	0.554	-0.619	0.012	-0.070	0.265	1.000								
P. Marchitez	-0.287	0.346	0.016	0.421	0.279	0.508	0.361	-0.462	-0.319	0.266	0.125	0.866	1.000							
A.UJ	-0.172	0.143	0.077	0.379	0.426	0.464	0.542	-0.557	0.453	-0.519	0.374	0.739	0.303	1.000						
Humedad	-0.144	0.262	-0.104	0.696	0.045	0.329	0.611	-0.474	0.449	-0.479	0.193	0.528	0.233	0.691	1.000					
T. Infiltrac.	-0.054	-0.116	0.216	-0.457	0.174	-0.083	-0.587	0.298	-0.618	0.646	-0.206	-0.477	-0.245	-0.560	-0.858	1.000				
D. Real	0.110	0.014	-0.176	-0.635	-0.187	-0.483	-0.218	0.378	0.083	-0.158	0.373	-0.562	-0.678	-0.196	-0.333	0.213	1.000			
D. Apariencia	-0.469	0.079	0.580	-0.262	0.352	0.204	-0.029	-0.122	-0.229	0.269	-0.217	-0.263	-0.334	-0.052	-0.256	0.538	0.300	1.000		
Porosidad	0.579	-0.135	-0.673	0.138	-0.385	-0.311	0.008	0.189	0.253	-0.313	0.322	0.121	0.141	0.040	0.205	-0.513	-0.038	-0.958	1.000	
Prof. Efectiva	-0.269	0.399	-0.066	-0.223	-0.348	-0.362	-0.214	0.334	0.216	-0.208	-0.016	-0.590	-0.522	-0.421	0.019	0.000	0.372	0.179	-0.144	1.000

Tabla 60. Coeficientes de correlación entre los parámetros físicos y mineralógicos del horizonte superficial.

▪ Horizonte subsuperficial

En este horizonte se observa un menor porcentaje de la varianza (88%) explicado por los 5 factores principales extraídos. En este caso difieren las variables introducidas en el análisis ya que algunas propiedades se han efectuado específicamente en cada horizonte.

La tabla 61 muestra como únicamente en la CP 1 aparecen más de dos variables en la CP1. Sin embargo, y observando la matriz de correlaciones (tabla 62) observamos que la arena más gruesa no correlaciona ni con la arena muy fina ni con la media, escogida junto a esta última como indicador.

Las CP 2 y 3 se forman por dos variables cada una correlacionadas entre sí por lo que se seleccionan las de mayor peso sobre la tabla 58: arcilla y porosidad respectivamente. Por el contrario, los dos últimos factores vienen por dos variables que en este caso no correlacionan, escogiendo por tanto todas ellas como indicadores de calidad: caolinita, densidad real, arena fina e illita respectivamente.

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	3.417	2.414	2.402	2.141	1.991
% de la varianza	24.409	17.243	17.158	15.294	14.224
% acumulado	24.409	41.651	58.810	74.104	88.328
Variables					
Arena		0.837	-0.172		-0.274
Limo	-0.467	0.299		0.563	0.486
Arcilla	0.251	-0.887	0.119	-0.328	
A.M.G	-0.848	0.275	-0.179	-0.134	0.270
A.G	0.687	-0.258	-0.423	0.141	0.456
A.M.	0.907		-0.172		0.313
A.F		0.417	0.108	0.145	-0.788
A.M.F	-0.827	-0.243	0.299	-0.240	0.123
Caolinita	-0.156	-0.172	-0.122	-0.881	
Illita			0.246		0.774
Esmectita	0.423	0.590	0.598	-0.200	
D.Real	0.374	-0.118		0.762	-0.185
D. Aparente	-0.109	-0.212	0.856	0.437	
Porosidad	0.270	0.126	-0.920		-0.118

Tabla 61. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades físicas en horizontes subsuperficiales.

	Arena	Limo	Arcilla	A.M.G	A.G	A.M.	A.F	A.M.F	Ceolinita	Illita	Esmectita	D. Real	D. Aparente	Porosidad
Arena	1.000													
Limo	-0.115	1.000												
Arcilla	-0.751	-0.570	1.000											
A.M.G	0.073	0.574	-0.437	1.000										
A.G	-0.198	-0.124	0.248	-0.472	1.000									
A.M.	0.022	-0.169	0.097	-0.619	0.823	1.000								
A.F	0.402	-0.050	-0.308	-0.043	-0.589	-0.299	1.000							
A.M.F	-0.217	0.160	0.077	0.599	-0.605	-0.818	-0.240	1.000						
Ceolinita	-0.144	-0.444	0.424	0.284	-0.191	-0.219	-0.083	0.288	1.000					
Illita	-0.173	0.343	-0.062	0.130	0.162	0.143	-0.430	0.141	-0.034	1.000				
Esmectita	0.330	0.009	-0.271	-0.201	-0.110	0.360	0.201	-0.289	-0.009	0.182	1.000			
D. Real	-0.060	0.090	-0.015	-0.460	0.240	0.305	0.199	-0.443	-0.564	0.027	-0.019	1.000		
D. Aparente	-0.348	0.275	0.103	-0.154	-0.282	-0.206	0.001	0.315	-0.442	0.205	0.258	0.365	1.000	
Porosidad	0.290	-0.179	-0.123	-0.052	0.443	0.371	0.059	-0.542	0.123	-0.235	-0.348	0.127	-0.865	1.000

Tabla 62. Coeficientes de correlación entre los parámetros físicos y mineralógicos del horizonte subsuperficial.

5.2.3.1.4. Aplicación de ACP sobre propiedades químicas

▪ Horizonte superficial

Han resultado cuatro componentes principales en las propiedades químicas analizadas en este primer horizonte, que explican aproximadamente el 80% de la varianza total acumulada.

El primer componente resultante está formado fundamentalmente por el pH en KCl, carbono orgánico, nitrógeno total, sodio y magnesio asimilables. Observamos a través de la matriz de coeficientes (tabla 65) que las tres variables correlacionan de forma positiva por lo que se determina la suma de sus coeficientes (tabla 64) para determinar el carbono orgánico como el indicador más representativo junto al sodio asimilable, que representa la que menor correlación presenta.

	Componentes Principales			
	1	2	3	4
Autovalores	4.318	2.509	1.789	1.781
% de la varianza	33.213	19.297	13.763	13.699
% acumulado	33.213	52.510	66.273	79.972
Variables				
pH agua	-0.301		-0.746	-0.310
pH KCl	-0.853	0.210	-0.169	-0.212
C.Eléctrica		0.160	0.852	-0.219
C. Orgánico	0.808		0.285	0.385
N total	0.786	-0.313	0.158	0.331
C/N	0.351	0.724	0.309	0.330
Carbonatos	-0.419	0.726	0.110	0.227
Caliza activa		0.876		-0.149
Ca asim.	-0.636	-0.420	0.472	-0.134
Mg asim.	0.846			
Na asim.	0.825	0.393	-0.165	0.197
K asim.		0.410		0.704
P2O5 asim.	0.344	-0.122	-0.108	0.772

Tabla 63. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades químicas en horizontes superficiales.

Variabes CP 1	pH KCl	C. Orgánico*	N total	Mg asimilable	Na asimilable*
pH KCl	1.000	0.777	0.790	0.720	0.591
C. Orgánico	0.777	1.000	0.945	0.570	0.699
N total	0.790	0.945	1.000	0.518	0.577
Mg asimil	0.720	0.570	0.518	1.000	0.609
Na asimila	0.591	0.699	0.577	0.609	1.000
Suma coef.	3.878	3.990	3.830	3.417	3.476

Tabla 64. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, propiedades químicas, horizonte superficial.

En el CP2 la relación C/N, los carbonatos y la caliza activa no correlacionan entre sí por lo que se seleccionan como indicadores. Igualmente sucede en el resto de factores en el que aparecen el pH en agua y la conductividad eléctrica, en el CP 3 y el potasio y fósforo asimilable en la CP 4.

	pH agua	pH KCl	C.E.	C.O	N total	C/N	Carbonat	Caliza act.	Ca asi	Mg asi	Na asi	K asi	P2O5 asi
pH agua	1.000												
pH KCl	0.527	1.000											
C.Electrica	-0.428	0.108	1.000										
C.Organico	-0.458	-0.777	0.118	1.000									
N total	-0.344	-0.790	-0.018	0.945	1.000								
C/N	-0.459	-0.253	0.224	0.480	0.185	1.000							
Carbonatos	-0.068	0.379	0.158	-0.212	-0.391	0.455	1.000						
Caliza activa	-0.002	0.220	0.158	-0.106	-0.304	0.535	0.511	1.000					
Ca asi	-0.011	0.382	0.341	-0.376	-0.335	-0.341	-0.087	-0.271	1.000				
Mg asi	-0.213	-0.720	0.013	0.570	0.516	0.268	-0.364	0.002	-0.536	1.000			
Na asi	-0.197	-0.591	-0.175	0.699	0.577	0.650	-0.089	0.268	-0.771	0.609	1.000		
K asi	-0.253	-0.144	0.002	0.292	0.123	0.502	0.336	0.228	-0.249	0.228	0.308	1.000	
P2O5 asi	-0.241											0.371	1.000

Tabla 3.95. Coeficientes de correlación entre los parámetros químicos del agua de superficie

Horizonte subsuperficial

En este caso se han incluido en el análisis los datos de C.I.C al igual que los datos de las bases cambiables resultando una extracción de 5 factores explicativos de aproximadamente el 90% de la varianza total (tabla 66).

Las numerosas variables que puntúan sobre las tres primeras componentes hacen que recurramos a la suma de sus coeficientes de correlación (tabla 67), siendo la caliza activa, el carbono orgánico y el pH en agua los más representativos de las CP1, 2 y 3 respectivamente.

Las dos variables que ponderan en mayor medida la CP 4 están correlacionadas por lo que queda seleccionado el K de cambio mientras lo mismo sucede con la CP 5 donde el indicador es el Mg de cambio.

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	3.867	3.716	3.102	2.723	2.706
% de la varianza	21.483	20.642	17.233	15.126	15.034
% acumulado	21.483	42.125	59.358	74.484	89.518
Variables					
pH agua	0.225	0.119	0.866		-0.215
pH KCl	0.673	0.122	0.321	-0.589	-0.139
C.Eléctrica	-0.291	0.237	-0.886	0.137	
C. Orgánico		0.922			
N total		0.910	-0.167		
C/N	0.798	0.353	0.176	0.144	
Carbonatos	0.902		0.233		
Caliza activa	0.872		0.147	0.129	-0.181
Ca asimilable	-0.454	-0.284	-0.798	0.111	
Mg asimilable	0.114			0.957	0.120
Na asimilable	0.492	0.780	0.177	0.194	-0.184
K asimilable	-0.123		-0.152	0.167	0.944
P2O5 asimilable	-0.316	-0.109	0.539		0.580
C.I.C.	-0.409	0.468	-0.288	0.579	0.329
Na cambio	0.242	0.588	0.367		0.482
K cambio	0.106			0.966	0.107
Ca cambio	0.484	0.745	0.301		-0.252
Mg cambio			-0.179	0.160	0.947

Tabla 66. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades químicas en horizontes subsuperficiales.

Variabes CP 1	C/N	Carbonatos	Caliza activa*	
C/N	1.000	0.715	0.726	
Carbonatos	0.715	1.000	0.755	
Caliza activa	0.726	0.755	1.000	
Suma coef.	2.441	2.470	2.482	
Variabes CP 2	C. Orgánico*	N total	Na asimilable	Ca cambio
C. Orgánico	1.000	0.934	0.692	0.677
N total	0.934	1.000	0.544	0.505
Na asimilab	0.692	0.544	1.000	0.969
Ca cambio	0.677	0.505	0.969	1.000
Suma coef.	3.302	2.983	3.204	3.151
Variabes CP 3	pH agua*	C.Eléctrica	Ca asimilable	
pH agua	1.000	0.787	0.841	
C.Eléctrica	0.787	1.000	0.765	
Ca asimilable	0.841	0.765	1.000	
Suma coef.	2.628	2.552	2.606	

Tabla 67. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP 1 y CP2, propiedades químicas, horizonte subsuperficial.

	pH H2O	pH KCl	C.E	C. O	N total	C/N	Carbon.	Caliza	Ca asi	Mg asi	Na asi	K asi	P2O5 asi	C.I.C.	Na ca	K ca	Ca ca	Mg ca
pH H2O	1.000																	
pH KCl	0.531	1.000																
C.E	-0.787	-0.528	1.000															
C. Orgánico	0.050	0.200	0.215	1.000														
N total	-0.065	0.103	0.410	0.934	1.000													
C/N	0.310	0.499	-0.353	0.420	0.195	1.000												
Carbonatos	0.391	0.752	-0.447	0.189	0.009	0.715	1.000											
Caliza activa	0.390	0.563	-0.343	0.123	-0.044	0.726	0.755	1.000										
Ca asi	-0.841	-0.644	0.765	-0.211	-0.087	-0.528	-0.613	-0.542	1.000									
Mg asi	-0.151	-0.477	0.182	0.055	-0.037	0.173	0.065	0.185	0.140	1.000								
Na asi	0.418	0.368	-0.115	0.682	0.544	0.763	0.492	0.509	-0.567	0.159	1.000							
K asi	-0.319	-0.380	0.287	0.034	0.079	-0.117	-0.175	-0.255	0.185	0.242	-0.177	1.000						
P2O5 asi	0.183	-0.123	-0.374	0.069	-0.004	-0.143	-0.097	-0.285	-0.181	0.112	-0.316	0.440	1.000					
C.I.C.	-0.368	-0.781	0.585	0.336	0.401	-0.115	-0.453	-0.372	0.313	0.486	0.209	0.547	0.037	1.000				
Na cambio	0.288	0.255	-0.204	0.454	0.414	0.408	0.329	0.171	-0.662	0.000	0.561	0.382	0.173	0.290	1.000			
K cambio	-0.112	-0.474	0.150	0.048	-0.027	0.181	0.085	0.183	0.074	0.990	0.193	0.228	0.093	0.520	0.062	1.000		
Ca cambio	0.515	0.494	-0.262	0.877	0.505	0.754	0.537	0.477	-0.641	0.070	0.969	-0.303	-0.256	0.048	0.545	0.104	1.000	
Mg cambio	-0.319	-0.287	0.286	0.086	0.105	-0.055	-0.067	-0.233	0.198	0.278	-0.139	0.976	0.435	0.484	0.361	0.252	-0.240	1.000

Tabla 68. Coeficientes de correlación entre los parámetros químicos del horizonte subsuperficial.

5.2.3.1.5. Aplicación de ACP sobre propiedades biológicas y bioquímicas

El análisis factorial realizado sobre este grupo ha resultado en la extracción de tres componentes, llegando a representar un 81% de la varianza total de los datos. Este grupo presenta un menor porcentaje explicado debido a que este tipo de datos biológicos y bioquímicos presentan una gran variabilidad por la sensibilidad de los microorganismos.

La CP1 viene numerosamente representada por la mayoría de las actividades enzimáticas analizadas, por lo que se analiza la tabla 70. En ella, y por su elevado número de representación se seleccionan la catalasa y la proteasa. La primera por presentar el mayor grado de independencia con el resto y la proteasa por presentar el mayor valor de las sumas de sus coeficientes. Sin embargo en las CP2 y 3 no correlacionan ninguna de las variables que las componen, quedando por tanto seleccionadas todas ellas (deshidrogenasa, respiración, carbono de la biomasa, Cbio/COT y qCO₂) como indicadores (tabla 72).

	Componentes Principales		
	1	2	3
Autovalores	3.555	2.539	2.074
% de la varianza	35.553	25.388	20.741
% acumulado	35.553	60.942	81.683
Variables			
Catalasa	0.848	-0.132	
Ureasa	0.789	0.193	-0.168
Proteasa	0.857	0.413	
Glucosidasa	0.715	0.569	
Fosfatasa	0.872	-0.152	0.133
Deshidrogenasa	0.256	0.896	
C biomasa	0.318	0.514	0.754
Respiración	-0.165	0.901	
Cbio/COT	-0.126	0.144	0.830
qCO ₂		0.262	-0.869

Tabla 69. Resultados del ACP (autovalores de la matriz rotada) sobre propiedades biológicas y bioquímicas en horizontes superficiales.

Variables CP 1	Catalasa*	Ureasa	Proteasa*	Glucosidasa	Fosfatasa
Catalasa	1.000	0.606	0.691	0.380	0.706
Ureasa	0.606	1.000	0.739	0.627	0.493
Proteasa	0.691	0.739	1.000	0.828	0.618
Glucosidasa	0.380	0.627	0.828	1.000	0.573
Fosfatasa	0.706	0.493	0.618	0.573	1.000
Suma coef.	3.383	3.464	3.876	3.408	3.390

Tabla 70. Sumas de los coeficientes de correlación (valor absoluto) del CP1, propiedades biológicas y bioquímicas, horizonte superficial.

	Catalasa	Ureasa	Protinasa	Glucosidasa	Fosfatasa	Deshidrog.	C biomasa	Respiración	Cbio/COT	qCO ₂
Catalasa	1,000									
Ureasa	0,606	1,000								
Protinasa	0,691	0,739	1,000							
Glucosidasa	0,380	0,627	0,828	1,000						
Fosfatasa	0,706	0,493	0,618	0,573	1,000					
Deshidrog.	0,069	0,246	0,573	0,715	0,155	1,000				
C biomasa	0,219	0,204	0,425	0,593	0,309	0,568	1,000			
Respiración	-0,136	0,146	0,204	0,284	-0,297	0,672	0,419	1,000		
Cbio/COT	0,049	-0,226	-0,026	0,006	-0,028	0,018	0,559	0,261	1,000	
qCO ₂	0,001	0,073	0,168	0,034	-0,105	0,192	-0,560	0,228	-0,502	1,000

Tabla 71. Coeficientes de correlación entre los parámetros biológicos y bioquímicos del horizonte superficial.

5.2.3.1.6. Indicadores finalmente seleccionados

Tras el análisis efectuado adoptando los diferentes criterios observamos que si comparamos los indicadores en ambos horizontes encontramos que éstos difieren, coincidiendo con Shukla et al. (2005) quienes afirman que los factores determinantes en la calidad del suelo varían con la profundidad. En la tabla 72 se resumen los indicadores seleccionados por el ACP para evaluar la calidad en ambos horizontes mediante ambas estrategias.

ESTRATEGIA 1		
<i>Horizonte superficial</i>	<i>CP</i>	<i>Horizonte subsuperficial</i>
C/N y Punto de marchitamiento	1	Ca asimilable
pH aguay β -glucosidasa	2	k de cambio
Arena fina y densidad aparente	3	N total
Esmectita	4	C/N
C biomasa y Cbio/COT	5	Arena media
	6	Na de cambio
	7	P ₂ O ₅ y arcilla
ESTRATEGIA 2		
<i>Propiedades físicas y mineralógicas</i>		
<i>Horizonte superficial</i>	<i>CP</i>	<i>Horizonte subsuperficial</i>
Arena muy fina	1	Arena muy gruesa y arena media
Illita y tasa de infiltración	2	Arcilla
Arcilla y porosidad	3	Porosidad
Punto de marchitez y profundidad efectiva	4	Caolinita y densidad real
Limo	5	Arena fina e illita
Arena muy gruesa, esmectita y densidad real	6	
<i>Propiedades químicas</i>		
<i>Horizonte superficial</i>	<i>CP</i>	<i>Horizonte subsuperficial</i>
C. Orgánico y Na asimilable	1	Caliza activa
C/N, carbonatos y caliza activa	2	C. Orgánico
pH agua y conductividad eléctrica	3	pH agua
K asimilable y P ₂ O ₅ asimilable	4	K de cambio
	5	Mg de cambio
<i>Propiedades biológicas y bioquímicas</i>		
<i>Horizonte superficial</i>	<i>CP</i>	
Catalasa y proteasa	1	
Deshidrogenasa y respiración microbiana	2	
C de biomasa, Cbio/COT y qCO ₂	3	

Tabla 72. Resumen de los indicadores seleccionados.

5.2.4. Transformación de indicadores

Con el fin de establecer un formulismo matemático, es preciso que los indicadores sean transformados en unidades adimensionales con la finalidad de adjudicar un valor a los parámetros y poder realizar comparaciones entre ellos o integrarlos posteriormente en un índice. La transformación se ha venido realizando a través de las llamadas "scoring functions" o funciones puntuadoras, definidas por Wienhold et al. (2004) como aquellas ecuaciones matemáticas desarrolladas para describir la relación entre el valor del indicador y el proceso específico del suelo. Éstas convierten clasificaciones numéricas en valores adimensionales utilizando generalmente escalas de 0 a 1.

Larson y Pierce (1991) fueron los pioneros en proponer y cuantificar las relaciones entre los indicadores edáficos, posteriormente modificadas por Doran y Parkin (1994). Sin embargo, y basándose en estos estudios preliminares Karlen et al. (1994 a,b) aplicaron las funciones puntuadoras desarrolladas por Wymore (1993) adaptándolas a las relaciones entre los indicadores y las funciones del suelo, sirviendo éstos como base a estudios posteriores (Hussain et al., 1999; Andrews et al., 2002; Barbiroli et al., 2004;) que han evaluado la calidad del suelo modificando a su vez dichas funciones.

En nuestra opinión esta etapa debe subdividirse en dos una preliminar que llamaremos establecimiento de límites críticos y posteriormente la aplicación de las anteriores para obtener las diferentes funciones puntuadoras.

5.2.4.1. Establecimiento de límites críticos

Singer y Ewing (2000) apuntaron que una evaluación de la calidad del suelo necesita de unos acuerdos que establezcan no sólo qué factores son importantes sino también cuales son los límites o intervalos para los suelos de calidad. De este modo, Arshad y Martin (2002) definía un valor crítico como el rango de valores deseable para los indicadores seleccionados que deben mantenerse para un funcionamiento normal de la salud del ecosistema del suelo.

Dadas las complejidades de las respuestas de los cultivos a los diferentes parámetros y por las posibles interacciones entre los mismos este paso presenta varias dificultades ya que se ha de establecer una escala de valores con el fin de decidir, para cada uno de los indicadores seleccionados, qué valores representan un mejor funcionamiento del suelo, considerando en ella tanto criterios productivos como medioambientales. Lilburne et al. (2004) señalaron además que esta escala debe ser lo suficientemente flexible para abarcar las diferencias naturales entre suelos y sus diversos usos. Para ello se define en primer lugar cómo vamos a cuantificar y a establecer los criterios considerados.

I. Criterios productivos

La valoración de las escalas de calidad para los indicadores difieren según la bibliografía, siendo los más usados:

- Basados en datos experimentales obtenidos en diferentes estudios agronómicos realizados.
- Basados en estadísticas realizadas a partir de una base de datos existentes (Gómez et al., 1996).
- Usando simuladores (Sparling et al., 2003).
- Basado en la opinión de expertos (Andrews et al., 2002).

Aunque algunos utilizan éstos por separado, la mayoría combina los anteriores con el fin de optimizar y adaptar los límites críticos a las diferentes propiedades estudiados en cada caso. Asumimos por tanto, a la hora de establecer los rangos de calidad que el uso es agrícola sin diferenciar entre tipo de suelos teniendo a su vez presente que los criterios deben establecerse específicamente al manejo que se haga del suelo.

II. Criterios medioambientales

Este tipo de criterios se basa fundamentalmente en opinión de expertos debido a la escasa información relacionada con las posibles respuestas e impactos que los diferentes parámetros del suelo puedan tener sobre el medio.

Tomando en consideración ambos criterios estableceremos en primer lugar los límites de los indicadores seleccionados basándonos en estudios preliminares, citados en la bibliografía, como aquellos encontrados en la tabla 66. Sin embargo, muchos de éstos han sido posteriormente modificados ligeramente, adecuando así los límites críticos a las características generales de la zona de estudio en función de nuestros criterios científicos. De igual manera, hemos tomado la opinión de expertos como base para establecer aquellos rangos de ciertos parámetros para los que no se han encontrado límites en la bibliografía.

Propiedad	Intervalos de calidad					Referencia
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
C.Campo (%v/v)	-	10 - 15	20 - 30	35 - 45	-	Ingelmo et al. (1994)
P.Marchitez (%v/v)	-	2 - 8	8 - 14	15 - 22	-	
Agua útil (%v/v)	-	< 8	12 - 20	25 - 35	-	
P Olsen asimilable (ppm)	<5	5-9	10-17	18-25	<25	FAO (1984)
K asimilable(ppm)*	< 50	50-100	100-175	175-300	> 300	
Mg asimilable (ppm)*	< 20	20-40	40-80	80-180	> 180	
Ca asimilable (ppm)*	< 500	500-1000	1000-1600	1600-2400	>2400	
Tasa infiltración (cm/h)	0.5-1.5	1.5-5.1	5.1-15.2	15.2-50.8	> 50.8	SQI-USDA (1999)
Prof. Efectiva (cm)	<30	30-70	70-120	>120	-	Dorronsor (2002)
C.I.C (cmol(+) kg^{-1})	<10	10-20	20-40	>40	-	
pH	<4.5;>9.0	5.5-4.5; 8.0-9.0	6.7-5.5; 7.3-8.0	7.3-6.7	-	
C.Eléctrica (dSm^{-1})	>12	6-12	2-6	<2	-	
Caliza activa (%)	>25	15-25	7-15	<7	-	
C/N	>20	15-25	12-14	10-12	≥ 10	Landcare Institute (2000)
N total (%)	0-0.025	0.25-0.35	0.35-0.64	0.64-0.70	0.70-1	

*Textura y C.I.C media

Tabla 73. Intervalos de calidad referenciados para diferentes propiedades.

Otros trabajos como los de Harris et al. (1996) y posteriormente Hussain et al. (1999) establecen directamente los límites según sea la forma de su función, tal y como se observa en la siguiente tabla y se explicará más adelante:

Propiedad	Función	Límites críticos					Referencia
		LI	LMI	O	LMS	LS	
C.Orgánico (mg kg ⁻¹)	Más es mejor	5	20	-	-	65	
K de cambio (mg kg ⁻¹)	Óptima	45	85	175	450	525	
Porosidad (%)	Óptima	20	40	50	60	80	Harris et al. (1996)
pH	Óptima	3.5	5.3	6.5	7.7	9.5	
Densidad aparente (g cm ⁻³)	Menos es mejor	1.2	1.45	-	-	2.1	

Tabla 74. Límites críticos establecidos por Harris et al. (1996).

Citados las diferentes interpretaciones de los niveles de calidad realizada por diversos autores, estableceremos, a partir de los mismos, una escala de calidad con sus diferentes límites asociando éstos a una calidad baja, media o alta. Se observa por el contrario, que algunos parámetros contienen más de tres rangos referenciados (tabla 73). Por ello, en primer lugar reducimos a tres tomando como referencia los intervalos bajo, medio y alto de la tabla 73. Además, debemos transformar aquellas propiedades cuya escala presente diferentes unidades a las analizadas en este estudio. A partir de los tres rangos de valores seleccionados obtenemos sus valores medios como límites críticos de los mismos, asignándoles posteriormente una puntuación de 0, 0.5 y 1 correspondiente a la calidad que presenten.

Tras aplicar los diferentes criterios a través de los cuales se han establecido los límites críticos es necesario determinar qué tipo de función puntuadora es la más adecuada y más se ajusta a cada indicador en nuestro tipo de suelo determinado. Este paso debe considerar el diferente comportamiento que los diferentes parámetros presentan dependiendo de su naturaleza y del uso al que se destina el suelo. Por ello, resulta imposible definir un tipo de función que explique el comportamiento de todas ellas, siendo necesario determinar funciones específicas para cada indicador y uso del suelo, al igual que realizaron Sparling et al. (2004) en la evaluación de calidad de los suelos de Nueva Zelanda.

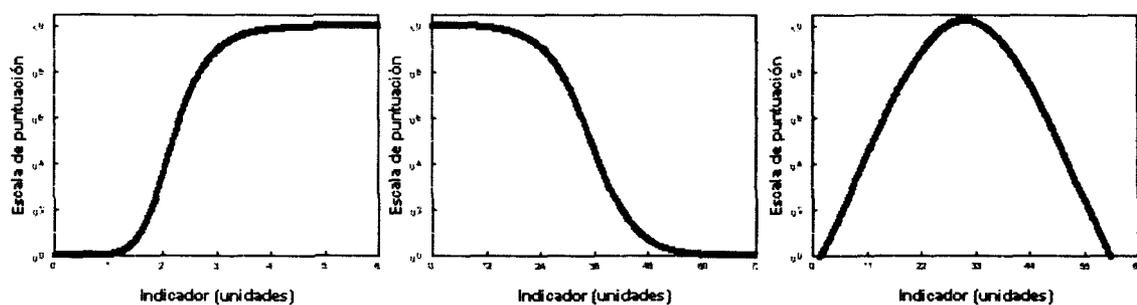


Figura 80. Tipos de funciones de transformación: (a) "más es mejor", (b) "menos es mejor" y (c) "óptima".

Acorde con la bibliografía, las diferentes propiedades del suelo se van a ajustar generalmente a tres tipos de curvas (figura 81): "más es mejor", "menos es mejor" y "óptima" (Karlen et al., 1994; Hussain et al., 1999). Así, por ejemplo un indicador como el contenido en C orgánico, seguiría una función del tipo "más es mejor", asociado a la idea de que cuanto mayor sea su valor de mejor calidad es el suelo mientras el pH del suelo seguirá una curva óptima, pues existe un intervalo óptimo por encima o por debajo del cual perjudica a la calidad del mismo. Asimismo, la salinidad sería un indicador del tipo de curva "menos es mejor".

Tanto en el establecimiento de límites como la designación del tipo de función que va a seguir cada atributo interviene los criterios medioambientales, ya que en este paso es donde se transforma la escala cuantitativa a una cualitativa. En un principio podríamos pensar que el contenido en nitrógeno total fuese un indicador del tipo "más es mejor". Sin embargo, si pensamos en un exceso de este nutriente en el suelo podría darse riesgos de que éste pudiera afectar a otros medios causando su deterioro, por ejemplo mediante la infiltración en forma de nitratos que llegara a contaminar las aguas subterráneas asociadas a ese suelo.

Por lo tanto, y según sea el tipo de función específica de cada indicador, se van a obtener determinado número de límites. Esto es que las propiedades cuya función sea de la forma "más es mejor" o "menos es mejor" van a tener 3 límites mientras las funciones de tipo "óptima" van a contar con 5 límites, sin

embargo todas ellas cuentan con tres intervalos de calidad, según la figura 81.

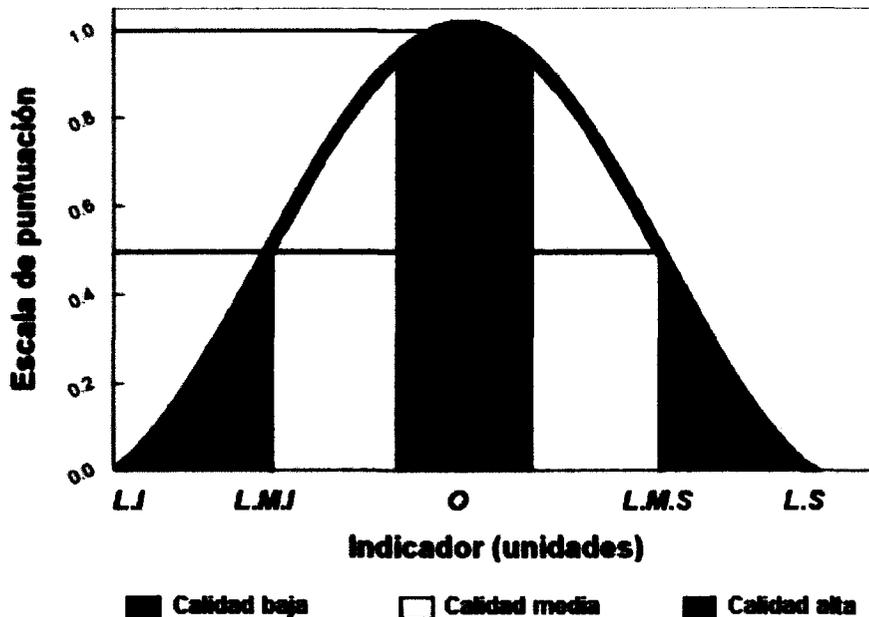


Figura 81. Función óptima con sus límites críticos.

La denominación de todos los límites se determinan a partir de los límites establecidos sobre esta función óptima, para unificar la terminología. De este modo, los límites críticos para las funciones de tipo “más es mejor” y “menos es mejor” los denominaremos límite inferior (L.I), límite medio inferior (L.M.I) y límite superior (L.S), que corresponderán a una puntuación de 0, 0.5 y 1 en el primer caso y de 1, 0.5 y 0 en la segunda. Por otra parte, las funciones del tipo “óptima” presentan cinco límites: límite inferior (L.I), límite medio inferior (L.M.I), límite óptimo (O), límite medio superior (L.M.S) y límite superior (L.S), asociados a una puntuación de 0, 0.5, 1, 0.5 y 0 respectivamente.

Los diferentes límites asociados a los indicadores seleccionados junto a sus funciones con sus correspondientes puntuaciones se citan en las tablas 69, 70 y 71.

5.2.4.2. Funciones transformadoras

A la hora de normalizar los indicadores algunos autores han establecido funciones lineales (Liebig et al., 2001; Andrews et al., 2002 b; Sharma et al., 2005) resaltando su simplicidad. Sin embargo, aunque son diversas las técnicas utilizadas, son más frecuentes las de tipo no lineal como las usadas por Karlen y Stott (1994) y Andrews y Carroll (2001). Aunque adoptar este tipo de funciones requiere un mayor conocimiento del comportamiento de cada indicador y su función dentro del ecosistema, Andrews et al. (2002) demostraron, tras comparar varios métodos, que este tipo de puntuación es más representativa que la lineal. Así pues, la mayoría de autores han utilizado las curvas de puntuación por ser las más fiables y adaptarse mejor a los diferentes indicadores.

Siguiendo esta idea y en el caso específico de parámetros físicos y químicos se han determinado curvas de puntuación. Estas funciones han sido determinadas, al igual que Andrews et al. (2004), utilizando un programa de ajuste de curvas llamado Curve Expert versión 1.3 shareware (<http://curveexpert.webhop.biz/>), donde introducimos en el eje de abscisas los valores críticos de cada indicador y en las ordenadas su escala de puntuación, de 0 a 1, correspondiente. Una vez introducidos estos valores, el programa busca la función que mejor se ajuste a los datos introducidos, ofreciendo así una curva con el grado de correlación al igual que su ecuación matemática, a partir de la cual se puede obtener cualquier valor.

En el caso de los indicadores de tipo biológico y bioquímico, y a la falta de estudios que establezcan funciones o curvas respuesta que estudien las relaciones de estos parámetros con las funciones del suelo, recurrimos a las funciones de tipo lineal, basándonos en los resultados obtenidos para establecer los criterios de calidad. Para ello, seleccionamos el suelo 29, tomado bajo vegetación natural en el Parque Nacional de Cabañeros, por presentar la mayor actividad biológica en la mayoría de los parámetros analizados, como referencia de calidad óptima. Construiremos unas funciones puntuadoras de tipo lineal, determinando el valor 1 como de máxima calidad, correspondientes a los valores obtenidos por el suelo referencia (29), mientras la puntuación 0 corresponderán a una actividad nula. Sin embargo, y en el caso de la relación Cbiomasa/Corgánico y el cociente metabólico (qCO_2) siguen tendencias opuestas como ya se comentó en el capítulo 4, por lo que se establecen los límites de 0 como óptimo y 1 como de mala calidad (tabla 75).

Suelo de referencia (29)	Escala valores	Escala puntuación
Carbono de la biomasa (mg.kg^{-1})	0 – 288.9	0 – 1
Respiración basal ($\text{mgO}_2/\text{Kg. día}$)	0 – 175.9	0 – 1
Cbio/COT	0 – 1	1 – 0
$q\text{CO}_2$	0 – 1	1 – 0
Actividad Catalasa ($\mu\text{mol O}_2\text{g}^{-1}\text{min}^{-1}$)	0 – 4.79	0 – 1
Actividad Proteasa ($\mu\text{mol PNPg}^{-1}\text{h}^{-1}$)	0 – 7.12	0 – 1
Actividad Deshidrogenasa ($\mu\text{molINTFg}^{-1}$)	0 – 22.74	0 – 1
Actividad β -Glucosidasa ($\mu\text{mol NH}_4^+\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	0 – 76.6	0 – 1

Tabla 75. Resumen de parámetros biológicos y bioquímicos de los suelos de referencia.

A partir de los rangos de calidad establecidos para estas propiedades aplicamos una regresión lineal, después de representar los rangos de valores obtenidos (eje-x) frente a la escala de calidad (eje-y), obteniendo de esta forma la ecuación necesaria de la función, a partir de la cual va a ser posible la transformación de los indicadores.

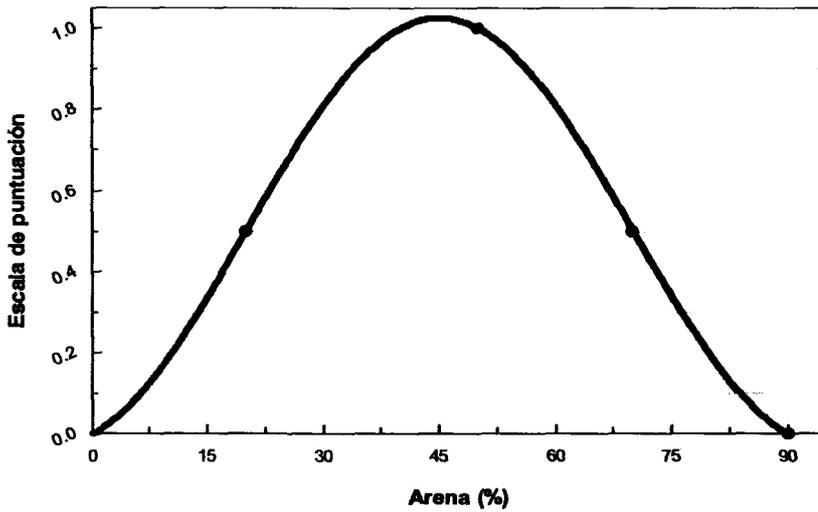
En el siguiente apartado se muestran, agrupadas según la naturaleza de los parámetros, las funciones de transformación obtenidas para cada indicador de calidad. Se muestra igualmente una tabla con los valores medios y sus límites de calidad establecidos anteriormente en los que se basa la obtención de dicha función en cada caso. Las ecuaciones nos ayudarán a obtener la puntuación del indicador en caso de que se encuentren entre estos intervalos. De este modo, se obtienen tantas funciones como indicadores seleccionados hay y mediante ellas se obtienen los indicadores normalizados en una escala de 0 a 1. En el eje de las abscisas (indicador) se introducirán los valores en cada caso del indicador con sus unidades correspondientes y la función nos va a devolver ese valor en uno adimensional, en una escala de 0 a 1, en el eje de las ordenadas (escala de puntuación) para la posterior combinación de los mismos.

En la tabla 21 se enumeran cada una de las funciones puntuadoras obtenidas específicamente para aquellos parámetros del suelo seleccionados como indicadores de calidad del mismo una vez efectuado el Análisis de Componentes Principales. Asimismo, se muestran los tipos de funciones puntuadoras, así como sus ecuaciones y sus límites críticos.

Parámetros físicos y mineralógicos

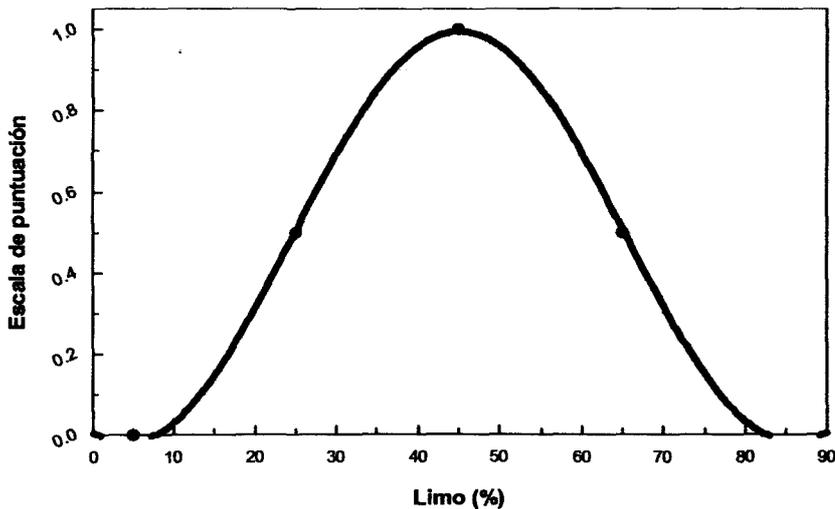
▪ **Arena**

Arena (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
0; ≥ 90	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = 0.50; b = 0.53 c = 0.06; d = -2.83 R ² = 1.000
20; 70	0.5	
50	1	



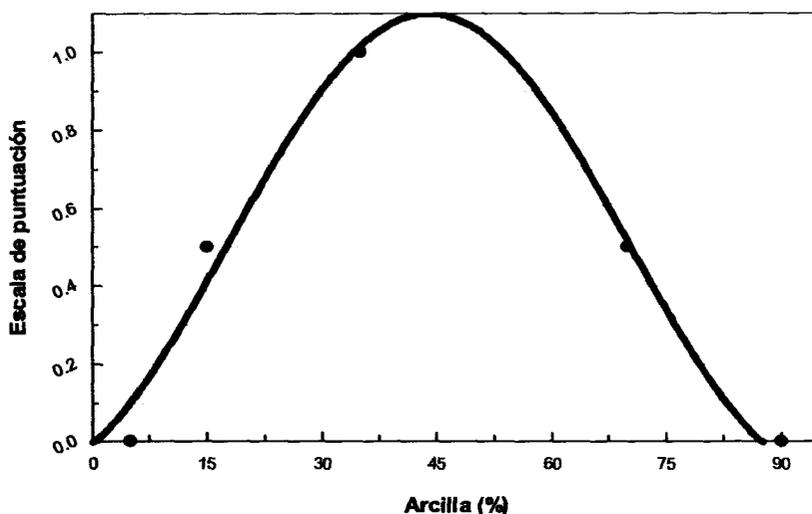
▪ **Limo**

Limo (%)	Escala de puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
≤ 5 y ≥ 90	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = 0.49; b = 0.51 c = 0.07; d = -3.45 R ² = 0.999
25; 65	0.5	
45	1	



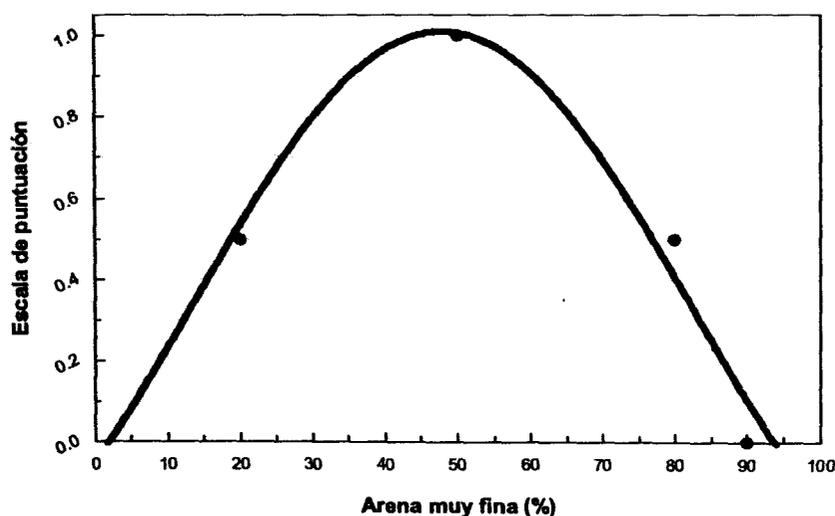
▪ **Arcilla**

Arcilla (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal	
≤ 5 y ≥ 90	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$	$a = 0.51; b = 0.59$ $c = 0.06; d = -2.64$ $R^2 = 0.988$
15, 70	0.5		
35	1		



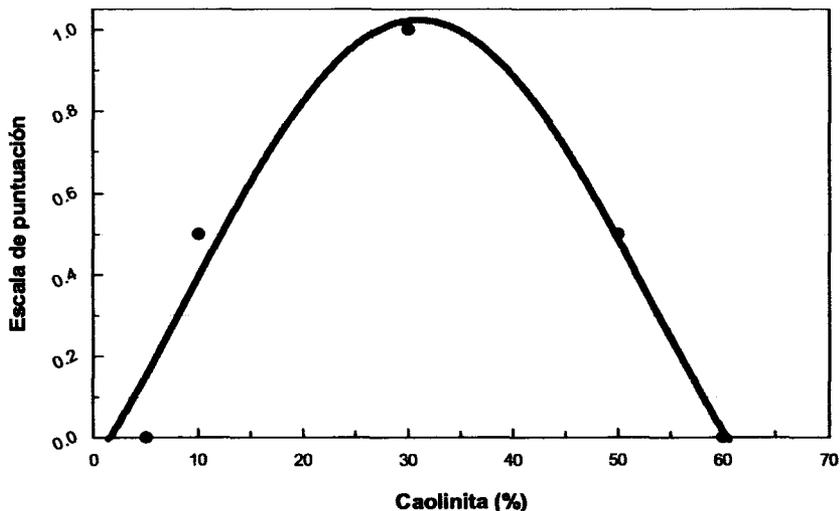
▪ **Fraccionamiento de arenas**

Arena (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal	
$\leq 20; \geq 90$	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$	$a = 0.34; b = 0.67$ $c = 0.05; d = -2.18$ $R^2 = 0.983$
20; 80	0.5		
50	1		



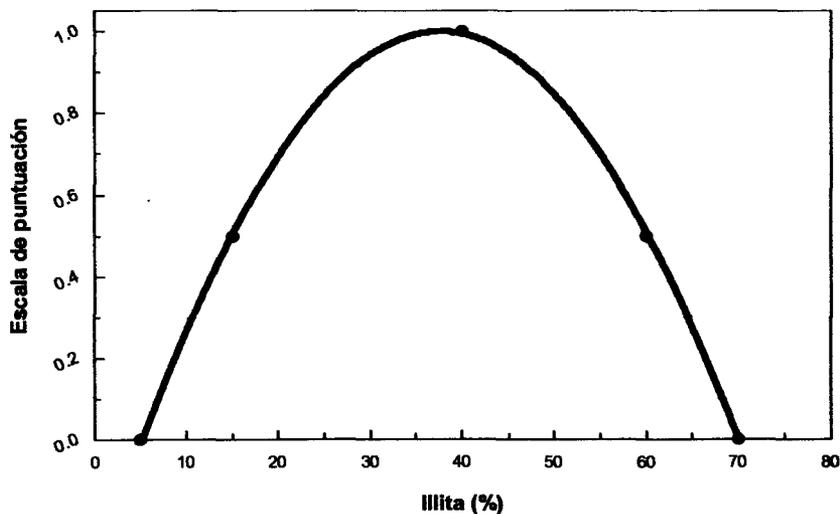
▪ **Caolinita**

Caolinita (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
≤ 5; ≥ 60	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = 0.34; b = 0.68 c = 0.07; d = -2.21 R ² =0.976
10; 50	0.5	
30	1	



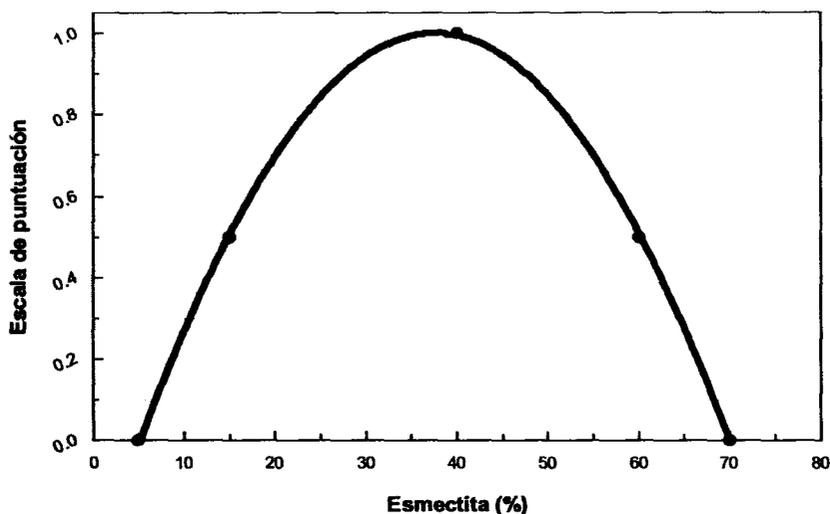
▪ **Illita**

Illita (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
≤ 5; ≥ 70	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = -2.42; b = 3.42 c = 0.02; d = -0.91 R ² =0.999
15; 60	0.5	
40	1	



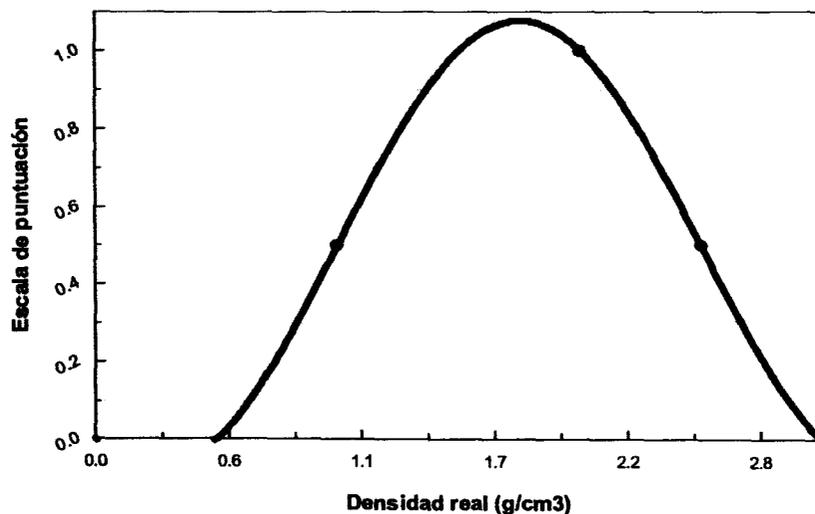
▪ **Esmectita**

Esmectita (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
≤ 5; ≥ 70	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = -2.42; b = 3.42 c = 0.02; d = -0.91 R ² = 0.999
15; 60	0.5	
40	1	



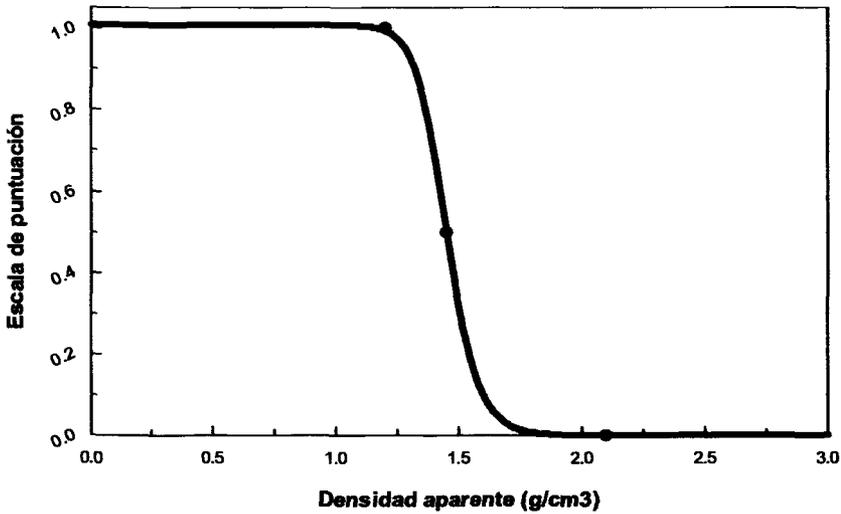
▪ **Densidad real**

D. Real (g/cm ³)	Escala puntuación	Función: Modelo Sinusoidal
≤ 0.5; ≥ 3	0	$y = a + b \cdot \cos(cx + d)$ a = 0.50; b = 0.58 c = 2.09; d = -3.67 R ² = 1.000
1; 2.5	0.5	
2	1	



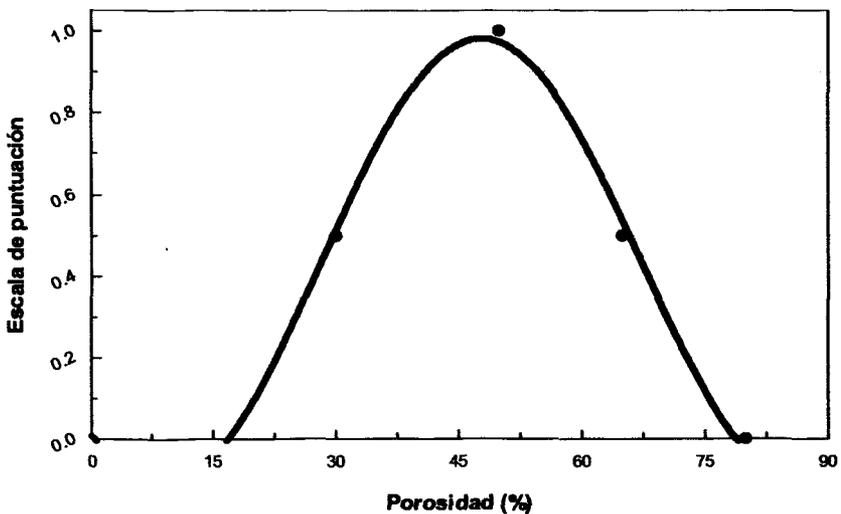
▪ **Densidad aparente**

D.aparente(g/cm ³)	Escala puntuación	Función: Modelo de Harris	
≤ 1.2	1	$y = \frac{1}{(a + b \cdot x^c)}$	a = 0.99; b = 2.5 · 10 ⁻⁴
1.45	0.5		c = 22.40
≥ 2.1	0		R ² = 0.999



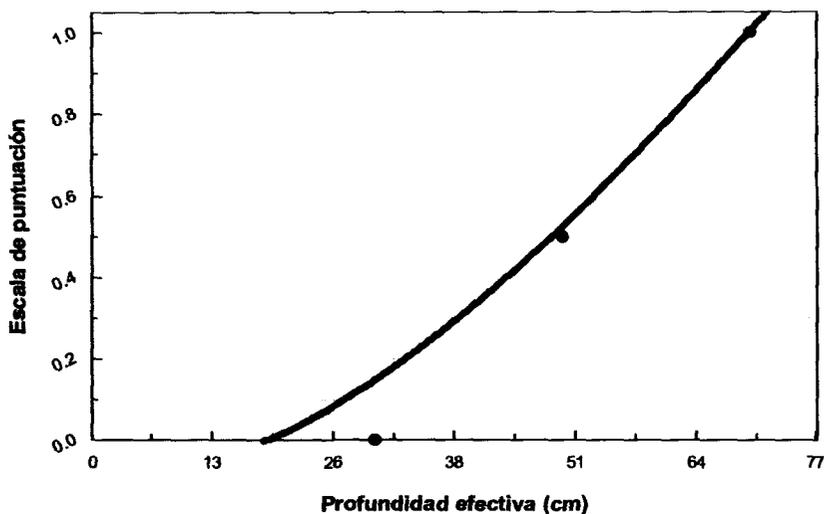
▪ **Porosidad**

Porosidad (%)	Escala puntuación	Función puntuadora	Modelo Sinusoidal
≤15; ≥ 80	0	$y = 0.43 + 0.55 \cdot \cos(0.08 \cdot x - 3.82)$	a = 0.43; b = 0.55
30; 65	0.5		c = 0.08; d = -3.82
50	1		R ² = 0.997



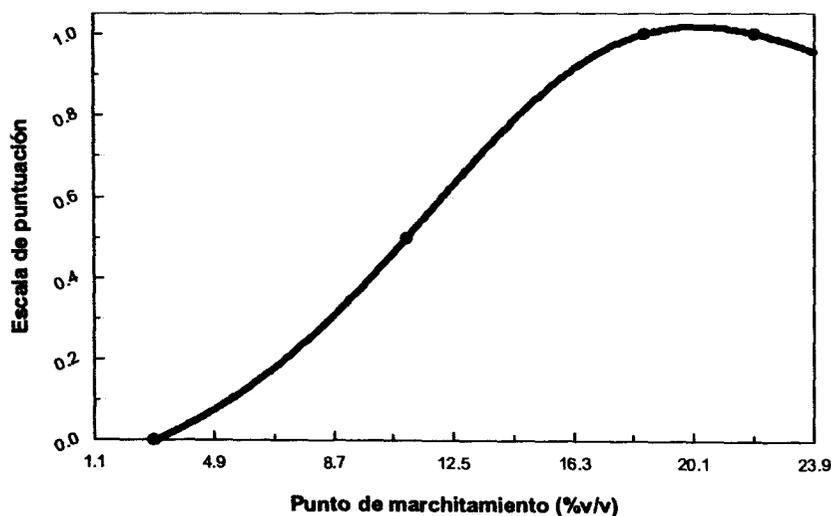
▪ **Profundidad efectiva**

P.Efectiva (cm)	Escala puntuación	Función: Modelo MMF
≤ 30	0	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ $a = -0.11; b = 1.8 \cdot 10^4$ $c = 7.25; d = 1.89$ $R^2 = 1.000$
50	0.5	
≥ 70	1	



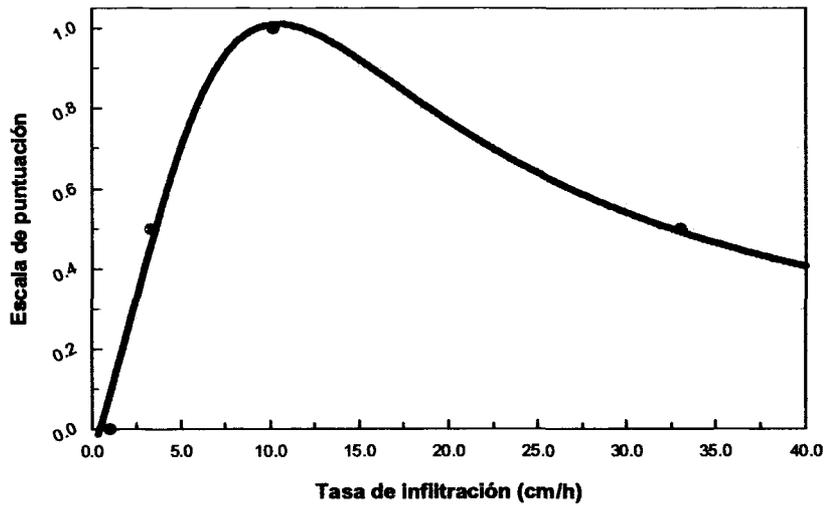
▪ **Punto de marchitez**

Punto de marchitez (%v/v)	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional
≤ 3	0	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$ $a = -0.08; b = 0.03$ $c = -0.08; d = 2.7 \cdot 10^{-3}$ $R^2 = 1.000$
11	0.5	
≥ 18.5	1	



▪ Tasa de infiltración

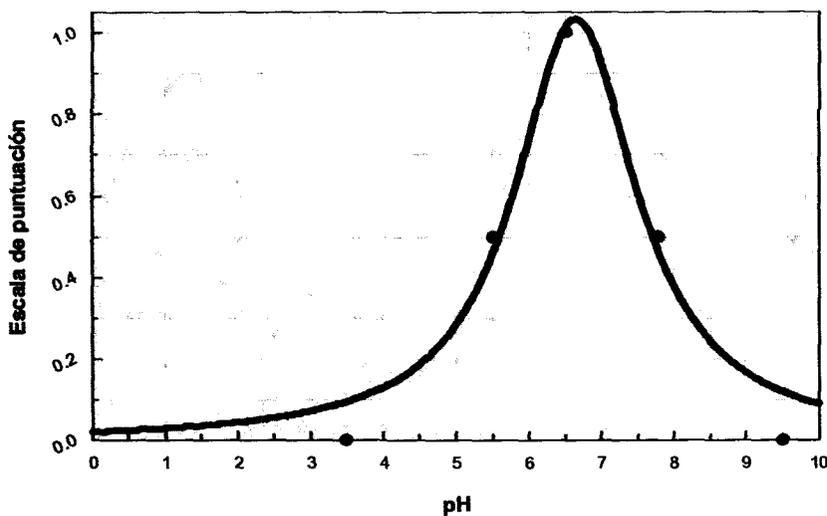
Tasa de infiltración (cm/h)	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional
≤ 1.02	0	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$
3.30; 33.02	0.5	
10.16	1	
		$a = -0.06; b = 0.15$ $c = -0.06; d = 9.8 \cdot 10^{-3}$ $R^2 = 0.989$



5.2.4.2.2. Parámetros químicos

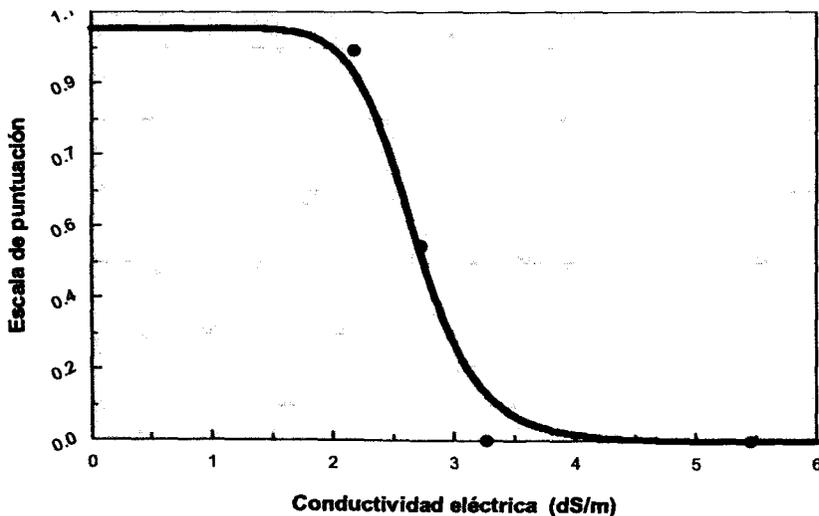
▪ pH

pH	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional	
≤ 3.5; ≥ 9.5	0	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	a = 0.02; b = 2.2.10 ⁻⁴
5.5; 7.8	0,5		c = -0.29; d = 0.02
6.5	1		R ² =0.982



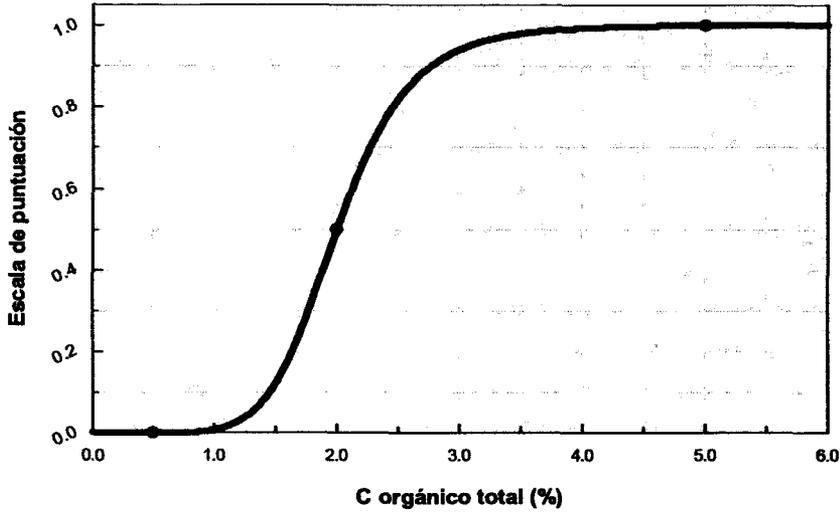
▪ Conductividad eléctrica

C.E (dS/m)	Escala puntuación	Función: Modelo de Harris	
≤ 2	1	$y = \frac{1}{(a + b \cdot x^c)}$	a = 0.94; b = 1.1.10 ⁻⁴
2.5	0.5		c = 10.15
≥ 3	0		R ² =0.988



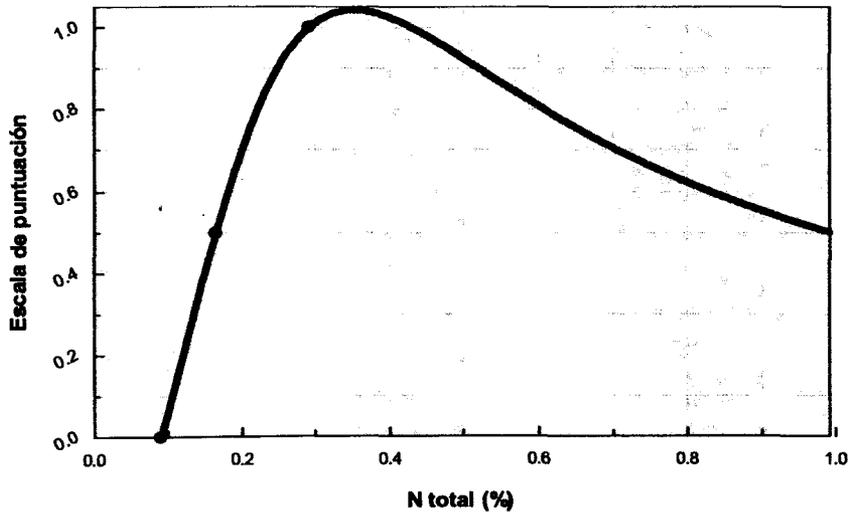
▪ **Carbono orgánico total**

C orgánico (%)	Escala puntuación	Función: Modelo MMF	
≤ 0.5	0	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	a = -4.2.10 ⁻⁵ ; b =108.7 c = 1.00; d =6.76 R ² =1.000
2	0.5		
≥ 5	1		



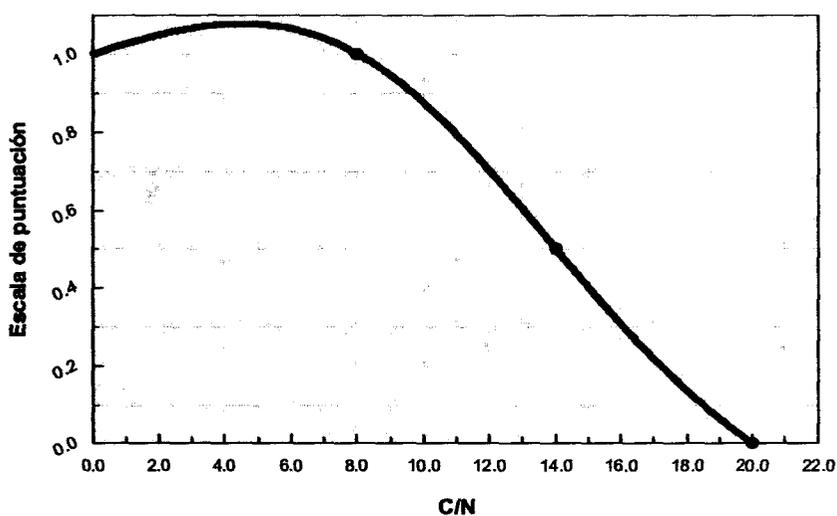
▪ **Nitrógeno total**

Nt (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional	
≤ 0.10	0	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	a = -0.50; b =5.00 c = -3.43; d =11.43 R ² =1.000
0.18; 1	0,5		
0.3	1		



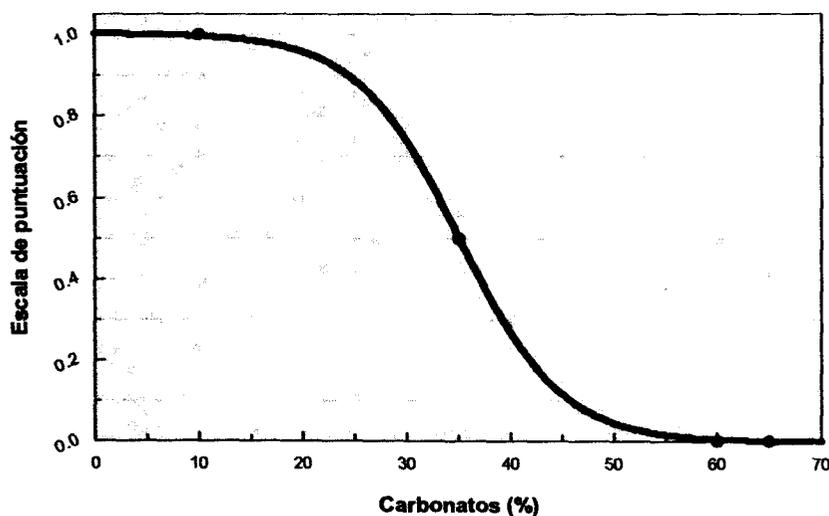
▪ **Relación C/N**

C/N	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional	
≤ 8	1	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	a = 1.00; b = -0.05 c = -0.08; d = 3.6 · 10 ⁻³ R ² = 1.000
14	0.5		
≥ 20	0		



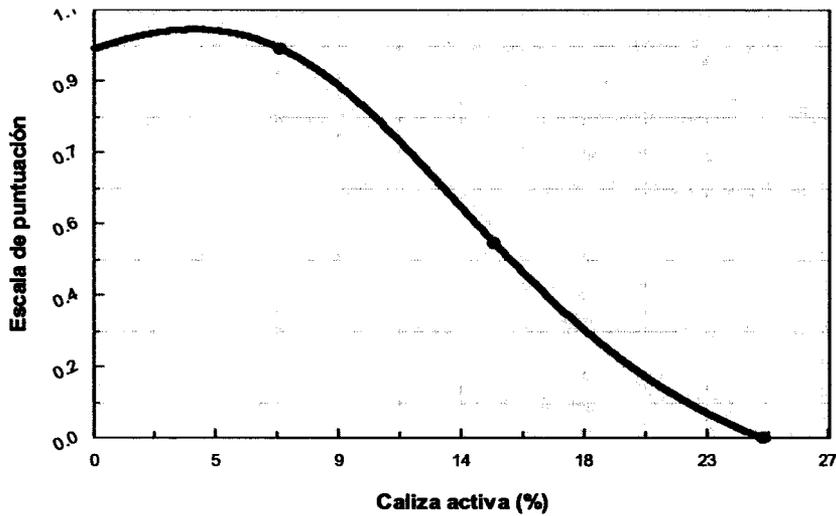
▪ **Carbonatos**

CaCO ₃ (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Logístico	
≤ 10	1	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$	a = 1.00; b = 8.0 · 10 ⁻⁴ c = -0.20 R ² = 0.999
35	0.5		
≥ 70	0		



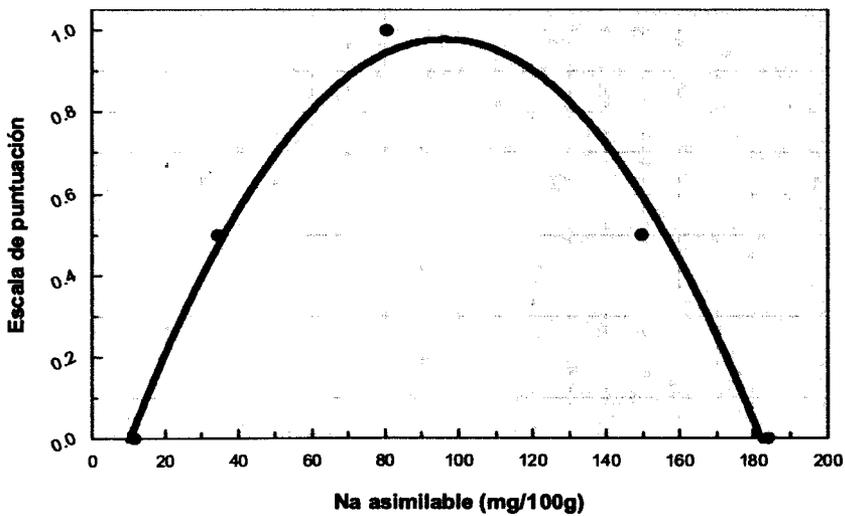
▪ **Caliza activa**

Caliza activa (%)	Escala puntuación	Función: Modelo Función Racional
≤ 7	0	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$ $a = 1.00; b = -0.04$ $c = -0.06; d = 3.3 \cdot 10^{-3}$ $R^2 = 1.000$
15	0.5	
≥ 25	1	



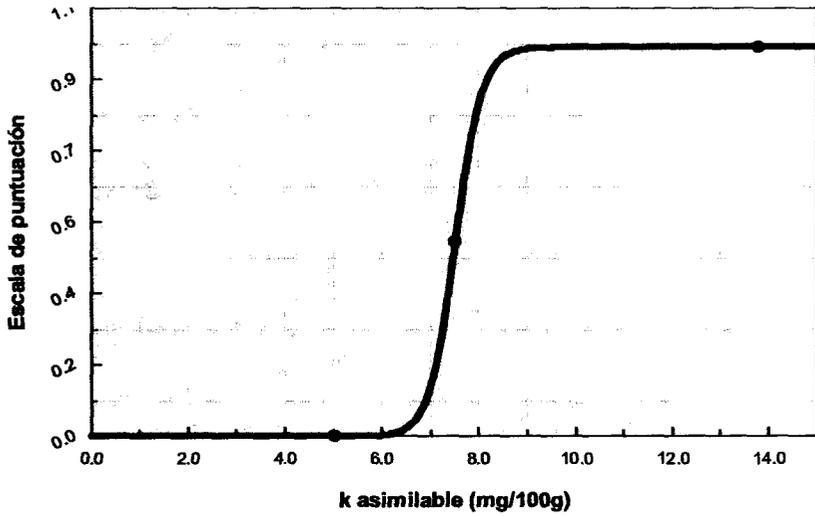
▪ **Na asimilable**

Na (mg/100g)	Escala puntuación	Función: Ajuste Cuadrático
11.5; ≥184.0	0	$y = a + bx + cx^2$ $a = -0.24; b = 0.03$ $c = -1.3 \cdot 10^{-4}$ $R^2 = 0.988$
34.5; 149.5	0.5	
80.5	1	



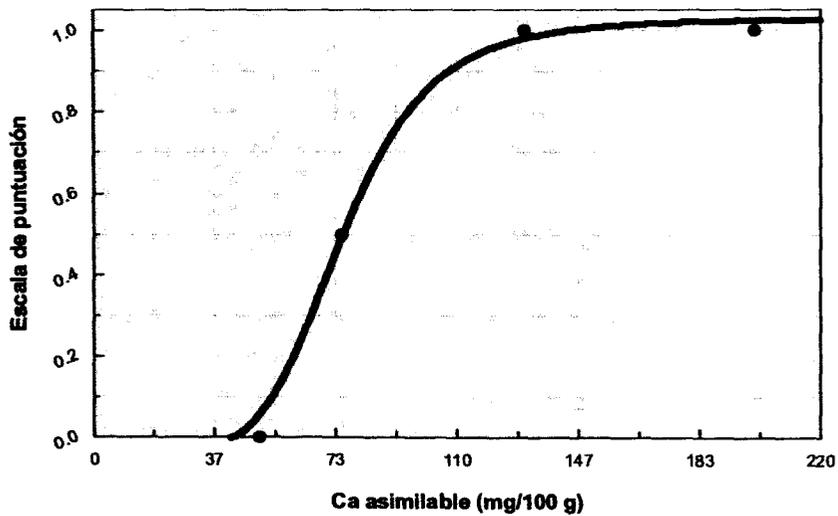
▪ **K asimilable**

k (mg/100g)	Escala puntuación	Función: Modelo Logístico
≤ 5	0	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ a = 1.00; b = 1.0 · 10 ¹² c = 3.69 R ² = 1.000
7.5	0.5	
≥ 13.8	1	



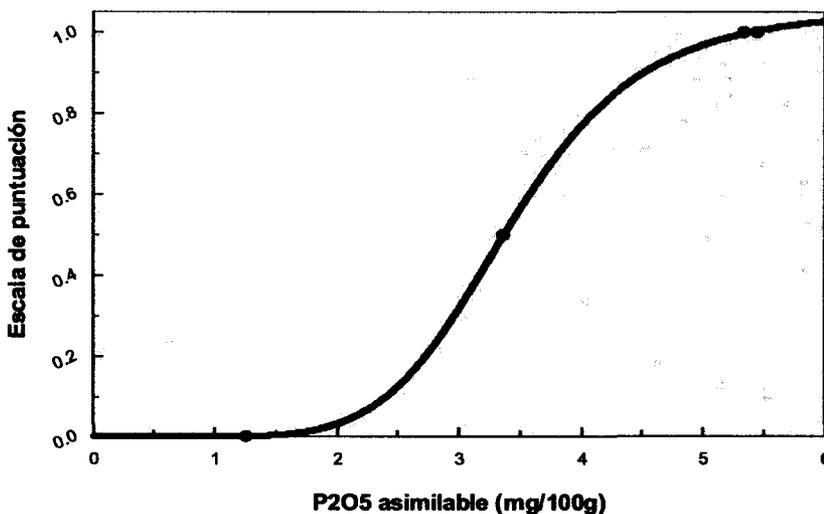
▪ **Ca asimilable**

Ca (mg/100g)	Escala puntuación	Función: Modelo MMF
≤ 50	0	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ a = -0.04; b = 2.9 · 10 ¹⁰ c = 1.03; d = 5.58 R ² = 0.996
75	0.5	
≥ 130	1	



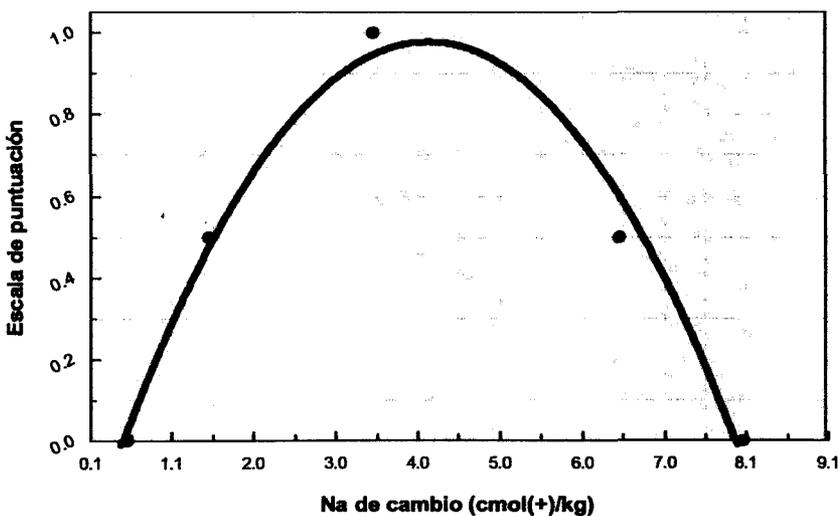
▪ **P₂O₅ asimilable**

P ₂ O ₅ (mg/100g)	Escala puntuación	Función: Modelo MMF
≤1.2	0	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ a = -9.0.10 ⁻⁴ ; b =1434.5 c = 1.06; d =6.35 R ² = 0.999
3.1	0.5	
≥4.9	1	



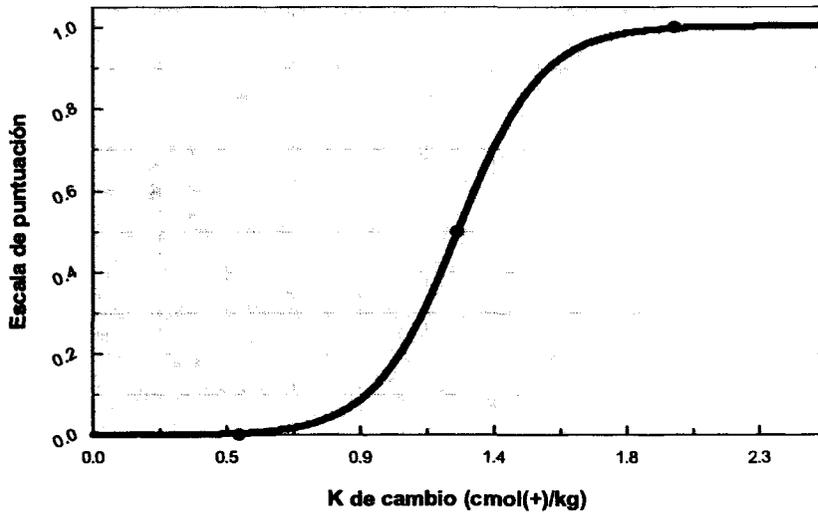
▪ **Sodio de cambio**

Na ⁺ (cmol(+)/kg)	Escala puntuación	Función: Ajuste Cuadrático
≤ 0.5; ≥ 8	0	$y = a + bx + cx^2$ a = -0.24; b = 0.59 c = -0.07 R ² = 0.988
1.5; 6.5	0.5	
3.5	1	



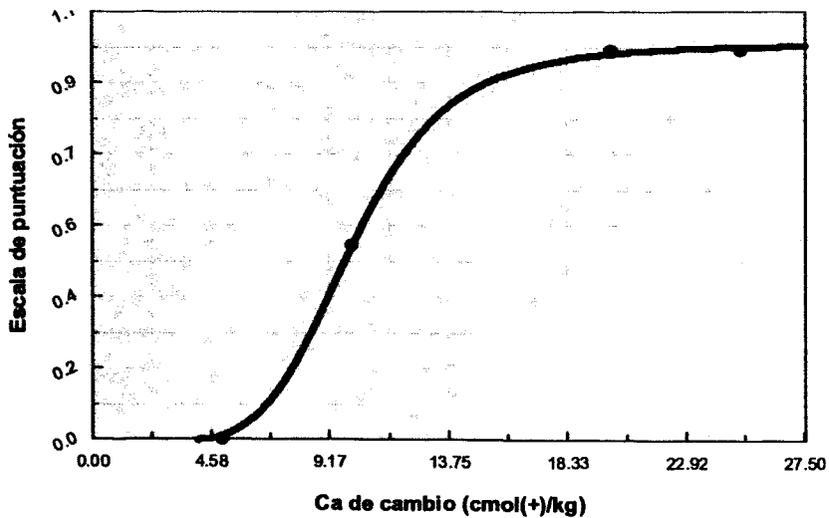
▪ **Potasio de cambio**

K ⁺ (cmol(+)/kg)	Escala puntuación	Función: Modelo Logístico	
≤ 0.5	0	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$	a = 1.00; b =
1.3	0.5		6064.5
≥ 2	1		c = 6.96 R ² = 0.999



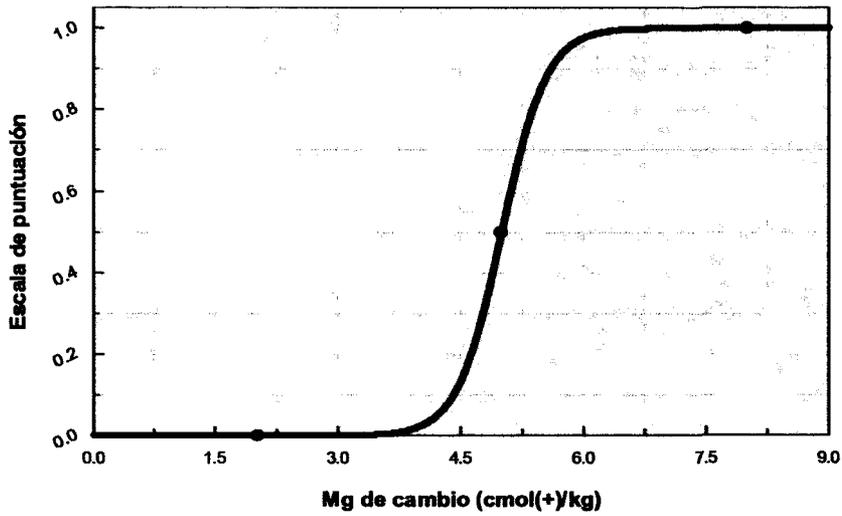
▪ **Calcio de cambio**

Ca ²⁺ (cmol(+)/kg)	Escala puntuación	Función: Modelo MMF	
≤ 5	0	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	a = -0.01; b = 2.6.10 ⁵
10	0.5		c = 1.02; d = 5.41
≥ 20	1		R ² = 0.999



▪ **Magnesio de cambio**

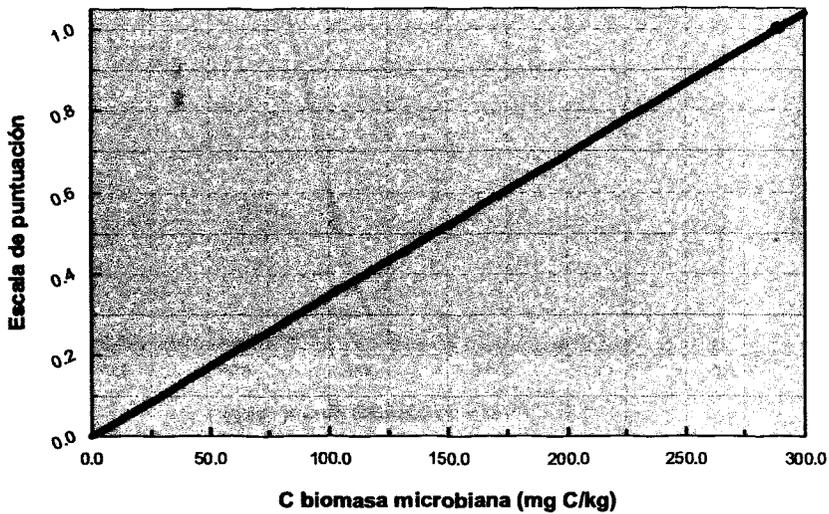
Mg ²⁺ (cmol(+)/kg)	Escala puntuación	Función: Modelo Logístico
≤ 2	0	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ a = 1.00; b = 1.0 · 10 ⁸ c = 3.69 R ² = 1.000
5	0.5	
≥ 8	1	



5.2.4.2.3. Parámetros biológicos y bioquímicos

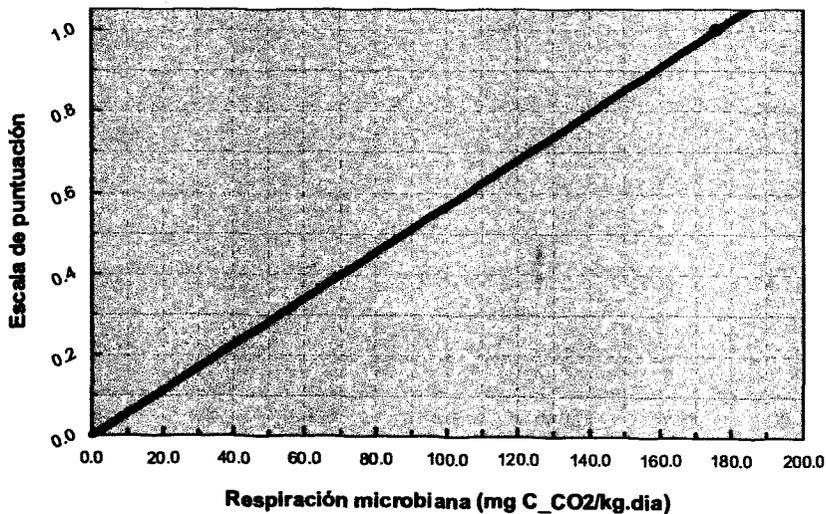
▪ **Carbono de la biomasa**

C biomasa (mg C kg ⁻¹)	Escala puntuación	Función : Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = 5.55 \cdot 10^{-17}$; $b = 3.46 \cdot 10^{-3}$ $R^2 = 1.000$
288.9	1		



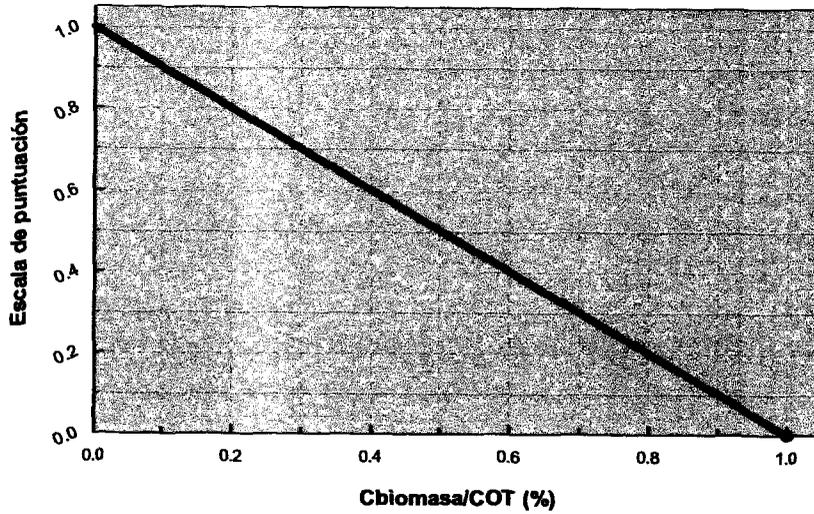
▪ **Respiración microbiana**

Respiración (mg C-CO ₂ /kg.día)	Escala puntuación	Función : Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = 0$; $b = 5.69 \cdot 10^{-3}$ $R^2 = 1.000$
175.9	1		



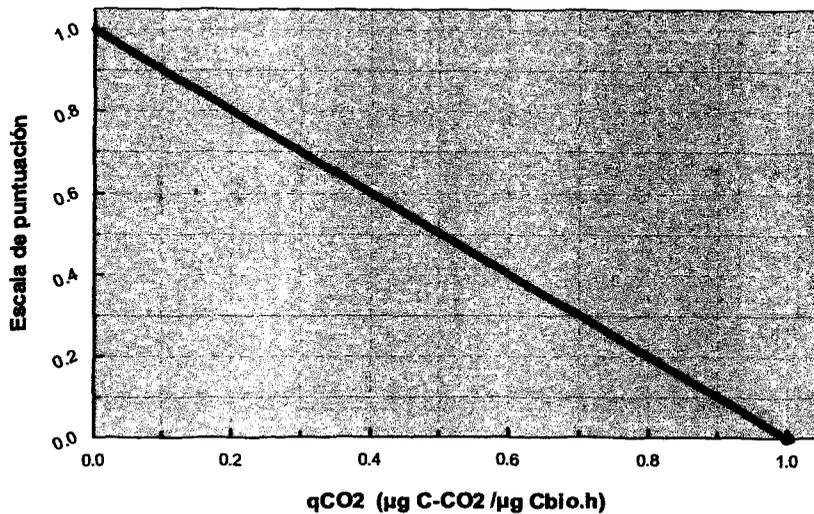
▪ **Relación C biomasa/C orgánico total**

Cbiomasa/COT (%)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal
≥ 1	0	$y = a + bx$ $a = 1.00; b = -1.00$
0	1	$R^2 = 1.000$



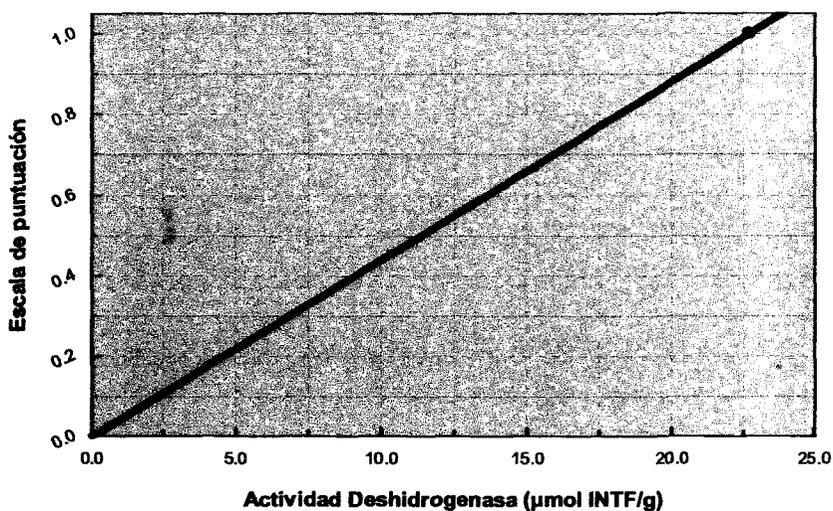
▪ **Cociente metabólico (qCO₂)**

qCO ₂ (μg C-CO ₂ / μg Cbio.h ⁻¹)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal
≥ 1	0	$y = a + bx$ $a = 1.00; b = -1.00$
0	1	$R^2 = 1.000$



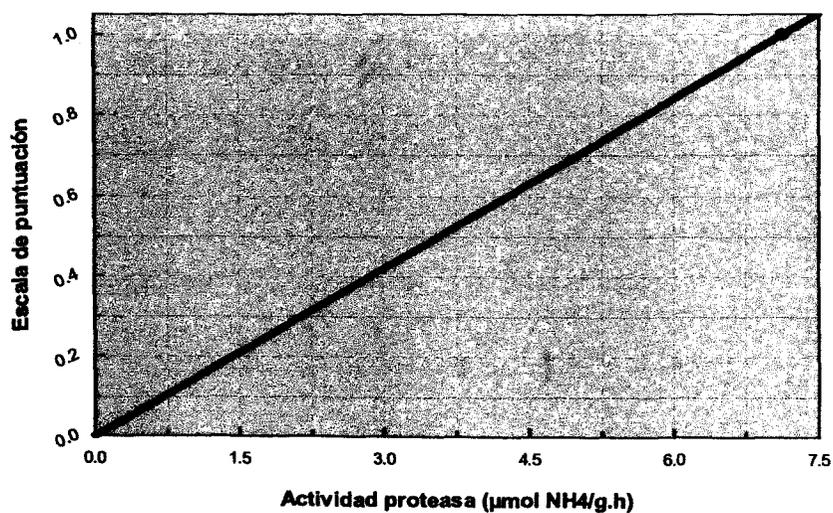
▪ **Actividad Deshidrogenasa**

Deshidrogenasa ($\mu\text{mol INTFg}^{-1}$)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = 0; b = 0.04$
22.74	1		$R^2 = 1.000$



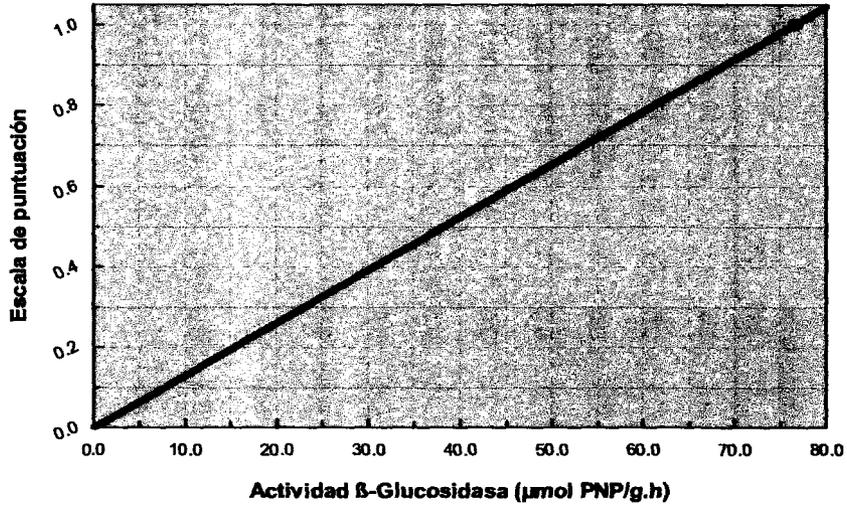
▪ **Actividad Proteasa**

Proteasa ($\mu\text{mol NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = 0; b = 0.14$
7.12	1		$R^2 = 1.000$



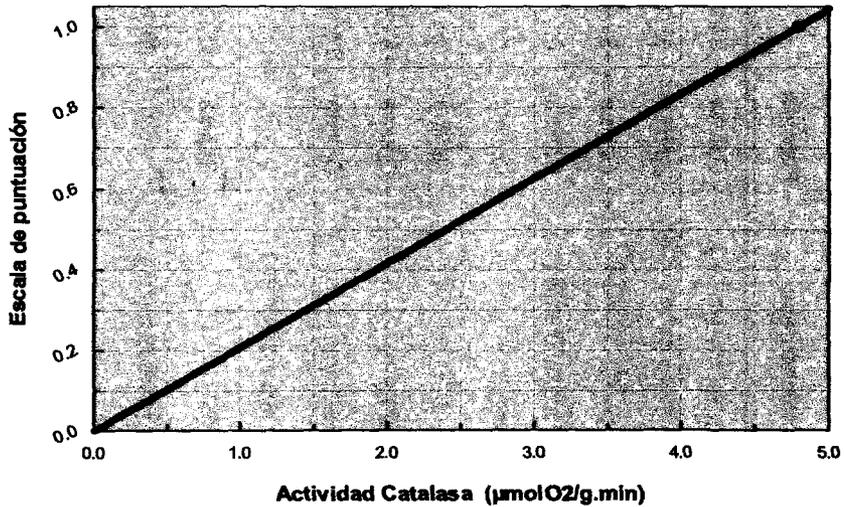
▪ **Actividad β-Glucosidasa**

β-Glucosidasa ($\mu\text{mol NH}_4^+\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = 5.55 \cdot 10^{-17}$
76.6	1		$b = 0.01$ $R^2 = 1.000$



▪ **Actividad Catalasa**

Catalasa ($\mu\text{mol O}_2\text{g}^{-1}\text{min}^{-1}$)	Escala puntuación	Función: Ajuste Lineal	
0	0	$y = a + bx$	$a = -1.11 \cdot 10^{-16}; b = 0.21$
4.79	1		$R^2 = 1.000$



Parámetros físicos y mineralógicos														
Indicadores	Función	Límites críticos						Puntuaciones			Ecuación			
		LI	LMI	O	LMS	LS	LI	LMI	O	LMS		LS		
Arena (%)	Optima	0	20	50	70	90	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.50 + 0.53 \cdot \cos(0.06x - 2.83)$
Limo (%)	Optima	5	25	45	65	90	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.49 + 0.51 \cdot \cos(0.07x - 3.45)$
Arcilla (%)	Optima	5	15	35	70	90	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.51 + 0.59 \cdot \cos(0.06x - 2.64)$
Fraccionamiento arenas (%)	Optima	0	20	50	80	90	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.34 + 0.67 \cdot \cos(0.05x - 2.18)$
Cadinita (%)	Optima	5	10	30	50	60	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.34 + 0.68 \cdot \cos(0.05x - 2.21)$
Illita (%)	Optima	5	15	40	60	70	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = -2.42 + 3.42 \cdot \cos(0.02 \cdot x - 0.91)$
Esmectita (%)	Optima	5	15	40	60	70	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = -2.42 + 3.42 \cdot \cos(0.02 \cdot x - 0.91)$
Densidad real (g/cm ³)	Optima	0.5	1	2	2.5	3	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.50 + 0.58 \cdot \cos(2.09 \cdot x - 3.67)$
Densidad aparente(g/cm ³)	-	1.2	1.45	-	-	2.1	1	0.5	0	-	-	-	-	$y = \frac{1}{(0.99 + 2.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^{2.4})}$
Porosidad (%)	Optima	15	30	50	65	80	0	0.5	1	0.5	1	0.5	1	$y = 0.43 + 0.55 \cdot \cos(0.08 \cdot x - 3.82)$
Profundidad efectiva (cm)	+	30	50	-	-	70	0	0.5	-	-	-	-	-	$y = \frac{-0.11 \cdot 1.8 \cdot 10^4 + 7.25x^9}{1.8 \cdot 10^4 + x^9}$
Punto de marchitez (%v/v)	+	3	11	-	-	18.5	0	0.5	-	-	-	-	-	$y = \frac{-0.08 + 0.03x}{1 - 0.08x + 2.7 \cdot 10^{-3}x^2}$
Tasa de infiltración (cm/h)	+	1.0	3.3	10.2	33.0	50.8	0	0.5	-	-	-	-	-	$y = \frac{-0.06 + 0.15x}{1 - 0.06x + 9.8 \cdot 10^{-3}x^2}$

Tabla 76. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros físicos y mineralógicos.

Parámetros químicos		Función	Límites críticos						Puntuaciones			Ecuación	
			LI	LMI	O	LMS	LS	LI	LMI	O	LMS		LS
pH		Optima	3.5	5.5	6.5	7.8	9.5	0	0.5	1	0.5	0	$y = \frac{0.02 + 2.2 \cdot 10^{-4} x}{1 - 0.29x + 0.02x^2}$
C. Eléctrica (dS/m)		-	2	2.5	-	-	3	1	0.5	-	-	0	$y = \frac{0.94 + 1.10^{-1} \cdot x^{0.11}}{1}$
C. Orgánico (%)		+	0.5	2	-	-	5	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{-4.2 \cdot 10^{-1} \cdot 108.7 + x^{1.3}}{108.7 + x^{1.3}}$
N total (%)			0.1	0.18	0.3	0.5	-	0	0.5	1	0.5	-	$y = \frac{-0.5 + 5.0x}{1 - 3.43x + 11.43x^2}$
C/N		-	8	14	-	-	20	1	0.5	-	-	0	$y = \frac{1}{1 - 0.08x + 3.6 \cdot 10^{-3} x^2}$
Carbonatos (%)		-	10	35	-	-	60	1	0.5	-	-	0	$y = \frac{1}{1 + 8.0 \cdot 10^{-1} e^{0.3x}}$
Caliza activa (%)		-	7	15	-	-	25	1	0.5	-	-	1	$y = \frac{1}{1 - 0.06x + 3.310^{-3} x^2}$
Na asimilable (mg/100g)		Optima	11.5	34.5	80.5	149.5	184	0	0.5	1	0.5	1	$y = -0.24 + 0.03x - 1.3 \cdot 10^{-4} x^2$
K asimilable (mg/100g)		+	5	7.5	-	-	13.8	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{1}{1 + 1.10^{-1} e^{-0.1x}}$
Ca asimilable (mg/100g)		+	50	75	-	-	130	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{-0.04 \cdot 2.9 \cdot 10^{10} + 1.03 x^{1.4}}{2.9 \cdot 10^{10} + x^{1.4}}$
P ₂ O ₅ asimilable (mg/100g)		+	1.2	3.1	-	-	4.9	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{-9 \cdot 10^{-1} \cdot 1434.5 + 1.06 x^{1.1}}{1434.5 + x^{1.1}}$
Na ⁺ de cambio (cmol(+)/kg)		Optima	0.5	1.5	3.5	6.5	8	0	0.5	1	0.5	0	$y = -0.24 + 0.59x - 0.07x^2$
K ⁺ de cambio (cmol(+)/kg)		+	0.5	1.3	-	-	2	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{1}{1 + 6064.5 e^{-0.1x}}$
Ca ²⁺ de cambio (cmol(+)/kg)		+	5	10	-	-	20	0	0.5	-	-	1	$y = \frac{-0.01 \cdot 2.6 \cdot 10^7 + 1.02 x^{1.4}}{2.6 \cdot 10^7 + x^{1.4}}$
Mg ²⁺ de cambio (cmol(+)/kg)		+	2	5	-	-	8	1	1	1	1	1	$y = \frac{1}{1 + 1.02 \cdot 10^{-1} e^{-0.1x}}$

Tabla 77. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros químicos.

Parámetros biológicos y bioquímicos													
Indicadores	Función	Límites críticos						Puntuaciones			Ecuación		
		LI	LM	O	LMS	LS	LS	LI	LM	O		LMS	LS
C biomasa (mg C kg ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	288.9	0	-	-	-	1		$y = 5.6.10^{-17} + 3.46.10^{-3} x$
Respiración (mg C-CO ₂ /kg.día)	Lineal	0	-	-	-	175.9	0	-	-	-	1		$y = 35.69.10^{-3} x$
Biomasa/COT (%)	Lineal	0	-	-	-	1	1	-	-	-	0		$y = 1 - x$
qCO ₂ (µg C-CO ₂ · µg Cbio.n ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	1	1	-	-	-	0		$y = 1 - x$
Deshidrogenasa (µmolNTFg ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	22.74	0	-	-	-	1		$y = 0.04x$
Proteasa (µmol NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	7.12	0	-	-	-	1		$y = 0.14x$
β-Glucosidasa (µmol NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	76.6	0	-	-	-	1		$y = 5.6.10^{-17} + 0.01 x$
Catalasa (µmol O ₂ g ⁻¹ min ⁻¹)	Lineal	0	-	-	-	4.79	0	-	-	-	1		$y = -1.11.10^{-16} + 0.21x$

LI: Límite inferior, LMI: Límite medio inferior, O: Límite óptimo, LMS: Límites medio superior, LS: Límite superior.
 (+): Función "Más es mejor", (-): Función "Menos es mejor"

Tabla 78. Resumen de las funciones transformadoras de parámetros biológicos y bioquímicos.

5.2.5. Integración de los indicadores en un índice

Un índice de calidad es aquel capaz de integrar en un único número la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos, pudiendo establecerse como una suma de varios subíndices, de la forma:

$$IC = IC_{Físico} + IC_{Químico} + IC_{Biológico}$$

Estas propiedades vendrán conformadas a su vez, por combinaciones de los diferentes indicadores, que han sido seleccionadas anteriormente por representar dichas funciones.

En la presente tesis se abordarán dos estrategias, con el fin de buscar el índice que mejor refleje la calidad de los suelos analizados. Para ello, y siguiendo la metodología empleada en la selección de los indicadores de calidad se propondrán dos índices, uno que aúne la calidad de ambos horizontes y otro que aúne tres subíndices de calidad física, química y biológica.

Para hacer efectiva la integración se ha de establecer en primer lugar una ponderación de dichos indicadores para señalar cuál de ellos es el más importante en dicha evaluación. Secundariamente, se ha de integrar dichos indicadores de tal forma que nos proporcione información necesaria sobre su calidad y sea capaz de discriminar entre diferentes suelos y usos.

5.2.5.1. Ponderación de los indicadores

Son numerosos los autores que realizan una ponderación de los indicadores como paso preliminar para establecer la jerarquización de los indicadores, señalando con ello, que no todos los indicadores poseen la misma importancia a la hora de evaluar la calidad. El índice propuesto por Karlen y Stott (1994) ya otorgaba diferentes coeficientes a las diferentes funciones relacionadas con la erosión hídrica: facilidad infiltración agua (0.5), facilidad de transferencia y absorción de agua (0.1), resistencia a la degradación (0.35) y capacidad de crecimiento plantas (0.05).

Asimismo, y siguiendo esta metodología, Harris et al. (1996) y Hussain et al. (1999) aplicaron este índice modificando a su vez coeficientes de ponderación de los indicadores y sus límites añadiendo a su vez otra serie de indicadores. El índice propuesto por Harris et al. (1996) era una combinación de tres funciones cuyos indicadores asociados también contaban con diferentes coeficientes de ponderación:

$$IC = 0.33 \times f(\text{nutrientes}) + 0.33 \times f(\text{agua}) + 0.34 \times f(\text{raíces})$$

- Regulación agua= f(estabilidad agregados x+ Corgánico x + residuo x+ porosidad x)
- Regulación nutrientes= f(Corgánico x + PBray x+ K Inter. x + pH x+ porosidad x)
- Regulación raíces = f(densid.aparente x+ Corgánico x + pH x+ porosidad x)

Donde x representa los diferentes coeficientes de ponderación, resumidos en la tabla 79.

Funciones	Coef. Ponderación	Parámetros	Coef. Ponderación
Disponibilidad de nutrientes	0.33	P Bray	0.15
		K intercambiable	0.15
		pH	0.20
		C orgánico	0.40
		NO ₃ _N	0.10
Disponibilidad de agua	0.33	Residuo superficial	0.25
		Porosidad	0.20
		C orgánico	0.20
		Estabilidad agregados	0.35
Raíces	0.34	pH	0.35
		Densidad aparente	0.35
		Profundidad raíces	0.20
		C orgánico	0.10

Tabla 79. Agrupación de indicadores y funciones según Harris et al (1996).

Además, existen trabajos que no establecen ninguna jerarquía en la evaluación por considerar que todos son igualmente importantes o por razones de simplicidad, otorgando el mismo peso a todos los indicadores como (Barbiroli et al., 2004; Lilburne et al., 2004) o como en el caso de Andrews et al. (2003; 2004) donde no consideran ningún factor ponderador en su estudio de la calidad.

Otro tipo de metodología, usada en investigaciones recientes sobre calidad, es obtener estos coeficientes a partir de los resultados obtenidos en el Análisis de Componentes Principales aplicado en la selección de indicadores (Andrews et al., 2002; Sharma et al., 2005). Esta metodología es la aplicada en el presente estudio y consiste en utilizar el porcentaje de variación explicado por cada componente extraído. Los coeficientes de ponderación para los indicadores seleccionados en cada componente se obtienen al dividir el porcentaje de varianza individual de esa componente por el porcentaje de variación explicado por todos las componentes con autovalores > 1 .

Siguiendo estas pautas, y a partir de las varianzas obtenidas para cada componente extraído y cada una de las estrategias seguidas, se obtienen los siguientes coeficientes, resumidos en la tabla 80, que multiplicarán a los diferentes indicadores seleccionados.

5.2.5.1.1 Estrategia 1

- **Horizonte superficial**

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	10.593	9.64	8.030	7.681	7.056
% de la varianza	24.634	22.419	18.673	17.864	16.410
% acumulado	24.634	47.053	65.726	83.590	100.000
<i>Coefficientes de ponderación</i>	0.246	0.224	0.187	0.179	0.164

- **Horizonte subsuperficial**

	Componentes Principales						
	1	2	3	4	5	6	7
Autovalores	5.572	5.188	5.045	4.002	3.963	3.748	3.418
% de la varianza	17.414	16.213	15.766	12.507	12.386	11.713	10.68
% acumulado	17.414	33.627	49.394	61.9	74.286	85.999	96.679
<i>Coefficientes de ponderación</i>	0.180	0.168	0.163	0.129	0.128	0.121	0.110

5.2.5.1.2 Estrategia 2

1. Propiedades físicas y mineralógicas

▪ Horizonte superficial

	Componentes Principales					
	1	2	3	4	5	6
Autovalores	4.26	3.659	3.217	2.885	2.32	2.18
% de la varianza	21.298	18.295	16.085	14.423	11.598	10.902
% acumulado	21.298	39.594	55.679	70.101	81.7	92.601
Coeficientes de ponderación	0.230	0.198	0.174	0.156	0.125	0.118

▪ Horizonte subsuperficial

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	3.417	2.414	2.402	2.141	1.991
% de la varianza	24.409	17.243	17.158	15.294	14.224
% acumulado	24.409	41.651	58.81	74.104	88.328
Coeficientes de ponderación	0.276	0.195	0.194	0.173	0.161

2. Propiedades químicas

▪ Horizonte superficial

	Componentes Principales			
	1	2	3	4
Autovalores	4.318	2.509	1.789	1.781
% de la varianza	33.213	19.297	13.763	13.699
% acumulado	33.213	52.51	66.273	79.972
Coeficientes de ponderación	0.415	0.241	0.172	0.171

▪ Horizonte subsuperficial

	Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
Autovalores	3.867	3.716	3.102	2.723	2.706
% de la varianza	21.483	20.642	17.233	15.126	15.034
% acumulado	21.483	42.125	59.358	74.484	89.518
Coeficientes de ponderación	0.240	0.231	0.193	0.169	0.168

3. Propiedades biológicas y bioquímicas

▪ Horizonte superficial

	Componentes Principales		
	1	2	3
Autovalores	3.555	2.539	2.074
% de la varianza	35.553	25.388	20.741
% acumulado	35.553	60.942	81.683
<i>Coefficientes de ponderación</i>	0.435	0.311	0.254

ESTRATEGIA 1					
Horizonte superficial	CP	Coefficiente ponderación	Horizonte subsuperficial	CP	Coefficiente ponderación
C/N y Punto de marchitez	1	0.246	Ca asimilable	1	0.180
pH agua y β -Glucosidasa	2	0.224	k de cambio	2	0.168
A.F y D. Aparente	3	0.187	N total	3	0.163
Esmeclita	4	0.179	C/N	4	0.129
C biomasa y Cbio/COT	5	0.164	Arena media	5	0.128
			Na de cambio	6	0.121
			P ₂ O ₅ y Arcilla	7	0.110

ESTRATEGIA 2					
Propiedades físicas y mineralógicas					
Horizonte superficial	CP	Coefficiente ponderación	Horizonte subsuperficial	CP	Coefficiente ponderación
A.M.F	1	0.230	A.M.G y A..M	1	0.276
Illita y Tasa de infiltración	2	0.198	Arcilla	2	0.195
Arcilla y Porosidad	3	0.174	Porosidad	3	0.194
Punto marchitez y P.Efectiva	4	0.156	Caolinita y D.Rreal	4	0.173
Limo	5	0.125	Arena fina e illita	5	0.161
A.M.G, Esmeclita y D.Real	6	0.118			

Propiedades químicas					
Horizonte superficial	CP	Coefficiente ponderación	Horizonte subsuperficial	CP	Coefficiente ponderación
C.Orgánico y Na asimilable	1	0.415	Caliza activa	1	0.240
C/N, Carbonatos y Caliza act.	2	0.241	C. Orgánico	2	0.231
pH agua y C.Eléctrica	3	0.172	pH agua	3	0.193
K asimilable y P ₂ O ₅ asimilable	4	0.171	K de cambio	4	0.169
			Mg de cambio	5	0.168

Propiedades biológicas y bioquímicas					
Horizonte superficial	CP	Coefficiente ponderación			
Catalasa y proteasa	1	0.435			
Deshidrogenasa y Respiración microbiana	2	0.311			
C de biomasa, Cbio/COT y qCO ₂	3	0.254			

Tabla 80. Resumen de los indicadores de calidad seleccionados y sus coeficientes de ponderación.

Analizando la tabla anterior se observa que los indicadores seleccionados en las primeras componentes son los que mayor relevancia van a tener en la evaluación de la calidad, así como puede desprenderse al analizar los valores de los diferentes coeficientes, que van disminuyendo a medida que van aumentando los factores principales.

5.2.5.2. Combinación de indicadores en un índice

Una vez ponderados los indicadores se combinan entre sí mediante diferentes operaciones matemáticas como la suma, la multiplicación u otra función para formar un valor único de calidad del suelo. Con todo ello, el índice es una herramienta que traduce información compleja en una más simple y más accesible para los que manejan el suelo (Andrews et al., 2003).

El "Sistema de Evaluación de la Productividad Agraria de la F.A.O" (Riquier et al., 1970) representa el primer método para estimar la productividad agrícola de un suelo que evalúa diversos factores combinándolos de forma multiplicativa:

$$IP = H \times D \times P \times T \times V \times S \times A \times M \times O \times R$$

Otro sistema que sigue este esquema, en la forma de Índice de Productividad, fue el desarrollado por Kiniry et al. (1983):

$$IP = \sum_{i=1}^d (A \times B \times C \times D \times E \times RI)_i$$

donde A, B,C,D y E son: agua útil, densidad aparente, aireación, pH y conductividad eléctrica; RI es un factor ponderador basado en la distribución ideal de las raíces.

Años después, Pierce y Larson (1993), utilizaron una modificación al modelo anterior usando funciones de relación edáficas para calcular suficiencias en pH, densidad aparente y agua útil para el crecimiento de raíces, basados a su vez en base de datos, uso y erosión del suelo, estableciendo la productividad y los cambios producidos según la ecuación:

$$IP = \sum_{i=1}^r (A_i \times C_i \times D_i \times WF)$$

donde A, C y D son: agua útil, densidad aparente y pH; WF es el factor ponderador y r el número de horizontes a la profundidad de enraizamiento.

Autores como Doran y Parkin (1994) propusieron un índice de calidad multiplicativo incorporando por primera vez a los índices conceptos como la sostenibilidad medioambiental de tal forma que afirmaron que la calidad debía tener en cuenta:

- Productividad sostenible: producción de fibras y comida (SQ_{E1}) y erosividad (SQ_{E2}).
- Calidad del medio ambiente: calidad de las aguas subterráneas (SQ_{E3}), calidad de las aguas superficiales (SQ_{E4}) y calidad del aire (SQ_{E5}).
- Salud humana y animal: calidad de la comida (SQ_{E6}).

Combinando estos factores, previamente ponderados, según la ecuación:

$$SQ = (K_1 \cdot SQ_{E1}) \times (K_2 \cdot SQ_{E2}) \times (K_3 \cdot SQ_{E3}) \times (K_4 \cdot SQ_{E4}) \times (K_5 \cdot SQ_{E5}) \times (K_6 \cdot SQ_{E6})$$

Otros autores han ido adaptando estos modelos multiplicativos a sus condiciones y lugares, así Burger y Kelting (1999) evaluaron la calidad de un suelo bajo bosque utilizando un índice de calidad basado en los principios de Kiniry et al. (1983), y modificado por Gale et al. (1991), obteniendo un índice de calidad:

$$SQI = \sum_{i=1}^d [(RG \times wt) + (WS \times wt) + (NS \times wt) + (GE \times wt) + (BA \times wt)] \times WF_d$$

donde RG son raíces, WS agua, NS nutrientes, GE intercambio de gases, BA actividad biológica, wt los coeficientes de ponderación. Asimismo, Olson et al. (1996) idearon un modelo, "Soil Rating for Plant Growth" (SRPG), basado en la capacidad de un suelo para producir maíz, incluyendo siete categorías (Scheyer et al., 1994) según:

$$SRPG = S \times P \times W \times T \times R \times C \times L$$

siendo S las propiedades superficiales, P las características del perfil, W la medida del agua, T la toxicidad, R la reacción del suelo, C los factores climáticos y L el paisaje.

A pesar de que este sistema de índice multiplicativo ha sido ampliamente estudiado y aplicado, fueron Karlen y Stott (1994) los pioneros en aplicar el sistema aditivo para evaluar la calidad del suelo relacionándola con la erosión hídrica del suelo. Para ello, determinaron en primer lugar las funciones relacionadas con este proceso: facilidad infiltración agua, facilidad de transferencia y absorción de agua, resistencia a la degradación y capacidad de crecimiento plantas, asignando coeficientes de ponderación diferentes para cada uno de ellos. Una vez multiplicado cada función por su ponderador se combinaban en un índice de calidad dado por:

$$IC = (q_{we} \times 0,5) + (q_{wt} \times 0,1) + (q_{rd} \times 0,1) + (q_{spg} \times 0,05)$$

q_{we} : nivel de facilidad de infiltración del agua

q_{wt} : nivel de transporte y absorción del agua

q_{rd} : nivel para resistir la degradación

q_{spg} : nivel para soportar crecimiento vegetal

Cada función específica va a depender a su vez de una serie de parámetros con otros coeficientes ponderadores asignados, de la forma:

$$función = \sum (indicador \times coef. ponderación)$$

Esta forma de combinación es hoy día el más usado entre los autores utilizando el mismo planteamiento anterior pero haciendo modificaciones sobre el mismo. De esta forma, Hussaian et al. (1999) aplicaron este modelo modificando a su vez coeficientes de ponderación de los indicadores, ciertos límites y añadiendo otra serie de indicadores relacionados con tres funciones: regulación agua, regulación de nutrientes, regulación raíces, obteniendo un índice de la forma:

$$IC = 0.33 \cdot \sum (ind \cdot x)_{nutrientes} + 0.33 \cdot \sum (ind \cdot x)_{agua} + 0.34 \cdot \sum (ind \cdot x)_{raíces}$$

5.2.5.3. Propuesta de un índice de calidad de suelos para Castilla-La Mancha

Basándonos en éste modelo aditivo y al igual que siguieron Andrews et al. (2003) y Sharma et al., (2005) el índice de calidad aquí propuesto vendrá dado de tal forma que los indicadores normalizados mediante las diferentes funciones de puntuación sean multiplicados por los diferentes coeficientes de ponderación obtenidos específicamente para cada uno de ellos. Con el fin de transformar la escala de 0 a 1 de los indicadores normalizados a una de 0 a 10 para el índice, multiplicamos a su vez por 10 y dividimos por la máxima puntuación que podría obtenerse en cada caso, o lo que es lo mismo, el sumatorio de los coeficientes de ponderación, quedando el índice de la siguiente forma:

$$\text{Índice Calidad} = \frac{\sum_{i=1}^n (I.N \times c.p)_i \times 10}{\sum_{i=1}^n (c.p)_i}$$

donde $I.N$ representa el valor del indicador una vez puntuado, $c.p$ el coeficiente de ponderación para ese indicador y n el número de indicadores tomados.

5.2.5.3.1 Estrategia 1

La primera estrategia seguida en el presente estudio es la de hallar la calidad no sólo en el horizonte más superficial, sino añadiendo la evaluación obtenida para el horizonte subsuperficial del perfil descrito con la finalidad de obtener de esta manera una mejor estimación global de la calidad de ese suelo, siguiendo las recomendaciones de diversos autores (Kiniry et al., 1983; Pierce y Larson, 1993; Olson et al., 1996).

Con esta finalidad nuestro índice será la media de los subíndices de calidad calculados para cada horizonte de la forma que se obtiene un índice de calidad global:

$$\text{Índice Calidad} = \frac{IC_{\text{HOR.SUPERFICIAL}} + IC_{\text{HOR.SUBSUPERFICIAL}}}{2}$$

Donde cada subíndice de calidad viene dado como el sumatorio de los indicadores ponderados multiplicados por 10 y divididos por el sumatorio de sus coeficientes de ponderación, según la ecuación anterior, donde los indicadores seleccionados para este fin han sido:

- **Horizonte superficial:** C/N, punto de marchitez, pH agua, β -Glucosidasa, arena fina, densidad aparente, esmectita, C biomasa y Cbio/COT.
- **Horizonte subsuperficial:** Ca asimilable, k de cambio, N total C/N, arena media, Na de cambio, P₂O₅ asimilable y arcilla.

5.2.5.3.1 Estrategia 2

Además, y como segunda estrategia se aplicará un índice de calidad agrupando previamente según la naturaleza de los parámetros determinados y para cada horizonte por separado. Esta metodología vendrá dada por un índice de calidad formado a su vez por tres subíndices de calidad de la forma:

$$\text{Índice Calidad} = \frac{IC(P.Físicas) + IC(P.Químicas) + IC(P.Biológicas)}{3}$$

Cada subíndice, se determinará igual que en la estrategia 1, donde los indicadores seleccionados en cada horizonte son:

1. IC - Propiedades físicas y mineralógicas:

$$IC(P.Físicas) = \frac{IC_{HOR.SUPERFICIAL} + IC_{HOR.SUBSUPERFICIAL}}{2}$$

- **Horizonte superficial:** Arena muy fina, illita, tasa de infiltración, arcilla, porosidad, punto de marchitez, profundidad efectiva, limo, arena muy gruesa, esmectita y densidad real.
- **Horizonte subsuperficial:** Arena muy gruesa, arena media, arcilla, porosidad, caolinita, densidad real, arena fina e illita.

2. IC - Propiedades químicas:

$$IC(P.Químicas) = \frac{IC_{HOR.SUPERFICIAL} + IC_{HOR.SUBSUPERFICIAL}}{2}$$

- **Horizonte superficial:** C orgánico, Na asimilable, C/N, carbonatos, caliza activa, pH agua, conductividad eléctrica, K asimilable y P₂O₅ asimilable.
- **Horizonte subsuperficial:** Caliza activa, C orgánico, pH agua, K de cambio y Mg de cambio.

3. IC - Propiedades biológicas y bioquímicas:

$$IC(P.Biológicas) = IC_{HOR.SUPERFICIAL}$$

- **Horizonte superficial:** Catalasa, proteasa, deshidrogenasa, respiración microbiana, C de biomasa, Cbio/COT y qCO₂.

5.2.6. Aplicación del índice propuesto

A continuación se aplica el índice propuesto a los diferentes suelos analizados siguiendo ambas estrategias: sobre horizontes superficiales y subsuperficiales y mediante la agrupación previa de los diferentes parámetros determinados.

5.2.6.1. Estrategia 1

Las tablas con los pasos seguidos en cada suelo analizado se encuentran en el anexo II, mostrándose en la tabla 81 un ejemplo de las mismas.

Suelo 1- Villacañas				
Horizonte superficial				
Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	9.6	0.90	0.246	0.221
Punto marchitez	16.9	0.95	0.246	0.234
pH agua	9.2	0.14	0.224	0.031
β-glucosidasa	1.84	0.02	0.224	0.004
Arena fina	24.1	0.65	0.187	0.122
Densidad aparente	1.3	0.93	0.187	0.174
Esmectita	2	0.00	0.179	0.000
C biomasa	0	0.00	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.164	0.164
IC_{H.SUPERFICIAL} = $\sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.22$				
Horizonte subsuperficial				
Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	1180	1	0.18	0.180
k de cambio	4.1	1	0.168	0.168
N total	0.05	0	0.163	0.000
C/N	12.4	0.66	0.129	0.085
Arena media	6.7	0.14	0.128	0.018
Na de cambio	13.5	0	0.121	0.000
P ₂ O ₅	9.5	0.02	0.11	0.002
Arcilla	5.7	0.12	0.11	0.013
IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = $\sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.28$				

Tabla 81. Índice de Calidad aplicando la Estrategia 1.

El índice obtenido anteriormente en el caso de todos los suelos analizados en la presente tesis, se resumen en la siguiente tabla:

Suelo	IC _{H.SUPERFICIAL}	IC _{H.SUBSUPERFICIAL}	$IC = \frac{IC_{HOR.SUB} + IC_{HOR.SUP}}{2}$
1 Villacañas	5.22	5.18	5.20
2 Tembleque	4.13	4.99	4.56
3 Montiel I	2.32		1.16
4 Montiel II	3.05	6.66	4.86
5 Montiel III	3.36		1.68
6 Cozar I	3.67	5.82	4.75
7 Cozar II	3.76	5.23	4.50
8 Cozar III	3.64	3.96	3.80
9 La Solana	4.56	4.68	4.62
10 Almagro	4.14	4.3	4.22
11 Manzanares	4.29	4.37	4.33
12 Mesones	3.52	4.32	3.92
13 Alaminos I	3.73	4.57	4.15
14 Alaminos II	5.13	6.15	5.64
15 Henares	3.12	5.18	4.15
16 Almadén	4.57	4.3	4.44
17 Daimiel	5.36	6.22	5.79
18 Huete	3.85	3.97	3.91
19 Cañaveras	5.67	2.69	4.18
20 La Ventosa	4.71	4.23	4.47
21 Villar del Horno	4.69	3.82	4.26
22 Alcudia	4.91	5.17	5.04
23 La Galiana	4.92	4.93	4.93
24 Balazote	3.73	4.94	4.34
25 Manchuela de Cuenca	5.07	3.8	4.44
26 Las Tiesas	5.50	4.98	5.24
27 Casa del Brocal	4.39	3.48	3.94
28 Don Martín	4.00	4.25	4.13
29 Cabañeros	6.69	2.98	4.84

Tabla 82. Índices de calidad obtenidos en la Estrategia 1.

Si comparamos los valores obtenidos en la tabla 82 observamos que los índices de calidad son relativamente bajos y muy similares entre los suelos analizados. Se observa que algunos suelos con altos subíndices en su horizonte superficial presentan a su vez un índice bajo en su evaluación del horizonte más profundo. Estas diferencias entre horizontes son las responsables de que al combinarse en un índice de calidad global nos devuelva valores más compensados y por tanto menos válidos en la discriminación de la calidad de los suelos.

Se ha de señalar la mayor importancia del horizonte más superficial sobre el más profundo debido a la consideración de los parámetros biológicos y bioquímicos que no han formado parte en la evaluación de este horizonte.

Por ello, y tras aplicar la formulación propuesta y aceptar la mayor importancia del horizonte superficial, se propone tomar el subíndice de calidad del horizonte superficial como representativo de su calidad global, quedando por tanto un índice de la forma:

$$\text{Indice Calidad} = IC_{\text{HOR.SUPERFICIAL}} = \frac{\sum_{i=1}^n (I.N \times c.p)_i \times 10}{\sum_{i=1}^n (c.p)_i}$$

Donde los indicadores para el horizonte superficial son: C/N, punto de marchitez (PM), pH agua, β -Glucosidasa (β -G), arena fina (AF), densidad aparente (DA), esmectita (E), C biomasa (Cb) y Cb/Co, que tras combinar con sus correspondientes coeficientes de ponderación tendríamos la siguiente ecuación:

$$IC_1 = \frac{C/N \cdot 0.25 + PM \cdot 0.25 + pH \cdot 0.22 + \beta - G \cdot 0.22 + AF \cdot 0.19 + DA \cdot 0.19 + E \cdot 0.18 + Cb \cdot 0.16 + Cb/Co \cdot 0.16}{1.82}$$

De esta forma y con el objetivo de advertir más diferencias entre los suelos representamos los índices obtenidos en sus horizontes más superficiales (figura 82).

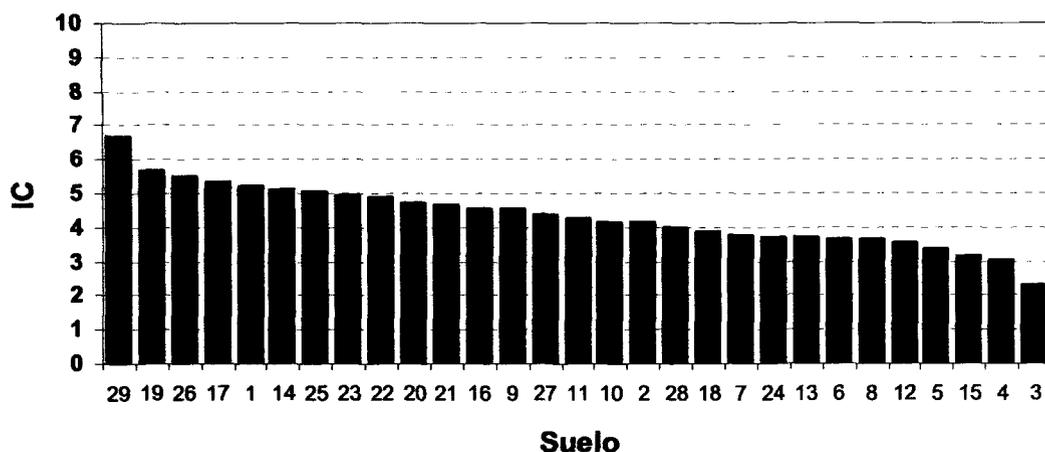


Figura 82. Índices de calidad de los suelos aplicando la estrategia 1.

El suelo 29, tomado en el Parque Nacional de Cabañeros, presenta el mayor índice de calidad de los suelos analizados. Otros índices elevados son los obtenidos para los suelos 19, 26 y 17, tomado también en el paraje natural de Las Tablas de Daimiel. Le siguen de cerca, como suelos de buena calidad los suelos 1 y 14. Aparecen además entre estos valores los suelos 1 y 19, tomados en la laguna salina y en suelo yesífero. Sin embargo, aunque en un principio los asociaríamos a suelos de baja calidad, aparecen contrariamente por los indicadores seleccionados como de buena. Así, el suelo 1 presenta una relación C/N y punto de marchitez muy adecuado a los criterios establecidos en el horizonte superficial presentando igualmente elevados valores de calcio asimilable y potasio de cambio en las primeras componentes del horizonte más profundo. En cuanto al suelo 19, además de presentar una elevada puntuación en el punto de marchitez, presenta una buena estructura física.

Los suelos de peor calidad asociados a esta metodología son los suelos 3 y 4. También aparecen con bajos valores los suelos 15, tomado en la terraza del Henares, el suelo 12 muestreado en la Raña de Guadalajara, el suelo 8, perteneciente a la finca de Cozar y el 5, propio de Montiel III. La mayoría de estos suelos son o han estado fuertemente antropizados, de ahí sus posibles valores. Para obtener información más detallada de por qué se dan estos valores recurriríamos a los anexos cuyas tablas muestran los valores medidos sobre estos suelos causantes de que se obtengan unos valores u otros.

5.2.6.2. Estrategia 2

En este caso se procederá de la misma forma que anteriormente, obteniendo los diferentes índices mediante la agrupación previa de los indicadores para cada horizonte. La tabla 83 muestra un ejemplo de los pasos determinados para llegar a estos valores, resumidos en la tabla 84.

Suelo 1- Villacañas

Propiedades físicas y mineralógicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	64.2	0.83	0.230	0.191
Illita	82	0	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.6	0.03	0.198	0.006
Arcilla	6.7	0.15	0.174	0.026
Porosidad	36.7	0.78	0.174	0.136
Punto de marchitez	16.9	0.95	0.156	0.148
Profundidad efectiva	10	0	0.156	0.000
Limo	30	0.69	0.125	0.086
Arena muy gruesa	1.8	0	0.118	0.000
Esmectita	2	0	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.98$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy gruesa	2.7	0.02	0.276	0.006
Arena media	6.7	0.13	0.276	0.036
Arcilla	5.7	0.12	0.195	0.023
Porosidad	5.8	0	0.194	0.000
Caolinita	4	0.11	0.173	0.019
Densidad real	2	1	0.173	0.173
Arena fina	26.8	0.72	0.161	0.116
illita	95	0	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.32$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C. Orgánico	1.63	0.2	0.415	0.083
Na asimilable	290	0	0.415	0.000
C/N	9.6	0.9	0.241	0.217
Carbonatos	8.5	0.99	0.241	0.239
Caliza activa	5	1	0.241	0.241
pH agua	9.2	0.14	0.172	0.024
Conductividad eléctrica	7.4	0	0.172	0.000
K asimilable	180	1	0.171	0.171

P ₂ O ₅ asimilable	61.5	1	0.171	0.171
$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.12$				
Horizonte subsuperficial				
Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	3	1	0.24	0.240
C. Orgánico	0.62	0	0.231	0.000
pH agua	8.6	0.22	0.193	0.042
K de cambio	4.12	1	0.169	0.169
Mg de cambio	34.56	1	0.168	0.168
$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.19$				
Propiedades biológicas y bioquímicas				
Horizonte superficial				
Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.71	0.15	0.435	0.065
Proteasa	1.15	0.16	0.435	0.070
Deshidrogenasa	212.5	1	0.311	0.311
Respiración microbiana	110.3	0.63	0.311	0.196
C de biomasa	0	0	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1	0.254	0.254
qCO ₂			0.254	0.000
$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.98$				

Tabla 83. Índice de Calidad aplicando la Estrategia 2.

Esta metodología establece, al igual que la anterior el suelo 29 como el de mejor calidad, presentando en este caso una mayor diferenciación con el resto de suelos analizados. Por el contrario y entre los suelos clasificados por este índice como de mayor calidad difieren de aquellos seleccionados anteriormente. En este caso son los suelos más naturales, como el 16, tomado bajo vegetación natural en Almadén. A pesar del uso agrícola de los suelos 14 y 26 cuentan con unos índices elevados.

Suelo	IC _{H.SUP}	IC _{H.SUB}	IC _{P.F}	IC _{H.SUP}	IC _{H.SUB}	IC _{P.Q}	IC _{P.Q}	$IC = \frac{IC_{P.F} + IC_{P.Q} + IC_{P.B}}{3}$
1	3.98	2.32	3.15	5.12	6.19	5.66	3.98	4.26
2	3.68	4.61	4.15	5.42	1.96	3.69	5.23	4.36
3	2.12		1.06	6.01	-	3.01	4.78	2.95
4	3.03	3.78	3.41	5.48	4.39	4.94	4.03	4.12
5	3.61		1.81	5.75	-	2.88	4.06	2.91
6	4.44	3.46	3.95	4.89	1.24	3.07	3.67	3.56
7	5.09	3.73	4.41	5.21	2.58	3.90	4.12	4.14
8	8.73	3.69	6.21	4.25	0.81	2.53	2.73	3.82
9	5.18	5.64	5.41	7.58	2.89	5.24		3.55
10	3.11	4.31	3.71	5.88	3.46	4.67	4.6	4.33
11	4.37	4.16	4.27	5.47	2.89	4.18	3.46	3.97
12	3.82	4.95	4.39	5.08	3.55	4.32	2.62	3.77
13	3.99	4.91	4.45	6.24	2.79	4.52	4.36	4.44
14	4.57	3.49	4.03	6.99	3.91	5.45	5.93	5.14
15	3.14	4.09	3.62	5.19	2.86	4.03	3.85	3.83
16	4.03	3.53	3.78	6.26	4.36	5.31	5.15	4.75
17	3.84	2.55	3.20	7.1	2.87	4.99	3.71	3.96
18	3.82	3.65	3.74	4.52	2.06	3.29	4.73	3.92
19	4.87	4.16	4.52	3.33	2.37	2.85	4.38	3.92
20	4.07	3.7	3.89	4.84	3.01	3.93	4.56	4.12
21	4.51	3.94	4.23	4.38	0.48	2.43	4.02	3.56
22	2.88	4.25	3.57	5.68	3.21	4.45	5.09	4.37
23	4.55	4.45	4.50	4.74	3.77	4.26	4.96	4.57
24	2.95	3.58	3.27	3.95	2.8	3.38	5.16	3.93
25	3.04	2.23	2.64	5.13	3.26	4.20	4.58	3.80
26	4.75	2.72	3.74	6.44	3.19	4.82	5.11	4.55
27	3.87	2	2.94	5.16	1.96	3.56	5.13	3.88
28	3.95	2.21	3.08	4.69	2.89	3.79	4.43	3.77
29	4.96	1.27	3.12	7.65	3.07	5.36	9.09	5.86

Tabla 84. Índices de calidad obtenidos en la Estrategia 2.

Nuevamente observamos que aplicando una ecuación como la combinación de ambos horizontes resta importancia al horizonte superficial, ya que en la mayoría de ocasiones, el subíndice de calidad del horizonte subsuperficial es muy por debajo del superficial, descendiendo de esta forma el índice de calidad global.

Habida cuenta de la mayor importancia que el horizonte superficial presenta en cuanto a la calidad se refiere proponemos un índice de calidad de la forma:

$$\text{Índice Calidad} = \frac{IC(P.Físicas) + IC(P.Químicas) + IC(P.Biológicas)}{3}$$

donde cada subíndice viene dado por la calidad de su horizonte superficial:

$$\text{Índice Calidad (P.F, P.Q, P.B)} = IC_{HOR.SUPERFICIAL} = \frac{\sum_{i=1}^n (I.N \times c.p)_i \times 10}{\sum_{i=1}^n (c.p)_i}$$

$$IC_{PF} = \frac{AMF \cdot 0.23 + I \cdot 0.2 + TI \cdot 0.2 + A \cdot 0.17 + P \cdot 0.17 + PM \cdot 0.16 + PE \cdot 0.16 + L \cdot 0.13 + AMG \cdot 0.12 + E \cdot 0.12 + DR \cdot 0.12}{1.78}$$

Siendo los indicadores de tipo físico y mineralógico: *Arena muy fina (AMF)*, *illita (I)*, *tasa de infiltración (TI)*, *arcilla (A)*, *porosidad (P)*, *punto de marchitez (PM)*, *profundidad efectiva (PE)*, *limo (L)*, *arena muy gruesa (AMG)*, *esmectita (E)* y *densidad real (DR)*.

$$IC_{PQ} = \frac{C \cdot 0.42 + Naa \cdot 0.42 + C/N \cdot 0.24 + Ca \cdot 0.24 + Cal \cdot 0.24 + pH \cdot 0.17 + CE \cdot 0.17 + Ka \cdot 0.17 + Pa \cdot 0.17}{2.24}$$

Los indicadores de tipo químico: *C orgánico (C)*, *Na asimilable (Naa)*, *C/N*, *carbonatos (Ca)*, *caliza activa (Cal)*, *pH agua (pH)*, *conductividad eléctrica (CE)*, *K asimilable (Ka)* y *P₂O₅ asimilable (Pa)*.

$$IC_{PB} = \frac{CAT \cdot 0.44 + PROT \cdot 0.44 + DES \cdot 0.31 + RESP \cdot 0.31 + Cb \cdot 0.25 + Cb/Co \cdot 0.25 + qCO_2 \cdot 0.25}{2.25}$$

Y los de naturaleza biológica: *Catalasa (CAT)*, *proteasa (PROT)*, *deshidrogenasa (DES)*, *respiración microbiana (RESP)*, *C de biomasa (Cb)*, *Cbio/COT (Cb/Co)* y *qCO₂*.

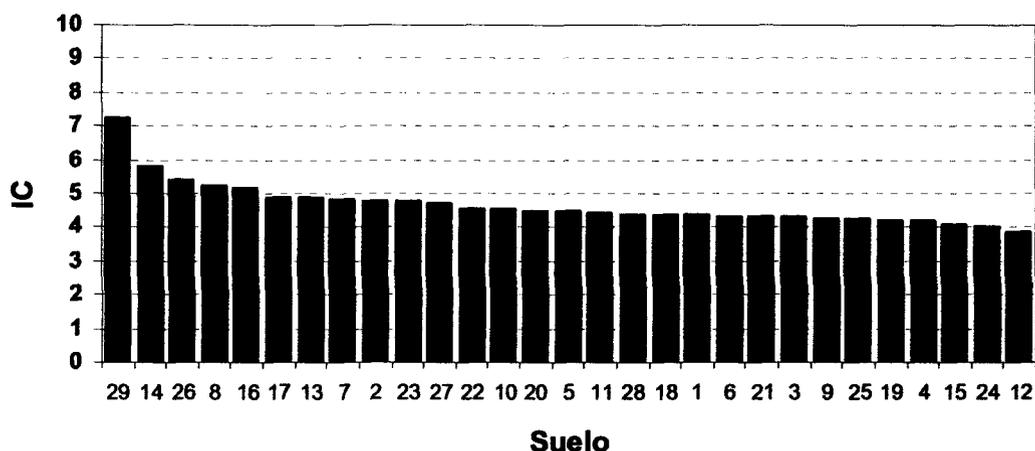


Figura 83. Índices de calidad de los suelos aplicando la estrategia 2.

La mayoría de los suelos presentan una calidad media. Destacan sobre el resto los suelos 29, 14, 26, 8, 16 y 17, mientras que por el contrario los de peor calidad son el 12, 24, 15, 4, 19 y 25. Destacar que los suelos de mejor calidad son aquellos localizados en suelos naturales cuya presencia de carbono orgánico hace que posean una actividad biológica muy adecuada.

Al comparar los índices obtenidos en ambas estrategias encontramos que existe cierta similitud entre los suelos clasificados como de mejor calidad. De este modo, ambos índices coinciden en determinar el suelo 29, en primer lugar, seguidos de cerca por los suelos 14, 26, 14 y 17 como aquellos de mejor calidad entre los analizados en el presente estudio.

Sin embargo, el suelo 8 aparece en la estrategia B como de buena calidad mientras que en la primera aparece entre los peores. Esto es debido a su buena calidad física que le confiere esta aptitud al combinarse en el índice. También sucede con el suelo 19, de baja calidad en la segunda estrategia mientras la primera es buena.

Igualmente sucede si comparamos los suelos de peor calidad establecidos por ambas metodologías. En este caso coinciden como peores suelos en cuanto a la calidad los suelos 12, 4 y 15, tomados en la raña de Guadalajara, en la finca de Montiel y en la terraza del Henares

respectivamente.

Se pone así de manifiesto que según el número de indicadores que se escogan así va a variar la calidad obtenida. Por ello, y con el objetivo de realizar una evaluación lo más completa posible se propone llevar a cabo la segunda estrategia ya que esta contempla la inclusión de mayor número de indicadores de tipo biológico, esenciales en la calidad del suelo.

5.2.6.2. Comparación del índice en suelos bajo diferentes usos

Con el fin de observar si el índice de calidad biológico es capaz de mostrar diferencias en suelos sometidos a diferentes manejos, aplicaremos este subíndice descrito en la estrategia B a algunos de los suelos muestreados para esta finalidad y resumidos en la siguiente tabla 85.

Suelo	Uso	IC _{PB}	Uso	IC _{PB}
12	Cultivo	2.62	Encinar	5.94
13	Cultivo	4.36	Encinar	6.79
14	Cultivo	5.93	Encinar	8.62
15	Cultivo	3.85	Erial	5.40
16	Cultivo	5.15	Eucalipto	8.63
17	Cultivo	3.71	Natural	5.87
18	Cultivo	4.73	Natural	5.99
20	Cultivo	4.56	Natural	6.34
21	Cultivo	4.02	Natural	6.21

Tabla 85. Índices de calidad biológica bajo suelos con diferentes usos.

En este caso y con el fin de determinar las diferencias entre usos resulta más eficaz el uso de la segunda estrategia, pues ésta, a través de su subíndice de calidad biológica toma en consideración mayor número de indicadores de este tipo, que conjuntamente van a aportar mayor grado de información que en la primera estrategia, en la que sólo se han seleccionado dos indicadores, uno bioquímico y dos de tipo biológico.

La figura 84 muestra cómo los suelos del mismo tipo dedicado a diferente uso varían en su calidad biológica. De este modo, y con carácter

general se corrobora que la presencia de cobertura vegetal es precursora de una actividad biológica, tal y como se observan en la mayoría de los suelos de tipo natural estudiados, cuyos subíndices de calidad biológica son en la mayoría de los casos sensiblemente mayores que aquellos cuyo manejo es agrícola. El suelo 14 presenta la mayor calidad tanto en su uso agrícola como natural, presentando éste último, y junto a la muestra natural del perfil 16, valores muy superiores al resto de suelos naturales analizados.

Podemos concluir por tanto que las determinaciones de las propiedades biológicas y bioquímicas seleccionadas como indicadores y su posterior combinación en el índice si parecen reflejar de manera clara los cambios producidos en la calidad de un mismo suelo sometido a distintas prácticas de manejo. La sensibilidad de estos atributos es la característica fundamental para obtener dicha discriminación entre usos, confiriéndole de este modo una gran utilidad por la información aportada. Por otra parte, y debido a esta característica, se puede valorar de forma más rápida y eficaz los cambios producidos en el suelo, presentándose como fundamental en la evaluación de la calidad del mismo.

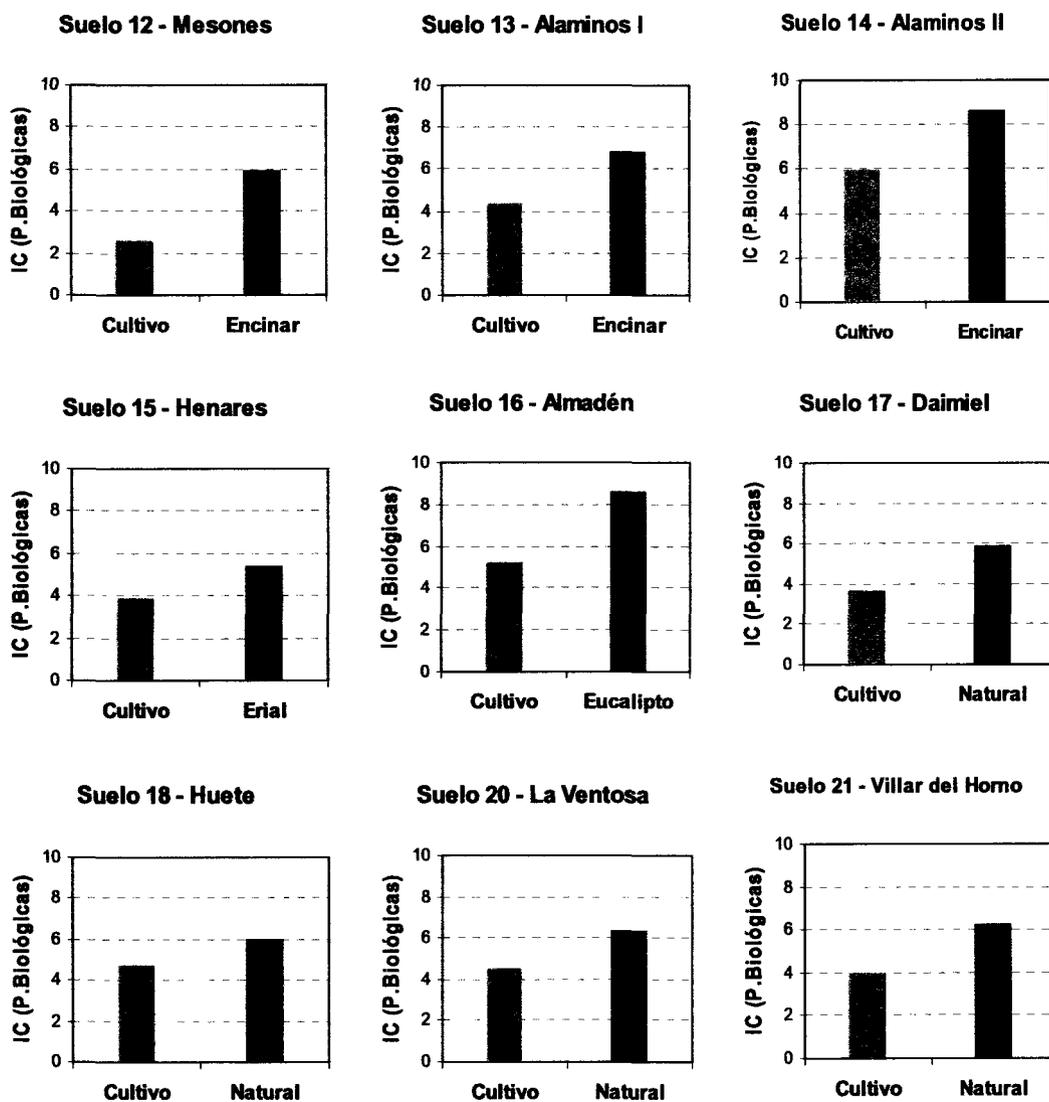


Figura 84. Índices de calidad biológica en suelos bajo cultivo y vegetación natural.

Se concluye de este modo, y una vez determinados ambos índices, que parece claro que la segunda estrategia es más adecuada y completa, pues muestra la calidad del suelo utilizando mayor número de indicadores, con la consecuente mayor y más completa evaluación. Sin embargo, la primera estrategia parece ser una aproximación adecuada cuando se dispone de menor número de indicadores seleccionados.

Por ello finalmente proponemos como índice de calidad para Castilla-La Mancha (ICCM) la siguiente ecuación como una adición de sus subíndices encontrados para sus parámetros físicos, químicos y biológicos en el horizonte superficial del suelo, de la forma:

$$ICCM = IC(P.Físicas) + IC(P.Químicas) + IC(P.Biológicas)$$

Se obtiene por tanto un índice capaz de combinar varias propiedades de diferente naturaleza y comportamiento. Sin embargo, si quisiéramos evaluar la calidad de un mismo suelo, habría de aplicar el mismo índice con el tiempo, obteniendo de ese modo información sobre si la calidad aumenta, se mantiene o disminuye. En este último caso nos ofrecería información muy valiosa ya que analizando las posibles causas de esta degradación, podríamos remediar la tendencia seguida adecuando las prácticas a las que está siendo sometido dicho suelo o mediante aportes de nutrientes si éstas fueran las razones del declive de su calidad, etc.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta tesis es investigar qué criterios y atributos deben proponerse para establecer un índice que permita evaluar la calidad de los suelos de Castilla-La Mancha. En este marco, inicialmente se han analizado los factores formadores, se han identificado y clasificado múltiples suelos, se han establecido unos indicadores estándar con sus correspondientes metodologías y se ha establecido, por último, un cuadro interpretativo de la calidad del suelo mediante un índice de calidad. Se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Contemplamos la calidad de suelos como parte de la respuesta a un desafío al conocimiento del valor agronómico y secundariamente ambiental del suelo. Sin embargo, durante el desarrollo de esta tesis se han manifestado, de forma palmaria, las dificultades ligadas a la armonización de una información dispar, a pesar de que el fin último sea la obtención de un índice de calidad con fines agronómicos.
2. En calidad de suelos es necesario caracterizar aquellas propiedades que proporcionen la información necesaria sobre su estado de salud. Por ello, se han determinado inicialmente numerosas características de distinta naturaleza, físicas como textura, infiltración, etc; químicas como pH, CIC, etc.; mineralógicas como porcentaje en illita, caolinita, etc.; y biológicas como respiración basal, cociente metabólico, etc. Del conjunto de parámetros analizados, los biológicos y bioquímicos son los que muestran mayor variabilidad en sus resultados, hecho que se atribuye a la sensibilidad que los microorganismos presentan ante cierto número de factores.
3. Aunque esta variabilidad dificulta la interpretación de dichos parámetros biológicos, se observan diferencias sustanciales en el status biológico entre suelos similares en su estado natural y bajo cultivo. En este mismo sentido se desprende que las actividades enzimáticas, la respiración microbiana, etc., son indicadores sensibles a la degradación inducida por las prácticas agrícolas.

4. La diferencia generalmente encontrada entre los suelos cultivados vs naturales se atribuye a una clara relación entre la cubierta vegetal y estas propiedades biológicas. También se concluye que especies diferentes de vegetación sobre el mismo tipo de suelo inducen diferencias en las actividades microbiológicas. Se constata, por tanto, que la presencia de cobertura vegetal es precursora de una mayor actividad biológica
5. Los suelos más próximos a su estadio clímax, tal y como sucede en el paraje del Parque Nacional de Cabañeros, contienen los valores más elevados en cuanto a actividad biológica se refiere. Por tal motivo, se proponen dichos valores como referencia, en la posterior etapa de evaluación.
6. A la hora de seleccionar un índice de calidad de suelos es preferible utilizar funciones estadísticas para agrupar los indicadores en factores y reducir y escoger, a partir de los mismos, aquellos parámetros más significativos de la calidad del suelo. Se sugiere aplicar un Análisis de Componentes Principales para reducir el número de atributos original a una serie de indicadores, agrupados a su vez mediante factores.
7. Resultan sumamente útiles las llamadas "scoring functions" o funciones transformadoras, obtenidas a partir del establecimiento de límites críticos y su correspondiente escala de calidad, ya que los indicadores deben ser transformados a una escala adimensional, con la finalidad de adjudicar un valor de 0 a 1 y poder integrarlos posteriormente en un índice.
8. Con el fin de obtener una evaluación global se ha determinado la calidad no sólo en el horizonte superficial, sino también en el subsuperficial. Además se han barajado dos posibles estrategias: 1, contemplar la totalidad de los indicadores seleccionados y 2, agrupar previamente en propiedades de tipo físico, químico y biológico. Finalmente se desprende que es preferible formular un índice basado solamente en el horizonte superficial y conteniendo tres subíndices.
9. De los tres subíndices determinados, físico-químico-biológico, este último adquiere particular relevancia por su mayor variabilidad, lo que confirmaría la importancia que la actividad biológica tiene por su sensibilidad. De hecho, consideramos que es capaz de advertir cambios producidos en el suelo a corto plazo, que otro tipo de parámetros no son capaces de detectar hasta una fase muy avanzada.

10. Se propone un índice de calidad elaborado a partir de los indicadores normalizados mediante diferentes funciones de transformación multiplicados por los diferentes coeficientes de ponderación. Estos se obtienen a partir del ACP para los indicadores seleccionados en cada componente al dividir el porcentaje de varianza individual de esa componente por el porcentaje de variación explicado por todos las componentes con autovalores mayores que 1. Una vez ponderados, se calcula su suma y se dividen por la máxima puntuación posible en su caso; finalmente se multiplica por 10 para transformar el índice a una escala de 0 a 10. Esto se lleva a cabo en el horizonte superficial y para cada tipo de propiedad mediante la fórmula:

$$\text{Indice Calidad} = \frac{\sum_{i=1}^n (I.N \times c.p)_i \times 10}{\sum_{i=1}^n (c.p)_i}$$

Por lo que finalmente se propone el siguiente formulismo que permite evaluar la calidad de los suelos de Castilla-La Mancha:

$$\text{ICCM} = \frac{\text{IC}(P.Físicas) + \text{IC}(P.Químicas) + \text{IC}(P.Biológicas)}{3}$$

Donde los indicadores seleccionados son:

- *Propiedades físicas: Arena muy fina, illita, tasa de infiltración, arcilla, porosidad, punto de marchitez, profundidad efectiva, limo, arena muy gruesa, esmectita y densidad real.*
- *Propiedades químicas: C orgánico, Na asimilable, C/N, carbonatos, caliza activa, pH agua, conductividad eléctrica, K asimilable y P₂O₅ asimilable.*
- *Propiedades biológicas: Catalasa, proteasa, deshidrogenasa, respiración microbiana, C de biomasa, Cbio/COT y qCO₂.*

11. El territorio que ocupa la Comunidad de Castilla-La Mancha está dotado, como era de esperar, por una notable edafodiversidad, es decir, existe una variada gama de tipos de suelos, con atributos muy diferentes. Por ello, para poder implementar este índice a distintos suelos de Comunidad, debería disponerse de una base de datos de suelos de la misma. Y como aún no se dispone es preferible estimar la calidad a escala local.
12. Fruto más bien de una revolución en relación a la tradición edafológica que de una conceptual, el índice propuesto se basa en la calificación de cada cuerpo edáfico, basándose en información cuantitativa de algunos atributos morfológicos y analíticos, especialmente los biológicos y bioquímicos. Por eso, no se pretende presentar un índice cerrado, sino que pensamos que con el tiempo se irá mejorando, tras aplicarlo y adaptarlo a nuevas situaciones.

Como conclusión final hay que indicar que, a pesar de que la formulación de estos índices son considerados de gran interés práctico en la bibliografía, (sobretudo en la última década), y a pesar de que se han llevado a cabo diferentes esfuerzos y aproximaciones metodológicas para establecer un índice de calidad aplicable a escala general, no parece haberse alcanzado un consenso en su formulación. Probablemente, la causa de esta falta de acuerdo, se deba a que la calidad es función específica de cada tipo de suelo y el uso al que se destine el mismo. Por lo que podemos concluir que aún admitiendo su valor en evaluación de suelos, en términos de temporalidad, no resulta discriminante en su aplicación en una escala generalizada, creando su validez cierta incertidumbre.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acton, D.F., Gregorich, L.J., 1995. Understanding soil health. In: Acton, D.F., Gregorich, L.J. (Eds.), *The Health of Our Soils-Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agr-Food Canada, Ottawa, Ont., pp. 5-10.
- AEMA, 1999a. *Environment in the European Union at the Turn of the Century*. Agencia Europea de Medio Ambiente.
- AEMA, 2002. *Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa*. Problemas medioambientales, Nº 16. Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Aguilar, J., 1982. *La fertilidad de los suelos en la ordenación del territorio*. VII Congreso Nacional de Química. Sevilla.
- Aguilar, J. et al., 1989. *Capacidad de uso de los suelos de olivar de la provincia de Jaén*. Dpto Edad. Y Química Agrícola. Excm. Diputación Provincial de Jaén. Granada (inédita).
- Aguilar J. y Ortiz R. 1992. *Metodología de capacidad de uso agrícola de suelos*. Actas III Congreso nacional de la Ciencia del suelo pg 281-287. Pamplona.
- Aguilar, J., 1996. *Las bases de la evaluación de tierras*. Evaluación y manejo de suelos. Eds. J.Aguilar, A Martínez, A.bRoca. Consejería de Agricultura. Junta de Andalucía, Sociedad Española de Ciencia del Suelo, Universidad de Granada.
- Albiach, M.R; Canet, R.; Ribó, M. y Pomares, F., 2003. *Determinación del Carbono y Nitrógeno de la Biomasa Microbiana del Suelo*. Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, pp 245-281.
- Alef, K., Nannipieri, P., 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London.
- Alfonso, C., 2005. *Desertificación. Problemática y soluciones*. Un proceso de degradación alarmante. *Ambienta* nº 47, Septiembre 2005. Ministerio de Medio Ambiente.

- Álvarez, A., Sastre, S., Gutiérrez, A. y Carral, P., 2005. Modelización Aplicada al Estudio de la Infiltración del Agua en el Suelo. II Simposio Nacional Control de la Degradación de Suelos, R.Jiménez Ballesta y A.M. Álvarez González (eds.). ISBN:84-689-2620-5.
- Anderson, J.P.E, 1982. Soil Respiration. En: Page,A.L., Miller,R.H., Keeney,D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*.2nd Edition.American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, pp. 831-871.
- Anderson, J. P. E., Domsch, K. H., 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soils* 1: 81-89.
- Anderson, T. H., Domsch, K. H., 1993. The metabolic quotient for CO₂ as a specific parameter to asses the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol Biochem.* 25: 393-395.
- Anderson, T-H., 2003. *Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 285-293.
- Andrades, M., Ballesta, R., Carral, P. y Martínez, E., 1993. Evaluación paramétrica de los suelos del valle de Iregua (La Rioja). *Problemática geoambiental y desarrollo. V Reunión nacional de geología ambiental y ordenación del territorio.* Pp. 543-552.
- Andrews, S.S., Carroll, C.R., 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications* 11 (6), 1573–1585.
- Andrews, S.S., Karlen D.L. y Mitchell, J.P., 2002a. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 25-45.
- Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., Karlen D.L., Hartz, T..K., Horwath, W.R., Pettygrove, Scow, K.M. and Munk, D., 2002b. On-Farm Assessment of Soil Quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal* 94: 12-23.
- Andrews, S.S, Flora, C.B., Mitchell, J.P & Karlen, D.L, 2003. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma* 114: 187-213.
- Andrews, S.S, Flora, C.B., Karlen, D.L, Cambardella, C.A, 2004. The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1945-1962.

- Aragoneses F.J., 1990. Geoquímica y mineralogía de las fracciones finas de suelos tipo raña en la provincia de Guadalupe. Tesis doctoral. UAM.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M., 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 25-31.
- Arshad, M.A., Lowery, B., Grossman, B., 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, W., Jones, J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*, Madison, WI, 1996. Soil Sci. Soc. Am. 49, 123-141 (special publication).
- Arshad, M.A y Martín, S., 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153-160.
- Bandick, A., Dick, R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 1471-1479.
- Barahona, E., 1974. Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada. Evaluación de algunos ensayos en materias primas. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 398 pp.
- Baraja, E., 2004. Los grandes usos del suelo. Atlas de la España Rural. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Barbiroli, G., Casalicchio, G., Raggi, A., 2004. A New Approach to Elaborate a Multifunctional Soil Quality Index. *J Soils & Sediments* 4(3) 201-204.
- Battle, J., 1979. Formaciones edáficas del sector meridional de la provincia de Cuenca. Tesis doctoral Universidad Autónoma de Madrid.
- Bautista, C.A., Etchevers, B., del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C., 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*. 2004/2. (URL:<http://www.aet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>).
- Beck, T., 1971. Die Messung der Katalasenaktivität von Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 130, 68-81.
- Beck, T., 1984. Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Boden: I. Mit. Die Ermittlung der Bodenmikrobiologischen Kennzahl. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 147, 456-466.
- Bending, G. D., Turner, M.K, Rayns, F., Marx, M-C. y Wood, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1785-1792.
- Bentham, H., Harris, J.A., Birch, P., Short, K.C., 1992. Habitat classification and soil

- restoration assessment using analysis of microbiological and physico-chemical characteristics. *J. Appl. Ecol.* 29, 711–718.
- Black, C., 1965. Particle density. University of Minnesota. In Black, C.A.(editor). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, USA, pp. 371-373.
- Boehn, M.M., Anderson, D.W., 1997. A landscape-scale study of soil quality in three prairie farming systems. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1147–1159.
- Bohlen, P., and C. A. Edwards. 1995. Earthworm effects on N dynamics and soil respiration in microcosms receiving organic and inorganic nutrients. *Soil Biology and Biochemistry*. 27(3): 341-348.
- Bonmatí, M., Jiménez, P., y Juliá, M., 2003. Soil enzymology: some aspects of its interest and limitations. *Preserving Soil Quality and Soil Biodiversity. The Role of Surrogate Indicators*. M.C.Lobo y J.J. Ibáñez (eds.) Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria, Centro de Ciencias Medioambientales.
- Bouma, J., 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Sci.*, nº 9, pp. 177-213.
- Bouwer, H., 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis, Part I. Physical and mineralogical methods*, pp.825-844. *Agronomy Monograph nº 9* (2nd. edition).
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Bowman, R.A., Reeder, J.D., Schuman, G.E., 1990. Evaluation of selected soil physical, chemical and biological parameters as indicators of soil productivity. *Proceedings of the International Conference on Soil Quality in Semi-arid Agriculture*, vol. 2, pp. 64– 70. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., Dao, T.H., 2000b. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Science Society of America Journal* 64, 2115– 2124.
- Brindley, G.W. , 1980. Order-Disorder in Clay Minerals Structure. En: *Cristal Structures of Clays Minerals and their X-Ray identification*. G.W. Brindley y G. Brown (Eds.). *Mineralogical Society Monograph* 5.- London, 496 pp.
- Buol, S.W., Sanchez, P.A., Cate, R.B. and Granger, M.A. 1975. Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. In

- Bornemisza, E. and Alvarado A. (Ed.) Soil Management in Tropical America. N.C. State Univ., Raleigh, NC: 126-145.
- Burger, J.A, Kelting, D.L., 1999. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management* 122: 155-166.
- Burns, R. G., 1982. Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14: 423-427.
- Burns, R.G., 2003. Enzyme activities in soil: understanding and manipulating beneficial properties for bioremediation. *Preserving Soil Quality and Soil Biodiversity. The Role of Surrogate Indicators.* Lobo, M.C, Ibáñez, J.J. (Eds.). Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria, Centro de Ciencias Medioambientales: 39-62.
- Calvo de Anta, R., 1996. Evaluación de suelos en clima templado-húmedo. Un ejemplo en Galicia (NW de España). *Evaluación y Manejo de Suelos.* J. Aguilar, A. Martínez y A. Roca. pp 119-134.
- Caravaca, F., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil & Tillage Research* 68: 23-30.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, J.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., Pierce, F.J., 1997. Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem health.* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1-19.
- CNULD, 1995. Secretaría Provisional para la Convención de Lucha contra la desertificación. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación, Ginebra 71 pp.
- COM, 2002. Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. COM (2002) 179 final.
- Consejería de Medio Ambiente de Castilla- La Mancha. URL: <http://www.jccm.es/medioambiente/index2.htm>
- CSIC, 1987. Actas de las reuniones del Proyecto Rañas. Madrid. No published.
- De Clerck, F., Singer, M.J & Peter Lindert. A 60-year history of California soil quality using paired samples. *Geoderma* 114 (2003) 215-230.
- De Haro S., Aguilar J., Fernandez J., Fernandez E. 1993. Evaluación de suelos en la

- comarca olivarera de Martos (Jaen). En R. Ortiz (ed): Problemática ambiental y desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia. T II 575-583
- De León a. 1989. Caracterización de la capacidad agrícola de los suelos de España. MAPA. Madrid
- Dick, W. A., 1992. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40: 25-36.
- Dick, R.P., 1994. Soil Enzyme Activities as Indicators of Soil Quality. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA, pp 107-124.
- Dick, W. A., 1997. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst, C. E., Doube, B. M., Gupta, V. V. S. R. (Eds.), *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford, pp. 121-156.
- Ditzler, C.A. and Tugel, A.J., 2002. Soil Quality Field Tools: Experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute. *Agronomy Journal* 94: 33-38 (2002).
- Doll, E.C., 1964. Lime for Michigan soils. *Michigan Agric. Exp. Sta. Bull.* 471.
- Doran, J.D. and M.R. Werner. 1990. Management and soil biology. In: Francis, C.A., C.B. Flora and L.D. King (eds.). *Sustainable Agriculture in Temperate Regions*. Wiley. New York, NY pp. 205-230.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35, ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 3-21.
- Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A., 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication No. 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Doran, J.W. 1996. Methods for assessing soil quality. 411 p. J.W. Doran and Alice J. Jones (ed.). SSSA Special Publ. 49. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49, pp. 25- 37. Madison, WI.

- Doran, J.W., Sarrantonio, M., Liebig, M.A., 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56, 1 –54.
- Doran, J.W., Jones, A.J., 1996. Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Special Publication*, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI. 410 pp.
- Doran, J.W. y Safley, M.1997. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable productivity, in *Biological indicators of Soil Health*, CAB INTERNATIONAL, UK.
- Doran, J.W. y Zeiss, M.R., 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15, 3-11.
- Dorronsoro, C., 2002. Soil Evaluation. The Role of Soil Science in Land Evaluation. *Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions. Volume I.* p 106-128. Ángel Faz, Roque Ortiz, Ahmet R. Mermut (eds.).
- Dorronsoro, B., García, I., Bervell, R., Dorronsoro-Díaz, C., Roca, A., Fernández, E., Dorronsoro-Fernández, C., 2004. Parametricsol. *Html. Fourth International Conference on Land Degradation.* Faz, A; Ortiz, R.; García, G.(eds.). Cartagena 2004. pp 381-386.
- Dumanski, J., 1994. *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Land Management for the 21st Century.* Vol. 1: Workshop Summary. The Organizing Committee. International Workshop on Sustainable Land Management. Agricultural Institute of Canada, Ottawa.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C., 1998. *Indicators of land quality and sustainable land management.* The World Bank, Washington DC, USA.
- Dunteman GH., 1989. *Principal components analysis.* Sage Publications, Newbury Park.
- Eash, N. S., T. B. Parkin, and D. L. Karlen. 1994. A review of soil aggregate stability methods. p. 350. *Agronomy Abstracts.*
- Eivazi, F., Tabatai, M.A.,1977. Phosphatases in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 233, 1113-1120.
- Eivazi, F., Tabatai, M.A., 1990. Factors affecting glucosidase and galacto-sidase activities in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 22, 891-897.
- Eivazi, F., Zakaria, A., 1993. β -glucosidase activity in soils amended with sewage sludge. *Agric. Ecosyst. Environ.* 43: 155-161.
- Espejo, R., 1978. Estudio del perfil edáfico y caracterización de las superficies tipo

raña en el sector Cañamero-Horcajo de los Montes. Tesis Doctoral ETSIngenieros Agrónomos.

- Evanylo, G. and McGuinn, R. 2000. Agricultural Management Practices And Soil Quality: Measuring, assessing, and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes. Virginia Cooperative Extension Publication Number 452-400. Available at <http://www.ext.vt.edu/pubs/compost/452-400/452-400.html> (verified January 28, 2003).
- FAO, 1977. Guia para la descripción de perfiles de suelos. FAO/UNESCO.
- FAO, 1984. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos 38/2, Roma.
- FAO, 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín de tierras y aguas de la FAO nº 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ferrán, M., 1997. SPSS para Windows. Programación y Análisis Estadístico. Ed. McGraw-Hill, Madrid.
- Figueras y Gargallo, P. (2003). Análisis Exploratorio de Datos. <http://www.5campus.com/leccion/aed>.
- Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically- related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 169-174.
- Funaro, D., Ormeño, O. & Quiroga, A. 2003. Indicadores de calidad de suelos. *Revista de los CREA*, Número 275.
- GACGC, 1994. World in transition: The Threat to Soils. Annual Report. German Advisory Council on Global Change. Bonn, Economica Verlag GmbH.
- Gale, M. R., D. F. Grigal, and R. B. Harding. 1991. Soil productivity index: Predictions of site quality for white spruce plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55(6):1701-1708.
- Gallardo J., Almorox J., Hontoria C. 2002. Clasificación de la capacidad agrologica de las tierras. UPM
- García, C., Hernández, T., Costa, F., Ceccanti, B., Masciandaro, G., 1993a. The dehydrogenase activity of soils as an ecological marker in processes of perturbed system regeneration. In: Gallardo-Lancho, J. (Ed.), Proc. of the XI Int. Symp. of Environmental Biogeochemistry, Salamanca, pp. 89-100.
- García, C., Hernández, T., Costa, F., 1994. Biochemical parameters in soils under

- Mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1185-1191.
- García, C., Hernández, T., 1996. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of calcic soil. *Plant Soil* 178: 255-263.
- García, C., Roldán, A., Hernández, T., 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid mediterranean environment. *J. Environ. Qual.* 26: 285-291.
- García, C., Hernández, T., 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biol. Biochem.* 29: 171-177.
- García, C., Hernández, T., Albaladejo, J., Castillo, V., Roldan, A., 1998. Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 670-676.
- García, C., Hernández, T., Pascual, J. A., Moreno, J. L., Ros, M., 2000. Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategias para su rehabilitación. En: García, C., Hernández, T. (Eds.), *Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España*. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC, Murcia, pp. 41-143.
- García, C., Hernández, T., 2004. Soil Degradation and Rehabilitation *versus* Microbial Activity. Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions. Volume I. p 106-128. Ángel Faz, Roque Ortiz, Ahmet R. Mermut (eds).
- García-Gil, J. C., Plaza, C., Soler-Rovira, P., Polo, A., 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1907-1913.
- García-Gil, J. C., 2001. Efectos residuales y acumulativos producidos por la aplicación de compost de residuos urbanos y lodos de depuradoras sobre agrosistemas mediterráneos degradados. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- García-Gil, J. C., Ceppi, S. B., Velasco, M. I., Polo, A., Senesi, N., 2002. Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acidic functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acids. *Geoderma* (in press).
- Garlynd, M.J., D.E. Romig, R.F. Harris, and A.V. Kurakov. 1994. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. p. 159–168. *In* J.W. Doran et al. (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Giusquiani, P. L., Concezzi, L., Businelli, M., Macchioni, A., 1998. Fate of pig sludge liquid fraction in calcareous soil: agricultural and environmental implications. *J.*

Environ. Qual. 27: 364-371.

GLASOD, 1990. Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., and Sombroek, W.G. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre.

Gómez, A.A., Kelly, D.E., Syers, J.K. and Coughlan, K.J. 1996. Measuring Sustainability of Agricultural Systems at the Farm Level. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication Number 49. Madison, Wisconsin, USA.

Gómez de Miguel, V., 1985. Estudio de los procesos edafogenéticos de redistribución de carbonatos alcalinotérreos en clima árido y semiárido, Aplicación a la Mancha (provincia de Albacete y C. Real). UN. Politécnica de Madrid. ETSIA.

González, E.J. 2003. Erosión: La importancia de la conservación del suelo frente a la erosión. Vida rural, nº 169, pp22-24.

González-Quiñones, V., De la Torre, A., García, M.P., Polo, A. y Jiménez Ballesta, R., 2005. Aplicación del Método SINDI en la Estimación de la Calidad de unos Suelos de Castilla-La Mancha. II Simposio Nacional Control de la Degradación de Suelos, R.Jiménez Ballesta y A.M. Álvarez González (eds.). ISBN:84-689-2620-5.

Gregorich, E. G., Wen, G., Voroney, R. P., Kachanoski, R.G., 1990. Calibration of a rapid direct chloroform extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 22: 1009-1011.

Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M.y Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Canadian J. of Soil Science 74: 367-386.

Grossman, R.B., Harms, D.S., Seybold, C.A. & Herrick, J.E., 2001. Coupling use-dependent and use-invariant data for soil quality evaluation in the United States. Journal of Soil and Water Conservation 56, 63-68.

Gumuzzio, J.,1979. Los suelos de la región de Ocaña: génesis, distribución y evolución. Tesis doctoral, Universidad Autonoma de Madrid.

Halvorson, J.J., Smith, J.L. y Papendick, R.I., 1997. Issues of scale for evaluating soil quality. Journal of Soil and Water Conservation 52, 26-30.

Harris R.F., Karlen, D.L. y Mulla, D.J., 1996. A conceptual framework for assessment and Management of Soil Quality and Health. p.61-82. In J.W. Doran and A.J. Jones (ed). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Spec. Publ. No:49.

Madison, WI.

Hattori, H., 1988. Microbial activities in soil amended with sewage sludge. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34: 221-232.

Hernández, T., García, C., 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biol. Biochem.* 29: 171-177.

Hernández, T. y García, C., 2003. Estimación de la Respiración Microbiana del Suelo. Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, pp 311-346.

Hewitt, A.E. 1993. New Zealand soil classification. Manaaki Whenua Press, Landcare Res., Lincoln, New Zealand.

Hinds, A., Lowe, L. E., 1980. Ammonium-N determination. Soil Nitrogen. Berthelot reaction. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 469-475.

Hornick, S.B.1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 63-68.

Howard, P. 1993. Soil protection and soil quality assessment in the EC. *Sci. Totl Environ.* 129, 219-239.

Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M. and Karlen, D.L. 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil & Tillage Research* 50 (1999) 237-249.

Ibáñez J., Pérez A., Jiménez Ballesta R., Saldaña A. y Gallardo J., 1994. Evolution of fluvial dissection landscapes in mediterranean environments. Quantitative estimates and geomorphological, pedological and phytocenotic repercussions. *Z. Geomorph.* 38, 1, 105-119.

ICONA, 1991. Plan Nacional de lucha contra la erosión. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid.

IES, 2004. Instituto de Estadística de Castilla-La Mancha. Anuarios Estadísticos. <http://www.ies.jccm.es/estadisticas/anuarios/anuarioestad.htm>

IGME, 1985. *Síntesis Hidrogeológica de Castilla-La Mancha*. IGME: Porras, J., Ruiz, C., Fernández, J. A., Gómez, J., Fabregat, V.; CGS: López, L., Almoguera, F.J., Olivares, J., Solesio, J., Esquinas, A., Fernández, J., Villanueva, E., Fernández, G., Urquiza, M.

- Ingelmo, F., Cuadrado, S., Ibáñez, A. & Hernández, J. (1994). Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation. *Catena*, 23 : 74 – 85.
- Insam, H., Merschak, P., 1997. Nitrogen leaching from forest soil cores after amending organic recycling products and fertilizers. *Waste Manage. and Res.* 15: 277-292.
- Insam, H., 2001. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. *Geoderma* 100: 389-402.
- Jenny, H., 1941. *Factors of soil formation*. Mc Graw-Hill, 281 pp. New York.
- Jenny, H., 1980. *The soil resource: Origin and behaviour*. Ecol. Studies 37. Springer-Verlag, New York.
- Jiménez, M.P., De la Horra, A.M., Pruzzo, L.y Palma, R.M., 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol Fertil Soils* (2002) 35:302–306.
- Jiménez, P. y Bonmatí, M, 2003. Determinación de la Actividad β -Glucosidasa del Suelo. *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, 2003, pp 169-183.
- Johnson R.A. and D.W. Wichern. 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. Third edition. Prentice- Hall, Inc., New Jersey.
- Kaiser H.F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 1960;29:141-151
- Kandeler, E., Tschierko, D., Spiegel, H., 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a chernozem under different tillage management. *Biol Fertil Soils* 28:343-351.
- Karlen, D.L., Stott, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35, SSSA, Madison, WI, pp. 53–72.
- Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Each, N.S., Jordahl, J.L., 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.* 32, 313–327.
- Karlen, D.L., Parkin T.P., Eash, N.S., 1996. Use of soil quality indicators to evaluate conservation reserve program sites in Iowa. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication No. 49. SSSA,

Madison, WI, pp. 345–355.

- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4– 10.
- Karlen, D.L., Gardner, J.C., Rosek, M.J., 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *J. Prod. Agric.* 11, 56–60.
- Karlen, D.L., Rosek, M.J., Gardner, J.C., Allan, D.L., Alms, M.J., Bezdicek, D.F., Keeney, D., 1999. Soil quality: a call for action. *Conservat. Voices* 2, 4–5.
- Karlen, D.L., Doran, J.W., Weinhold, B.J., Andrews, S.S., 2003a. Soil quality: Humankind's foundation for survival. *Journal of Soil and Water Conservation* 58.
- Karlen, D.L., Ditzlerb, C.A. y Andrews, S., 2003b. Soil quality: why and how?. *Geoderma* 114: 145-156.
- Kelting, D.A, Burger, J.A., Patterson, S.C., Aust, W.M., Miwa, M., Trettin, C., 1999. Soil quality assessment in domesticated forests-a southern pine example. *Forest Ecology and Management* 122: 167-185.
- Kiniry, L. N., C. L. Scrivner, and M. E. Keener. 1983. A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. *Univ. Missouri-Columbia, College of Agric., Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* 1051.
- Klingebiel, A.A. y Montgomery, P.H. 1961. Land capability classification. *USDA Agricultural Handbook* 210. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Kolmogorov, A., 1933. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell' Instituto Italiano degli Attuari*, 4, 83-91.
- Lal, R., 1994. Sustainable land use systems and soil resilience. In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use. Proceedings of a Symposium, Budapest, Hungary, 28 Sept. – Oct. 2.* CAB Int., Wallingford, England, pp. 41– 67.
- Lal, R., 1997. *Methods for Assesment of Soil Degradation.* Lewis Publishers, 576 pp. New York.
- Land Care Institute, 2000. SINDI Website v. 2.1.a (<http://sindi.landcare.cri.nz>).
- Larson, W.E., and Pierce, F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol.2.* IBSRAM Proc.12(2). Bangkok, Thailand. Int. Board for Soil Res and Management.

- Larson, W.E., Pierce, F.J., 1994. The dynamics of oil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for A Sustainable Environment*, Madison, WI. Soil Sci. Soc. m. 35, 37–52 (special publication).
- Leita, L., De Nobili, M., Mondini, C., Muhlbachova, G., Marchiol, L., Bragato, G., Contin, M., 1999. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biol. Fertil. Soils* 28: 371-376.
- Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., Sviozzi, A., 1990. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. *Agric. Ecosyst. Environ.* 31: 325-335.
- Liebig, M.A., Doran, J.W., Gardner, J.C., 1996. Evaluation of a field test kit for measuring selected soil quality indicators. *Agronomy Journal* 88, 683–686.
- Liebig, M.A., Doran, J.W., 1999. Impact of organic production practices on soil quality indicators. *Journal of Environmental Quality* 28, 1601– 1609.
- Lilburne, L., Sparling, G. & Schipper, L., 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: development of an interpretative framework. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 535-544.
- Lillieffors, H.W., 1967. On the kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399-402.
- Linden, D.R., Hendrix, P.P., Coleman, D.C., van Vliet, P.C.J., 1994. Faunal indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society of America, Inc., Madison WI, pp. 91-106
- Liu, K.L., Lai, C.M. & Helen, W., 2002. Soil enzyme activities as indicators of agricultural soil quality. 17th WCSS, paper n° 1386. Thailand.
- López-Bermúdez, 2006. Desertificación, una crisis ambiental silenciosa. Impactos en las regiones semiáridas mediterráneas. *Jornadas Internacionales Desertificación y Seguridad Ambiental: Consecuencias y Prevención*. Cosmocaixa, Madrid.
- Lopez Ritas, J., Lopez Melida, J., 1985. *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de Campo y Laboratorio*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Mamani, Francisco. 2002. Tesis Doctoral. “Génesis, Cartografía y Evaluación de Suelos de Olivar en la hoja de Alcalá la Real (990)”. Almería.
- MAPA, 2003. Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural. 2003. Tomo 3. II Parte: Análisis Territorial. Capítulo 4.8. Castilla-La Mancha.

URL http://www.libroblancoagricultura.com/publicacion/pdf/Cap04_08_T3.pdf

- Martín, S., Baize, D., Bonneau, M., Chaussod, R., Gaultier, J.P., Lavelle, P., Legros, J.P., Leprêtre, A., Sterckman, T., 1998. The French national soil quality observatory. In: Proceedings of the 16th World Congress on Soil Science, Symposium 25, Montpellier, France, 20-26 August 1998.
- Martín, F., Dorronsoro, B., Martínez, F.J., Dorronsoro-Díaz, C., Lozano, J., Dorronsoro-Fdez, C. 2004. Suitmap.html. Fourth International Conference on Land Degradation. Faz, A; Ortiz, R.; García, G.(eds.). Cartagena 2004. pp 190-196.
- Martin de Vidales J.L. 1981. Estudio sobre la caracterización, génesis y evolución de suelos desarrollados en la Alcarria Conquense". Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Martínez, F., 1990. Estudio edáfico de la hoja de Guadix (1011). Evolución y usos de los suelos. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Marzadori, C., Francioso, O., Ciavatta, C., Gessa, C., 2000. Influence of the content of heavy metals and molecular weight of humic acids fractions on the activity and stability of urease. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1893-1898.
- Mausbach, M.J., Tugel, A., 1997. Soil quality: a multitude of approaches. Keynote Address, Kearney Foundation Symposium, March 25, 1997. Berkeley, CA.
- Meliá, J., Martín de Santa Olalla, F. y Brasa, A. 1994. Capítulo 2: Los proyectos sobre medio ambiente en la Unión Europea. El Proyecto EFEDA: Objetivos y Desarrollo. Desertificación en Castilla-La Mancha. El proyecto EFEDA. Ed Francisco Martín de Santa Olalla. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. 1994.
- Mingrelia, E. Evaluación de la calidad del suelo a través de indicadores bioquímicos. 2003. Seminarios CENIAP 2003. INIA- CENIAP. Biología del suelo.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Secretaría General Técnica, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente, 1996. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente, 1998. *Sistema español de indicadores ambientales: subáreas de agua y suelo*. Madrid: Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Serie Monografías.

- Ministerio de Medio Ambiente, 2005. Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND). 233 pp. Madrid.
- Montanarella, L., 1999. Soil at the interface between Agriculture and Environment. Agriculture, Environment, Rural development: facts and Figures – A challenge for Agriculture.
- Montanarella, L., 2002. The Protection of Arid and Semi-arid Soils in Europe. Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions. Volume I. p 106-128. Ángel Faz, Roque Ortiz, Ahmet R. Mermut (eds.)
- Munsell Color Company Inc., 1954. Munsell soil color charts. Baltimore. Maryland. U.S.A.
- Nannipieri, P., Pechozzini, F., Arcada, P.G., Pioranelli, C., 1979. Changes in amino acids, enzyme activities and biomass during soil microbial growth. *Soil Science*, 127: 26-34.
- Nannipieri, P., Greco, S., Ceccanti, B., 1990. Ecological significance of biological activity in soil. In: Bollag, J. M., Stozky, G. (Eds.), *Soil biochemistry*. Vol. 6. Marcel Dekker, New York., pp. 293-355.
- Nannipieri, P., 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C. E., Doube, B. M., Gupta, V. V. S. R., Grace, P. R. (Eds.), *Soil biota: management in sustainable farming systems*. CSIRO, East Melbourne, pp. 238-244.
- Nannipieri, P., Badalucci, L., Landi, L., Pietramellara, G., 1997. Measurements in assessing the risk of chemicals to the soil ecosystem. In: Zelikoff, J. T. (Ed.), *Ecotoxicology: responses, biomarkers and risk assessment*. SOS Publications, Fair Haven, pp. 3-20.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- OCDE, 1989. Renewable Natural Resources. Economic Incentives for Improved Management. OECD, Paris. 157 p.
- Odum, E. P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- OECD-Organization for Economic Co-Operation and development, 2003. Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting. (ed. Scott Smith, C.A). Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, S. and Dean, L.A. (1954). Estimation of available

- phosphorus on soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir. N° 939.
- Olsen, S.R. and Dean, L.A. 1965. Phosphorus in Methods of Soil Science BLACK, C.A. ed. Amer. Soc. of Agronomy, Madison Wisc.
- OLSON, G. L.; McQUAID, B. F.; EASTERLING, K. N.; SCHEYER, J. M. Quantifying soil condition and productivity in Nebraska. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America. 1996. p. 357-369 (SSSA Special publication, 49).
- Parisi V., 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense" 37 (2001) 97-106.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C. Jacomini, C. and Mozzanica, E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. Agri., Ecosyst. Environ., 105, 323-333.
- Parr, J.F., Papendick, R.I., Hornick, S.B., and Meyer, R.E., 1992. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Am. J. Altern. Agric. 7:5-11.
- Parra, M.A., Fernández-Escobar, R., Navarro, C., Arquero, O., 2003. Los Suelos y la Fertilización del Olivar Cultivado en Zonas Calcáreas. Ed Mundi-Prensa y Junta de Andalucía, Madrid.
- Pascual, J. A., García, C., Hernández, T., Ayuso, M., 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. Biol. Fertil. Soils 24: 429-434.
- Perucci, P., 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. Biol Fertil. Soils 14: 54-60.
- Pierce, F.J. y Larson, W.E., 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management.p.7-14.In J.M. Kimble (ed.) Proc. Of the 8th Int. Soil Management Workshop; Utilization of Soil Survey Information for Sustainable Land Use. May 1993. USDA-SCS, National Soil Surv. Center, Lilcoln, NE.
- Plan de Conservación del Medio Natural de Castilla-La Mancha. URL: <http://biblioteca2.uclm.es/biblioteca/ceclm/libros/natural.pdf>
- Plaza, C., 2002. Aprovechamiento Agrícola del Purín de Cerdo en Agroecosistemas Semiáridos: Efectos sobre Suelos y Plantas. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Plaza, C., Hernández, J.C., García-Gil, J.C., Polo, A., 2004. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. Soil Biology & Biochemistry 36:

1577-1585.

Porta, J.; López, M., Roquero, C., 1999. Edafología para la agricultura y medio ambiente Ed. Mundi-Prensa.

Porta, J., López-Acevedo, M., 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente.

Power, J.F., and Myers, R.J.K., 1989. The maintenance or improvements of farming systems in North America and Australia. p. 273-292. In J.W.B. Stewart (ed.) Soil quality in semiarid agricultura. Proc. Of an Int. Conf. Sponsored by the Canadian Int. Development Agency, Saskatchewan, Canada. 11-16 June 1989. Saskatchewan Inst. of Pedology, Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

Radulescu, D., Pinteá, H., Kolozsi, E., Crisan, R., Dragan-Bularda, M., Kiss, S., 1984. Effect o fan urease inhibitor on the enzymatic activities and respiration of soils. En: Nemes, M.P., Kiss, S., Papacostea, P., Stefanic, G., Rusan, M. (Eds.), Fifth Symposium on Soil Biology. Romanian National Society of Soil Science, Bucharest, pp. 69-73.

Recatalá L. y Sánchez J. 1993. Propuesta de una metodología de valoración de la calidad ambiental de los suelos para evaluación de impacto ambiental en el ámbito mediterráneo valenciano. En R. Ortiz (ed): Problemática ambiental y desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia.

Richards, L.A., 1945. Pressure-membrana apparatus & use. Agri.Engin. 28: 451-454.

Riquier, J., Bramao, L. and Cornet, S.P. 1970. A new system or soil appraisal in terms of actual and potential productivity: FAO Soil Resources N o 38. Rome. Italy.

Rivas-Martínez, S. 1987. Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España. Ministerio de Agricultura. Madrid. 268 p.

Rodale Institute, 1991. In: Proceedings of the International Conference On the Assessment and Monitoring of Soil Quality. Conference Report and Abstracts. Rodale Press, Emmaus, PA, USA.

Rodríguez-Kábana, R., Truelove, B., 1982. Effects of crop rotation and fertilization on catalase activity in a soil of the southeastern United States. Plant Soil 69: 97-104.

Rodríguez Rodríguez, A., 2001. El concepto de calidad del suelo. Soc. Esp. Ciencia del Suelo. No publicado.

- Rodríguez Rodríguez, Mora, J.L., Guerra, J.A., Arbelo, C.D. and Sánchez, J., 2002. An Ecosystemic Approach to Soil Quality Assessment. Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions. Volume I. p 106-128. Ángel Faz, Roque Ortiz, Ahmet R. Mermut (eds.).
- Rojo, L. 2006. Estrategias Nacionales de Lucha contra la desertificación. Jornadas Internacionales Desertificación y Seguridad Ambiental: Consecuencias y Prevención. Cosmocaixa, Madrid.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K., 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Romig, D.E., M.J. Garlynd, and R.F. Harris. 1996. Farmer-based assessment of soil quality: A soil health scorecard. p. 39–60. In J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Roquero C, Porta J., 1990. Agenda de campo para estudios del suelo. ETSIA.UPM.190 PP. Madrid Ros, M., 2000. Recuperación de suelos agrícolas abandonados mediante reciclaje en los mismos de residuos orgánicos de origen urbano. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Ross, D.J.K., Tate, r., Cairns, A., Meyrick, K.F., Parsic, E.A., 1982. Restoration of pasture after topsoil removal: effect of soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry* 14, 575-581.
- Rubio, J.L., Recatalá, L., 1998. El suelo: un recurso natural amenazado. *Revista Valenciana d'Estudis Autònoms* 23, 329-353.
- Rubio, J.L., 1993. Desertification in Europe. Workshop on Desertification in Developed Countries. UIMP-NATO(CCMS). Valencia (Spain).
- Rubio, J.L. 2000. La amenaza de la desertificación en su contexto europeo. Conferencia del III Congreso Internacional: El Hombre y el Suelo en el Tercer Milenio (2000).
- Sánchez, J., 1994. Capitulo 1: El problema de la desertificación en la cuenca Mediterránea. Desertificación en Castilla-La Mancha. El PROYECTO EFEDA. Ed Francisco Martín de Santa Olalla. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. 1994.
- Sanchez P., Fouto S. Buol S. 1982. The fertility apabiolity Classification System: interpretation, applicability and modification. *Geoderma* 27.
- Sarrantonio, M., J.W. Doran, M.A. Liebig, and J.J. Halvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and ealth. p. 83-105. In J.W. Doran and A.J. Jones

- (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA. Spec.Publ.49. SSSA, Madison, WI.
- SAS INSTITUTE INC. 1989. *SAS/STAT User's guide*, Versin 6. 4th edition. Vol. 2. Cary,NC: SAS Institute Inc. 846 p.
- Sastre, I; Lobo, M.C., 2003. Determinación de la Actividad Ureasa del Suelo. Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Meidida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, 2003, pp 123-147
- Schiller, D.; Soler, E.; Martínez, J.; Delgado, A.; Vivas, M.L.; Fernández, S.(2003). Indicadores Ambientales en el contexto Europeo. Portal De Biología y Ciencias de la Salud (2005). URL: <http://www.biologia.org>
- Schloter, M., Dilly, O. & Munich, J.C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 255-262.
- Schultz, L.G. ,1964. Quantitative interpretation of the mineralogical composition from X-ray and Chemical data for the Pierre Shale. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 391 C, 31 pp.
- Schulze, D.G., Nagel, J.L., Van Scoyoc, G.E., Henderson, T.L., Baumgardner, M.F., Stott, D.E., 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. In: Bigham, J.M., Ciolkosz, J. (Eds.), *Soil Color*. SSSA Special Publicatio, vol. 31. Madison, WI, pp. 71-90.
- Schroevvers, P.J. 1982. The need of an ecological quality –concept. Ecological Indicators for the assessment of the quality of Air, Water, Soil and Ecosystems. Papers presented at a Symposium held in Utrecht October 1982. Best, E. P.H. & Haeck, J. (eds.).
- SCS-USDA (1967). *Soil Survey investigations report nº 1. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples*. US. Govt. Printing Office, Washington.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L., Rogers, J.H., 1998. Quantification of soil quality. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cicle*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 387-404.
- Seybold, C. A., Dick, R. P. and Pierce, F. J. 2001. USDA Soil Quality Test Kit: Approaches for Comparative Assessments. *Soil Survey Horizons*. 42: 43-52.
- Seybold, C.A., Hubbs, M.D. and Tyler, D.D. 2002. On-Farm Tests Indicate Effects of

- Long- Term Tillage Systems on Soil Quality. *Journal of Sustainable Agriculture* 19(4):61-73.
- Shapiro, S.S.y Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples. *Biometrika*, 52, 591-611.
- Sharma, K.L., Mandal,U.K, Srinivas, K., Vittal, K.P.R., Mandal, B., Grace, J.K, Ramesh, V., 2005. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research* 83: 246-259.
- Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M., 2005. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*.
- Sims, J.T., Cunningham, S.D., Sumner, M.E., 1997. Assessing soil quality for environmental purposes: roles and challenges for soils scientists. *Journal Of Environmental Quality* 26, 20-25.
- Singer, M.J., Ewing, S.A., 1998. Soil quality. In: Sumner, M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. G271-G278.
- Singer, M.J., Ewing, S., 2000. Soil quality. In: Sumner, M.E., (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp.G-271-G-298.
- Smirnov, N.V. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Annals of Mathematical Statistics*, 19, 279-281.
- Smith, L.J, Papendick, R.I., 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: Blaine Metting (Ed). *Soil Microbial Ecology*. Marcel Dekker. New York.
- Smith, J., Halvorson, J., Papendick, R., 1994. Multiple Variable Indicator Kriging: A Procedure for Integrating Soil Quality Indicators. In: Doran, J., Coleman, D., Bezdicek, D., Stewart, B., (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* Vol. 35, SSSA, Madison, USA, 244 pp.
- Smith, J.L., Doran, J.W., 1996. Measurements and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 169-185.
- Smith, V.H., Tilman, D.G., Nekola, J.C., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100, 179-196.
- Soil Survey Staff, 1999. *Soil Survey Manual*. USDA Handbook, vol. 18. Supt. Of Docs.,

- US Govt. Printing Agency, Washington, DC.
- Soil Science Society of America. 1987. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI.
- Sojka, R.E., Upchurch, D.R., 1999. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal* 63, 1039-1054.
- Sombroek WM., 1997. Land resources evaluation and the role of land-related indicators. *Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*. World Bank, United Nations Environment Programme, United Nations Development Programme, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1997. Stamatiadis, S., Liopa-Tsakalidi, A., Maniati, L.M., Karageorgou, P., Natioti, E., 1996. A Comparative study of soil quality in two vineyards differing in soil management practices. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Special Publication no. 49. Soil Sci. Soc. Am. SSSA, Madison, WI, USA, pp. 381–392
- Sparling, G. P., 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.* 39: 195-207.
- Sparling, G.P., Stephens, P.R, Schipper, L.A. and Bettjeman, W. 2002. Soil quality at regional and national scales in New Zealand. Paper presented to the: OECD Expert Meeting on Soil Organic Carbon Indicators for Agricultural Land. 15-18 October 2002, Ottawa, Canada.
- Sparling, G, Schipper, L., 2002. Soil Quality at a National Scale in New Zealand. *Journal of Environmental Quality* 31: 1848-1857.
- Sparling, G, Schipper, L., 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 545-552.
- Sparling, G, Schipper, L., Bettjeman, W., Hill, R., 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Sposito, A. 2003. The assessment of soil quality. *Geoderma* 114: 143-144.
- Stefanic, G., Ellade, G., Chirnageanu, J., 1984. Researches concerning a biological index of soil fertility. En: Nemes, M.P., Kiss, S., Papacostea, P., Stefanic, C. y Rusan M (Eds.). *Roman Fifth Symposium on soil Biology*. National Society of Soil Science, Bucharest. pp.13-20.

- Stocking, M. y Murnaghan, N. 2003. Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra. C.Padilla y J.Albaladejo (eds.). Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-114-2.
- Storie, R.E. 1933. An index for rating the agricultural value of soils. Bulletin-California Agricultural Experiment Station. Vol. 556, University of California Agricultural Experiment Station , Berkeley, CA.
- Strahler, A. N., Strahler, A. H., 1989. Geografía física. Omega, Barcelona.
- Stryer, L., 1995. Biochemistry. 4th Edition. Freeman and Company. New York.
- SQI, 2001. Soil Quality Institute—Introduction. USDA Natural Resources Conservation Service. Revised June 2001. Soil Quality Information Sheets is available at <http://soils.usda.gov/sqi>.
- Sys, C. 1976. Land Evaluation. State University of Ghent. Belgium, 177 p.
- Tabatabai, M. A., 1994. Soil enzymes. In: Mickelson, S.H., Bigham, J.M. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA, Madison, pp. 775-833.
- Tejedor, M.L., 1996. La evaluación y conservación de suelos, una aproximación. Evaluación y manejo de suelos. Eds. J.Aguilar, A Martínez, A.Roca. Consejería de Agricultura. Junta de Andalucía, Sociedad Española de Ciencia del Suelo, Universidad de Granada.
- Trasar-Cepeda, C., Carmiña, F., Leiros, M. C., Gil-Sotres, F., 1999. An improved method to measure catalase activity in soils. Soil Biol. Biochem. 31: 483-485.
- Trasar, C., Gil, F. y Leirós, M.C., 2003. Determinación de la Actividad Deshidrogenasa del Suelo. Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, 2003, pp 211-227.
- Trasar, C.; Gil, F. y Lobo, M.C., 2003. Determinación de la Actividad Catalasa del Suelo. Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Meidida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Eds C.García, F.Gil, T.Hernández y C.Trasar. Mundi-Prensa, 2003, pp 229-244.
- Tukey, J.W., 1977. Exploratory data analysis. Reading: Addison Wesley.
- USDA-NRCS, 1996. Soil quality indicators: Organic matter. Soil Quality Information Sheet series. NRCS National Soil Survey Center in cooperation with the NRCS Soil Quality Institute, and the ARS National Soil Tilth Lab. Available online with

- updates at <http://soils.usda.gov/sqi/sqiinfo.html> (verified 15 Jan. 2003).
- USDA-NRCS, 1998. "Soil Quality Test Kit Guide." Section 1. Test procedures, and Section 2. Background and interpretive guide for individual tests. USDA-NRCS, Soil Quality Institute, Ames, IA. [On-line at <http://www.statlab.iastate.edu> (accessed May 2002)].
- USDA, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y salud del Suelo. Departamento De Agricultura. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos.
- USDA-NRCS, 2001. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. National Production Services, 501 West Felix St., Bldg. 23, Fort Worth, TX. [On-line at <http://www.statlab.iastate.edu> (accessed May 2002)].
- Van Reeuwijk, L.P., 1992. Procedures for soils analysis. Third edition L.P. Van Reeuwijk, (ed.). International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. The Netherlands.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., Jenkinson, D. S., 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: determination of K_c values and test of hypothesis to explain the failure of the chloroform fumigation-incubation method in acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 19: 381-387.
- Von Mersi, W., Schinner, F., 1991. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with idonitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils* 11, 216-220.
- Vonk, J.W, 1982. Problems in characterizing the ecological quality of soil in relation to human activities. Ecological Indicators for the assessment of the quality of Air, Water, Soil and Ecosystems. Papers presented at a Symposium held in Utrecht October 1982. Best, E. P.H. & Haeck, J. (eds.).
- Wander, M.M., Bollero, G.A., 1999. Soil Quality Assessment of Tillage Impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 961-971.
- Wardle, D. A., Ghani, A., 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.* 27: 1601-1610.
- Warkentin, B.P., Fletcher, H.F., 1977. Soil quality for intensive agriculture. Intensive Agriculture Society of Science, Soil and Manure. Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertilizer Management. National Institute of Agricultural Science, Tokyo, pp. 594-598.

- Warkentin, B.P., 1995. The changing concept of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 226-259.
- Wienhold, B.J, Andrews, S.S. & Karlen, D.L, 2004. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health* 26: 89-95.
- Winder, J.L., K.R.Cannon and T.W. Goddard. 2003. Evaluation of a soil quality test for Alberta. Prepared for the AESA Soil Quality Monitoring Program. Conservation and Development Branch, AAFRD. 32 p.
- Wymore. A.W. 1993. Model-based systems engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the hybrid theory of system design. CRC Press, Boca Raton, FL.

CAPÍTULO 8

ANEXOS

CAPÍTULO 8. ANEXOS

8.1. Anexo I. Resultados de parámetros biológicos y bioquímicos

Muestra	Uso	Parámetros biológicos				
		Cbiomasa (mg C.kg ⁻¹)	COT (g C.kg ⁻¹)	Cbio/COT (%)	Respiración basal (mg C-CO ₂ /kg.dia)	q CO ₂ (ng C-CO ₂ μg ⁻¹ C-bio h ⁻¹)
1	cultivo	0.00	16.30	0.00	110.3	-
2	cultivo	43.86	22.20	0.20	107.3	0.10
3	cultivo	35.84	20.90	0.17	285.9	0.33
4	cultivo	35.84	4.30	0.83	285.9	0.33
5	cultivo	35.84	4.40	0.81	285.9	0.33
6	cultivo	24.61	8.90	0.28	19.4	0.03
7	cultivo	26.21	8.90	0.29	82.5	0.13
8	cultivo	0.00	6.50	0.00	14.0	29.06
10	cultivo	28.89	14.20	0.20	19.2	0.03
11	cultivo	0.27	10.60	0.00	16.4	2.55
12	cultivo	4.01	5.00	0.08	135.8	1.41
	jaral	2.94	50.00	0.01	32.4	0.46
	encinar	8.56	45.00	0.02	8.0	0.04
13	cultivo	3.74	18.20	0.02	70.8	0.79
	encinar	49.48	45.00	0.11	170.8	0.14
14	cultivo	61.25	23.80	0.26	135.7	0.09
	encinar	706.62	45.00	1.57	170.8	0.01
15	cultivo	0	4.10	0.00	120.1	1.46
	erial	131.59	38.00	0.35	119.7	0.04
16	cultivo	50.82	22.40	0.23	52.3	0.04
	olivar	2.14	27.00	0.01	200.9	3.91
	eucalipto	398.78	46.00	0.87	321.8	0.03
17	cultivo	0.00	59.70	0.00	27.5	-
	natural	0.00	83.00	0.00	65.9	-
18	cultivo	33.43	8.00	0.42	152.6	0.19
	natural	32.36	40.00	0.08	125.2	0.16
19	cultivo	0.00	17.7	0.00	44.6	-
	natural	0.00	48	0.00	52.1	-

20	cultivo	34.50	16.10	0.21	42.3	0.05
	natural	0.00	39.00	0.00	113.1	0.11
21	cultivo	17.12	16.80	0.10	31.7	0.08
	natural	119.82	37.00	0.32	27.1	0.01
22	natural	47.34	15.70	0.30	18.9	0.02
23	cultivo	0.00	17.60	0.00	34.5	0.04
24	cultivo	16.31	9.80	0.17	44.3	0.11
	natural	93.88	28.00	0.34	69.5	0.03
25	cultivo	320.95	4.20	7.64	28.8	0.00
26	cultivo	0.00	9.10	0.00	35.2	0.03
27	cultivo	300.62	7.10	4.23	27.2	0.00
28	cultivo	168.50	7.10	2.37	74.9	0.02
29	natural	288.85	37.20	0.78	175.9	0.03

Muestra	uso	Parámetros bioquímicos					
		Catalasa mmolO ₂ /gh	Ureasa μmolNH ₃ /gh	Proteasa μmolNH ₃ /gh	Glucosidasa μmolPNP/gh	Fosfatasa μmolPNP/gh	Deshidrog μmolINTF/g
1	cultivo	0.71	0.03	1.15	1.84	3.45	212.5
2	cultivo	1.04	0.70	1.86	14.89	4.93	122.0
3	cultivo	0.30	0.72	0.29	13.29	4.13	219.7
4	cultivo	0.30	0.72	0.29	13.29	4.13	219.7
5	cultivo	0.30	0.72	0.29	13.29	4.13	219.7
6	cultivo	0.30	0.05	0.07	4.98	2.56	62.2
7	cultivo	0.54	0.04	0.00	0.08	4.11	65.6
8	cultivo	0.30	0.00	0.06	0.00	0.01	41.9
10	cultivo	1.20	0.29	1.80	9.11	5.09	89.3
11	cultivo	1.19	0.15	1.30	4.83	3.94	66.8
12	cultivo	0.31	0.30	0.80	2.52	17.25	3.0
	jaral	1.75	4.33	8.15	15.96	35.37	73.7
	encinar	1.82	2.09	5.66	12.69	50.16	41.0
13	cultivo	1.51	0.37	1.72	7.94	4.03	96.8
	encinar	2.35	1.29	6.70	33.84	18.16	140.8
14	cultivo	2.04	0.42	2.08	14.32	5.00	148.0
	encinar	4.37	1.77	3.49	51.78	14.10	151.8
15	cultivo	0.51	0.04	1.01	1.71	4.71	42.1
	erial	1.25	1.20	3.53	22.81	6.21	33.6
16	cultivo	1.12	1.62	2.85	9.14	22.66	32.8
	olivar	0.96	0.27	1.19	6.52	8.74	16.4
	eucalipto	3.50	10.98	4.52	35.03	41.25	32.8
17	cultivo	1.19	0.65	1.83	11.18	6.79	105.3
	natural	2,32	3.08	9.07	28.61	13.94	181.5
18	cultivo	0.48	0.15	0.89	2.92	0.00	96.4
	natural	1.17	2.85	3.75	42.23	12.34	209.3
19	cultivo	0.88	1.82	4.32	12.15	6.09	90.7
	natural	1.24	1.56	3.39	12.00	5.21	232.4
20	cultivo	1.08	0.43	1.16	6.02	3.59	42.32
	natural	2.54	1.70	2.83	23.32	10.74	140.6
21	cultivo	0.69	0.01	0.00	0.00	2.12	52.2

	natural	2.00	1.88	4.14	17.34	10.65	200.9
22	natural	1.48	1.18	3.38	6.08	36.58	37.1
23	cultivo	1.94	0.33	1.49	5.12	4.51	93.3
24	cultivo	2.65	0.72	1.39	4.20	4.52	45.2
	natural	2.62	0.68	1.35	6.87	4.38	30.4
25	cultivo	1.88	0.02	0.37	4.65	5.18	20.6
26	cultivo	2.71	0.30	1.80	9.01	6.51	63.5
27	cultivo	2.77	0.20	0.70	5.64	4.23	46.7
28	cultivo	0.74	0.24	1.52	0.14	3.98	34.6
29	natural	4.79	10.76	7.12	76.65	117.44	22.7

8.2. Anexo II. Índices de calidad obtenidos por la Estrategia 1

Suelo 1 - Villacañas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C/N	9.6	0.90	0.246	0.221
Punto marchitez	16.9	0.95	0.246	0.234
pH agua	9.2	0.14	0.224	0.031
β -glucosidasa	1.84	0.02	0.224	0.004
Arena fina	24.1	0.65	0.187	0.122
Densidad aparente	1.3	0.93	0.187	0.174
Esmectita	2	0.00	0.179	0.000
C biomasa	0	0.00	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.164	0.164

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.22$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Ca asimilable	1180	1.00	0.18	0.18
k de cambio	4.1	1.00	0.168	0.168
N total	0.05	0.00	0.163	0
C/N	12.4	0.66	0.129	0.08514
Arena media	6.7	0.14	0.128	0.01792
Na de cambio	13.5	0.00	0.121	0
P ₂ O ₅	9.5	1.00	0.11	0.11
Arcilla	5.7	0.12	0.11	0.0132

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.18$$

Suelo 2 - Tembleque**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	15.9	0.31	0.246	0.076
Punto marchitez	8.9	0.33	0.246	0.081
pH agua	8.4	0.26	0.224	0.058
β-glucosidasa	14.89	0.19	0.224	0.043
Arena fina	39	0.96	0.187	0.180
Densidad aparente	1.4	0.69	0.187	0.129
Esmectita	0	0	0.179	0.000
C biomasa	43.86	0.15	0.164	0.025
Cbio/COT	0.2	0.98	0.164	0.161

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.13$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	620	1	0.180	0.180
k de cambio	0.51	0	0.168	0.000
N total	0.14	0.27	0.163	0.044
C/N	8.2	0.99	0.129	0.128
Arena media	7.4	0.16	0.128	0.020
Na de cambio	1.23	0.37	0.121	0.045
P ₂ O ₅	16.5	1	0.110	0.110
Arcilla	9.7	0.24	0.110	0.026

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.99$$

Suelo 3 – Montiel I**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	17.4	0.18	0.246	0.044
Punto marchitez	5.9	0.13	0.246	0.032
pH agua	7.9	0.41	0.224	0.092
β-glucosidasa	13.29	0.17	0.224	0.038
Arena fina	7.4	0.16	0.187	0.030
Densidad aparente	1.7	0.03	0.187	0.006
Esmectita	0	0	0.179	0.000
C biomasa	35.84	0.12	0.164	0.020
Cbio/COT	0.17	0.98	0.164	0.161

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.32$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable				
k de cambio				
N total				
C/N				
Arena media				
Na de cambio				
P ₂ O ₅				
Arcilla				

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Suelo 4 – Montiel II**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	10.8	0.81	0.246	0.199
Punto marchitez	6.1	0.14	0.246	0.034
pH agua	8.6	0.22	0.224	0.049
β-glucosidasa	13.29	0.17	0.224	0.038
Arena fina	10.9	0.26	0.187	0.049
Densidad aparente	1.6	0.09	0.187	0.017
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	35.84	0.12	0.164	0.020
Cbio/COT	0.83	0.91	0.164	0.149

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.05$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	385	1	0.180	0.180
k de cambio	2.13	1	0.168	0.168
N total	0.02	0	0.163	0.000
C/N	3	1	0.129	0.129
Arena media	2.3	0.6	0.128	0.077
Na de cambio	1.03	0.29	0.121	0.035
P ₂ O ₅	70.5	1	0.110	0.110
Arcilla	13.4	0.36	0.110	0.040

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.66$$

Suelo 5 – Montiel III**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	7.3	1	0.246	0.246
Punto marchitez	6.4	0.16	0.246	0.039
pH agua	8.3	0.29	0.224	0.065
β-glucosidasa	13.29	0.17	0.224	0.038
Arena fina	8.7	0.19	0.187	0.036
Densidad aparente	1.6	0.09	0.187	0.017
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	35.84	0.12	0.164	0.020
Cbio/COT	0.81	0.92	0.164	0.151

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.36$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable				
k de cambio				
N total				
C/N				
Arena media				
Na de cambio				
P ₂ O ₅				
Arcilla				

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Suelo 6 – Cozar I**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	11.1	0.78	0.246	0.192
Punto marchitez	11.2	0.52	0.246	0.128
pH agua	8.5	0.24	0.224	0.054
β-glucosidasa	4.98	0.07	0.224	0.016
Arena fina	20.6	0.56	0.187	0.105
Densidad aparente	2	0	0.187	0.000
Esmeclita	0	0	0.179	0.000
C biomasa	24.61	0.09	0.164	0.015
Cbio/COT	0.28	0.97	0.164	0.159

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.67$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	485	1	0.180	0.180
k de cambio	1.04	0.19	0.168	0.032
N total	0.08	0	0.163	0.000
C/N	9.8	0.89	0.129	0.115
Arena media	19.7	0.53	0.128	0.068
Na de cambio	1.01	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	5.5	1	0.110	0.110
Arcilla	32.7	0.97	0.110	0.107

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.82$$

Suelo 7- Cozar II**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	11.1	0.78	0.246	0.192
Punto marchitez	12.3	0.61	0.246	0.150
pH agua	8.5	0.24	0.224	0.054
β-glucosidasa	0.08	0	0.224	0.000
Arena fina	22.7	0.62	0.187	0.116
Densidad aparente	1.9	0	0.187	0.000
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	26.21	0.09	0.164	0.015
Cbio/COT	0.29	0.97	0.164	0.159

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.76$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	535	1	0.180	0.180
k de cambio	0.7	0.02	0.168	0.003
N total	0.06	0	0.163	0.000
C/N	10	0.88	0.129	0.114
Arena media	19.8	0.53	0.128	0.068
Na de cambio	0.97	0.26	0.121	0.031
P ₂ O ₅	3.5	0.703	0.110	0.077
Arcilla	32.7	0.97	0.110	0.107

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.23$$

Suelo 8 – Cozar III**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10.8	0.81	0.246	0.199
Punto marchitez	9.3	0.36	0.246	0.089
pH agua	8.4	0.26	0.224	0.058
β-glucosidasa	0	0	0.224	0.000
Arena fina	30.8	0.82	0.187	0.153
Densidad aparente	2.1	0	0.187	0.000
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	0.02	0	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1	0.164	0.164

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.64$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	445	1	0.180	0.180
k de cambio	0.74	0.03	0.168	0.005
N total	0.02	0	0.163	0.000
C/N	14	0.5	0.129	0.065
Arena media	16.9	0.45	0.128	0.058
Na de cambio	1.02	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	2	0.056	0.110	0.006
Arcilla	27.7	0.84	0.110	0.092

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.96$$

Suelo 9- La Solana**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10	0.88	0.246	0.216
Punto marchitez	10.6	0.47	0.246	0.116
pH agua	6.4	0.98	0.224	0.220
β -glucosidasa			0.224	0.000
Arena fina	20.8	0.56	0.187	0.105
Densidad aparente	1.3	0.93	0.187	0.174
Esmectita	0	0	0.179	0.000
C biomasa			0.164	0.000
Cbio/COT			0.164	0.000

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.56$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	305	1	0.180	0.180
k de cambio	0.41	0	0.168	0.000
N total	0.06	0	0.163	0.000
C/N	2	1	0.129	0.129
Arena media	18.5	0.49	0.128	0.063
Na de cambio	1.09	0.31	0.121	0.038
P ₂ O ₅	1	0	0.110	0.000
Arcilla	39.7	1	0.110	0.110

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.68$$

Suelo 10 - Almagro**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	8.9	0.95	0.246	0.234
Punto marchitez	7	0.19	0.246	0.047
pH agua	8.2	0.31	0.224	0.069
β-glucosidasa	9.11	0.12	0.224	0.027
Arena fina	53.5	0.98	0.187	0.183
Densidad aparente	1.6	0.09	0.187	0.017
Esmectita	0	0	0.179	0.000
C biomasa	28.89	0.1	0.164	0.016
Cbio/COT	0.2	0.98	0.164	0.161

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.14$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	350	1	0.180	0.180
k de cambio	0.77	0.03	0.168	0.005
N total	0.08	0	0.163	0.000
C/N	6.8	1	0.129	0.129
Arena media	4.7	0.08	0.128	0.010
Na de cambio	1.17	0.35	0.121	0.042
P ₂ O ₅	1	0	0.110	0.000
Arcilla	38	1	0.110	0.110

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.30$$

Suelo 11 - Manzanares**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10.6	0.83	0.246	0.204
Punto marchitez	6.7	0.17	0.246	0.042
pH agua	8.2	0.31	0.224	0.069
β-glucosidasa	4.83	0.06	0.224	0.013
Arena fina	22.6	0.61	0.187	0.114
Densidad aparente	1.3	0.93	0.187	0.174
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	0.27	0	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1	0.164	0.164

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.29$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	465	1	0.180	0.180
k de cambio	0.35	0	0.168	0.000
N total	0.07	0	0.163	0.000
C/N	11.1	0.78	0.129	0.101
Arena media	6.2	0.12	0.128	0.015
Na de cambio	1.02	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	6.5	1	0.110	0.110
Arcilla	15	0.41	0.110	0.045

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.37$$

Suelo 12 - Mesones**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10	0.88	0.246	0.216
Punto marchitez	5.9	0.13	0.246	0.032
pH agua	5.3	0.38	0.224	0.085
β-glucosidasa	2.52	0.03	0.224	0.007
Arena fina	25.9	0.7	0.187	0.131
Densidad aparente	1.7	0.03	0.187	0.006
Esmectita	1	0	0.179	0.000
C biomasa	4.01	0.01	0.164	0.002
Cbio/COT	0.08	0.99	0.164	0.162

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.52$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	390	1	0.180	0.180
k de cambio	0.51	0	0.168	0.000
N total	0.04	0	0.163	0.000
C/N	7	1	0.129	0.129
Arena media	9.8	0.23	0.128	0.029
Na de cambio	1.03	0.29	0.121	0.035
P ₂ O ₅	1	0	0.110	0.000
Arcilla	32	0.96	0.110	0.106

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.32$$

Suelo 13 – Alaminos I**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	10.7	0.82	0.246	0.202
Punto marchitez	9.7	0.39	0.246	0.096
pH agua	8.1	0.34	0.224	0.076
β-glucosidasa	7.94	0.10	0.224	0.022
Arena fina	23.4	0.64	0.187	0.120
Densidad aparente	1.8	0.00	0.187	0.000
Esmectita	1	0.00	0.179	0.000
C biomasa	3.74	0.01	0.164	0.002
Cbio/COT	0.02	0.99	0.164	0.162

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.73$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	535	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.37	0.00	0.168	0.000
N total	0.13	0.20	0.163	0.033
C/N	11.6	0.74	0.129	0.095
Arena media	21.3	0.58	0.128	0.074
Na de cambio	1.04	0.29	0.121	0.035
P ₂ O ₅	2.5	0.20	0.110	0.022
Arcilla	20.6	0.61	0.110	0.067

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.57$$

Suelo 14 – Alaminos II**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10.3	0.85	0.246	0.209
Punto marchitez	14.2	0.77	0.246	0.189
pH agua	8.4	0.26	0.224	0.058
β-glucosidasa	14.32	0.19	0.224	0.043
Arena fina	22.3	0.60	0.187	0.112
Densidad aparente	1.4	0.69	0.187	0.129
Esmectita	1	0.00	0.179	0.000
C biomasa	61.25	0.21	0.164	0.034
Cbio/COT	0.26	0.97	0.164	0.159

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.13$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	570	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.97	0.12	0.168	0.020
N total	0.18	0.53	0.163	0.086
C/N	10.1	0.87	0.129	0.112
Arena media	14.8	0.38	0.128	0.049
Na de cambio	1.01	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	10	1.00	0.110	0.110
Arcilla	27	0.82	0.110	0.090

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.15$$

Suelo 15 - Henares**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	10.3	0.85	0.246	0.209
Punto marchitez	6.9	0.19	0.246	0.047
pH agua	8.7	0.21	0.224	0.047
β -glucosidasa	1.71	0.02	0.224	0.004
Arena fina	19.3	0.52	0.187	0.097
Densidad aparente	1.9	0	0.187	0.000
Esmectita	4	0	0.179	0.000
C biomasa	3.42	0.01	0.164	0.002
Cbio/COT	0.08	0.99	0.164	0.162

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.12$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	190	1	0.180	0.180
k de cambio	0.45	0	0.168	0.000
N total	0.03	0	0.163	0.000
C/N	5.7	1	0.129	0.129
Arena media	21.4	0.58	0.128	0.074
Na de cambio	1.01	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	34	1	0.110	0.110
Arcilla	15.6	0.43	0.110	0.047

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.18$$

Suelo 16 - Almadén**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	14	0.50	0.246	0.123
Punto marchitez	12.2	0.61	0.246	0.150
pH agua	6.6	1.00	0.224	0.224
β -glucosidasa	9.14	0.12	0.224	0.027
Arena fina	22.5	0.61	0.187	0.114
Densidad aparente	1.7	0.03	0.187	0.006
Esmectita	0	0.00	0.179	0.000
C biomasa	50.82	0.18	0.164	0.030
Cbio/COT	0.23	0.97	0.164	0.159

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.57$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	115	0.94	0.180	0.169
k de cambio	0.41	0.00	0.168	0.000
N total	0.12	0.13	0.163	0.021
C/N	10	0.88	0.129	0.114
Arena media	21.9	0.59	0.128	0.076
Na de cambio	1.01	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	1	0.00	0.110	0.000
Arcilla	19.6	0.58	0.110	0.064

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.30$$

Suelo 17 - Daimiel**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	10	0.88	0.246	0.216
Punto marchitez	18.5	0.99	0.246	0.244
pH agua	8.1	0.34	0.224	0.076
β-glucosidasa	11.18	0.15	0.224	0.034
Arena fina	41.5	0.98	0.187	0.183
Densidad aparente	1.5	0.32	0.187	0.060
Esmectita	0	0.00	0.179	0.000
C biomasa	0	0.00	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.164	0.164

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.36$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	470	1.00	0.180	0.180
k de cambio	1.14	0.32	0.168	0.054
N total	0.24	0.84	0.163	0.137
C/N	10	0.88	0.129	0.114
Arena media	11.2	0.27	0.128	0.035
Na de cambio	0.97	0.26	0.121	0.031
P ₂ O ₅	78	1.00	0.110	0.110
Arcilla	10.6	0.27	0.110	0.030

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.22$$

Suelo 18 - Huete

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C/N	8.9	0.95	0.246	0.234
Punto marchitez	7.3	0.21	0.246	0.052
pH agua	8.4	0.26	0.224	0.058
β -glucosidasa	2.92	0.04	0.224	0.009
Arena fina	35	0.89	0.187	0.166
Densidad aparente	1.7	0.03	0.187	0.006
Esmectita	1	0.00	0.179	0.000
C biomasa	33.43	0.12	0.164	0.020
Cbio/COT	0.42	0.96	0.164	0.157

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.85$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Ca asimilable	410	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.32	0.00	0.168	0.000
N total	0.11	0.07	0.163	0.011
C/N	8.3	0.99	0.129	0.128
Arena media	6.4	0.13	0.128	0.017
Na de cambio	1.01	0.28	0.121	0.034
P ₂ O ₅	2.5	0.20	0.110	0.022
Arcilla	15.6	0.44	0.110	0.048

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.97$$

Suelo 19 - Cañaveras**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	13.6	0.54	0.246	0.133
Punto marchitez	24	0.95	0.246	0.234
pH agua	7.9	0.41	0.224	0.092
β-glucosidasa	12.15	0.16	0.224	0.036
Arena fina	44.8	1.00	0.187	0.187
Densidad aparente	1	1.00	0.187	0.187
Esmectita	0	0.00	0.179	0.000
C biomasa	0	0.00	0.164	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.164	0.164

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.67$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	2450	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.1	0.00	0.168	0.000
N total	0.02	0.00	0.163	0.000
C/N	18.5	0.09	0.129	0.012
Arena media	17.3	0.46	0.128	0.059
Na de cambio	1.04	0.29	0.121	0.035
P ₂ O ₅	1	0.00	0.110	0.000
Arcilla	5.6	0.12	0.110	0.013

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.69$$

Suelo 20 – La Ventosa

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	13.4	0.56	0.246	0.138
Punto marchitez	15.8	0.89	0.246	0.219
pH agua	8.1	0.34	0.224	0.076
β-glucosidasa	6.02	0.08	0.224	0.018
Arena fina	35.3	0.90	0.187	0.168
Densidad aparente	1.5	0.32	0.187	0.060
Esmectita	1	0.00	0.179	0.000
C biomasa	34.5	0.12	0.164	0.020
Cbio/COT	0.21	0.97	0.164	0.159

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.71$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	560	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.96	0.12	0.168	0.020
N total	0.09	0.00	0.163	0.000
C/N	11.1	0.78	0.129	0.101
Arena media	14.9	0.38	0.128	0.049
Na de cambio	1.32	0.41	0.121	0.050
P ₂ O ₅	2	0.06	0.110	0.006
Arcilla	19.7	0.58	0.110	0.064

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.23$$

Suelo 21 – Villar del Horno**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	12	0.70	0.246	0.172
Punto marchitez	12.3	0.61	0.246	0.150
pH agua	8.3	0.29	0.224	0.065
β-glucosidasa	0	0.00	0.224	0.000
Arena fina	34.6	0.89	0.187	0.166
Densidad aparente	1.4	0.69	0.187	0.129
Esmectita	1	0.00	0.179	0.000
C biomasa	17.12	0.06	0.164	0.010
Cbio/COT	0.1	0.99	0.164	0.162

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.69$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	460	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.64	0.01	0.168	0.002
N total	0.04	0.00	0.163	0.000
C/N	12.5	0.65	0.129	0.084
Arena media	10.8	0.26	0.128	0.033
Na de cambio	1.09	0.31	0.121	0.038
P ₂ O ₅	2	0.06	0.110	0.006
Arcilla	24.3	0.74	0.110	0.081

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.82$$

Suelo 22 - Alcudia**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	9.8	0.89	0.246	0.219
Punto marchitez	8.1	0.27	0.246	0.066
pH agua	6.4	0.98	0.224	0.220
β-glucosidasa	6.08	0.08	0.224	0.018
Arena fina	38.9	0.96	0.187	0.180
Densidad aparente	1.7	0.03	0.187	0.006
Esmectita	2	0.00	0.179	0.000
C biomasa	47.34	0.16	0.164	0.026
Cbio/COT	0.3	0.97	0.164	0.159

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.91$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	460	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.33	0.00	0.168	0.000
N total	0.09	0.00	0.163	0.000
C/N	9	0.94	0.129	0.121
Arena media	17.4	0.46	0.128	0.059
Na de cambio	1.22	0.37	0.121	0.045
P ₂ O ₅	33.5	1.00	0.110	0.110
Arcilla	18.3	0.53	0.110	0.058

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.17$$

Suelo 23 – La Galiana**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	12.6	0.64	0.246	0.157
Punto marchitez	11.5	0.54	0.246	0.133
pH agua	8.2	0.31	0.224	0.069
β-glucosidasa	5.12	0.07	0.224	0.016
Arena fina	30.3	0.81	0.187	0.151
Densidad aparente	1.4	0.69	0.187	0.129
Esmectita	11	0.32	0.179	0.057
C biomasa	38.56	0.13	0.164	0.021
Cbio/COT	0.22	0.98	0.164	0.161

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.92$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	490	1.00	0.180	0.180
k de cambio	1.06	0.21	0.168	0.035
N total	0.11	0.07	0.163	0.011
C/N	12.5	0.65	0.129	0.084
Arena media	14.1	0.36	0.128	0.046
Na de cambio	1.19	0.35	0.121	0.042
P ₂ O ₅	33.5	1.00	0.110	0.110
Arcilla	13.3	0.34	0.110	0.037

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.93$$

Suelo 24 - Balazote**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	14	0.50	0.246	0.123
Punto marchitez	7.3	0.21	0.246	0.052
pH agua	8	0.37	0.224	0.083
β-glucosidasa	4.2	0.05	0.224	0.011
Arena fina	41.2	0.98	0.187	0.183
Densidad aparente	1.9	0.00	0.187	0.000
Esmectita	11	0.32	0.179	0.057
C biomasa	16.31	0.06	0.164	0.010
Cbio/COT	0.17	0.98	0.164	0.161

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.73$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	420	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.44	0.00	0.168	0.000
N total	0.06	0.00	0.163	0.000
C/N	10.5	0.84	0.129	0.108
Arena media	14.1	0.36	0.128	0.046
Na de cambio	1.19	0.35	0.121	0.042
P ₂ O ₅	9.5	1.00	0.110	0.110
Arcilla	19	0.56	0.110	0.062

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.94$$

Suelo 25 – Manchuela de Cuenca**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	8	1.00	0.246	0.246
Punto marchitez		0.85	0.246	0.209
pH agua	8.3	0.29	0.224	0.065
β-glucosidasa	4.65	0.06	0.224	0.013
Arena fina	51.3	1.00	0.187	0.187
Densidad aparente	1.8	0.00	0.187	0.000
Esmectita			0.179	0.000
C biomasa	320.9	1.00	0.164	0.164
Cbio/COT	7.64	0.24	0.164	0.039

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.07$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	222	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.8	0.04	0.168	0.007
N total	0.03	0.00	0.163	0.000
C/N	6.7	1.00	0.129	0.129
Arena media			0.128	0.000
Na de cambio	0.4	0.00	0.121	0.000
P ₂ O ₅	1.6	0.01	0.110	0.001
Arcilla	55.8	0.95	0.110	0.105

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.80$$

Suelo 26 – Las Tiesas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	6.9	1.00	0.246	0.246
Punto marchitez	15.2	0.94	0.246	0.231
pH agua	8.1	0.34	0.224	0.076
β-glucosidasa	9.01	0.12	0.224	0.027
Arena fina	22.2	0.60	0.187	0.112
Densidad aparente	1.4	0.69	0.187	0.129
Esmectita			0.179	0.000
C biomasa	42.12	0.15	0.164	0.025
Cbio/COT	0.46	0.95	0.164	0.156

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.50$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	410	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.3	0.00	0.168	0.000
N total	0.1	0.00	0.163	0.000
C/N	7	1.00	0.129	0.129
Arena media			0.128	0.000
Na de cambio	0.81	0.19	0.121	0.023
P ₂ O ₅	6.2	1.00	0.110	0.110
Arcilla	37.9	1.00	0.110	0.110

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.98$$

Suelo 27 – Casa del Brocal**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	7	1.00	0.246	0.246
Punto marchitez	16.7	0.41	0.246	0.101
pH agua	8.5	0.24	0.224	0.054
β-glucosidasa	5.64	0.07	0.224	0.016
Arena fina	13.9	0.35	0.187	0.065
Densidad aparente	1.5	0.32	0.187	0.060
Esmeclita			0.179	0.000
C biomasa	300.62	1.00	0.164	0.164
Cbio/COT	4.23	0.57	0.164	0.093

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.39$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	350	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.11	0.00	0.168	0.000
N total	0.09	0.00	0.163	0.000
C/N	4.4	1.00	0.129	0.129
Arena media			0.128	0.000
Na de cambio	0	0.00	0.121	0.000
P ₂ O ₅	1.4	0.01	0.110	0.001
Arcilla	22.9	0.69	0.110	0.076

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.48$$

Suelo 28 – Don Martín**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C/N	8.6	0.97	0.246	0.239
Punto marchitez	9.9	0.00	0.246	0.000
pH agua	8.5	0.24	0.224	0.054
β-glucosidasa	0.14	0.00	0.224	0.000
Arena fina	31.8	0.84	0.187	0.157
Densidad aparente	1.5	0.32	0.187	0.060
Esmectita			0.179	0.000
C biomasa	168.5	0.58	0.164	0.095
Cbio/COT	2.37	0.76	0.164	0.125

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.00$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Ca asimilable	316	1.00	0.180	0.180
k de cambio	0.41	0.00	0.168	0.000
N total	0.07	0.00	0.163	0.000
C/N	8.6	0.97	0.129	0.125
Arena media			0.128	0.000
Na de cambio	0	0.00	0.121	0.000
P ₂ O ₅	4.1	0.89	0.110	0.098
Arcilla	20.9	0.62	0.110	0.068

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.25$$

Suelo 29 - Cabañeros**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C/N	11.6	0.74	0.246	0.182
Punto marchitez			0.246	0.000
pH agua	6	0.74	0.224	0.166
β-glucosidasa	76.6	1.00	0.224	0.224
Arena fina	29.1	0.78	0.187	0.146
Densidad aparente	1	1.00	0.187	0.187
Esmectita	0	0.00	0.179	0.000
C biomasa	288.85	0.99	0.164	0.162
Cbio/COT	0.78	0.92	0.164	0.151

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.69$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Ca asimilable	11	0.00	0.180	0.000
k de cambio	0.18	0.00	0.168	0.000
N total	0.05	0.00	0.163	0.000
C/N	10.4	0.84	0.129	0.108
Arena media	7.1	0.15	0.128	0.019
Na de cambio	1.34	0.42	0.121	0.051
P ₂ O ₅	30	1.00	0.110	0.110
Arcilla	14.3	0.39	0.110	0.043

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.98$$

8.3. Anexo III. Índices de calidad obtenidos por la Estrategia 2

Suelo 1- Villacañas

Propiedades físicas y mineralógicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	64.2	0.83	0.23	0.191
Illita	82	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.6	0.03	0.198	0.006
Arcilla	6.7	0.15	0.174	0.026
Porosidad	36.7	0.78	0.174	0.136
Punto de marchitez	16.9	0.95	0.156	0.148
Profundidad efectiva	10	0.00	0.156	0.000
Limo	30	0.69	0.125	0.086
Arena muy gruesa	1.8	0.00	0.118	0.000
Esmectita	2	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.98$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa	2.7	0.02	0.276	0.006
Arena media	6.7	0.13	0.276	0.036
Arcilla	5.7	0.12	0.195	0.023
Porosidad	5.8	0.00	0.194	0.000
Caolinita	4	0.11	0.173	0.019
Densidad real	2	1.00	0.173	0.173
Arena fina	26.8	0.72	0.161	0.116
illita	95	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.32$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	1.63	0.20	0.415	0.083
Na asimilable	290	0.00	0.415	0.000
C/N	9.6	0.90	0.241	0.217
Carbonatos	8.5	0.99	0.241	0.239
Caliza activa	5	1.00	0.241	0.241
pH agua	9.2	0.14	0.172	0.024
Conductividad eléctrica	7.4	0.00	0.172	0.000
K asimilable	180	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	61.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.12$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	3	1.00	0.24	0.24
C. Orgánico	0.62	0.00	0.231	0
pH agua	8.6	0.22	0.193	0.04246
K de cambio	4.12	1.00	0.169	0.169
Mg de cambio	34.56	1.00	0.168	0.168

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.19$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	0.71	0.15	0.435	0.065
Proteasa	1.15	0.16	0.435	0.070
Deshidrogenasa	212.5	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	110.3	0.63	0.311	0.196
C de biomasa	0	0.00	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.254	0.254
qCO ₂			0.254	0.000

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.98$$

Suelo 2 - Tembleque**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	43.2	0.99	0.230	0.228
Illita	95	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.78	0.05	0.198	0.010
Arcilla	18.7	0.54	0.174	0.094
Porosidad	43.2	0.95	0.174	0.165
Punto de marchitez	8.9	0.33	0.156	0.051
Profundidad efectiva	12	0.00	0.156	0.000
Limo	17.3	0.22	0.125	0.028
Arena muy gruesa	0.9	0.00	0.118	0.000
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.4	0.62	0.118	0.073

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.68$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0.1	0.00	0.276	0.000
Arena media	7.4	0.16	0.276	0.044

Arcilla	9.7	0.24	0.195	0.047
Porosidad	32.5	0.62	0.194	0.120
Caolinita	33	1.00	0.173	0.173
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina	24.3	0.66	0.161	0.106
illita	56	0.66	0.161	0.106

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.61$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C. Orgánico	2.22	0.67	0.415	0.278
Na asimilable	3	0.00	0.415	0.000
C/N	15.9	0.31	0.241	0.075
Carbonatos	35.8	0.46	0.241	0.111
Caliza activa	11	0.79	0.241	0.190
pH agua	8.4	0.26	0.172	0.045
Conductividad eléctrica	0.29	1.00	0.172	0.172
K asimilable	64	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	20.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.42$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	15	0.50	0.240	0.120
C. Orgánico	1.15	0.02	0.231	0.005
pH agua	8	0.37	0.193	0.071
K de cambio	0.51	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	2.11	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 1.96$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	1.04	0.22	0.435	0.096
Proteasa	1.86	0.26	0.435	0.113
Deshidrogenasa	122	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	107.3	0.61	0.311	0.190
C de biomasa	43.86	0.15	0.254	0.038
Cbio/COT	0.2	0.80	0.254	0.203
qCO ₂	0.1	0.90	0.254	0.229

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.23$$

Suelo 3 – Montiel I**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	86.1	0.22	0.230	0.051
Illita	90	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.14	0.59	0.198	0.117
Arcilla	9.4	0.23	0.174	0.040
Porosidad	20.3	0.11	0.174	0.019
Punto de marchitez	5.9	0.13	0.156	0.020
Profundidad efectiva	12	0.00	0.156	0.000
Limo	16.8	0.20	0.125	0.025
Arena muy gruesa	3.1	0.03	0.118	0.004
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.12$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación
Arena muy gruesa			
Arena media			
Arcilla			
Porosidad			
Caolinita			
Densidad real			
Arena fina			
illita			

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	2.09	0.57	0.415	0.237
Na asimilable	0.5	0.00	0.415	0.000
C/N	17.4	0.18	0.241	0.043
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	7.9	0.41	0.172	0.071
Conductividad eléctrica	0.16	1.00	0.172	0.172
K asimilable	26	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	13	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.01$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa				
C. Orgánico				
pH agua				
K de cambio				
Mg de cambio				

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	0.3	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.29	0.04	0.435	0.017
Deshidrogenasa	219.72	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	285.9	1.00	0.311	0.311
C de biomasa	35.84	0.12	0.254	0.030
Cbio/COT	0.17	0.83	0.254	0.211
qCO ₂	0.33	0.67	0.254	0.170

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.78$$

Suelo 4 – Montiel II**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	82.5	0.33	0.230	0.076
Illita	97	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.8	0.68	0.198	0.135
Arcilla	15.4	0.43	0.174	0.075
Porosidad	27.7	0.42	0.174	0.073
Punto de marchitez	6.1	0.14	0.156	0.022
Profundidad efectiva	35	0.23	0.156	0.036
Limo	15.3	0.16	0.125	0.020
Arena muy gruesa	0.4	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.03$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0	0.00	0.276	0.000

Arena media	22.3	0.60	0.276	0.166
Arcilla	13.4	0.36	0.195	0.070
Porosidad	35.6	0.74	0.194	0.144
Caolinita	2	0.02	0.173	0.003
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	22.7	0.62	0.161	0.100
illita	98	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.78$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.43	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	10.8	0.81	0.241	0.195
Carbonatos	8.7	0.99	0.241	0.239
Caliza activa	1	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.6	0.22	0.172	0.038
Conductividad eléctrica	0.12	1.00	0.172	0.172
K asimilable	44.5	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	270.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.48$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.06	0.00	0.231	0.000
pH agua	9	0.16	0.193	0.031
K de cambio	2.13	1.00	0.169	0.169
Mg de cambio	2.77	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.39$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.3	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.29	0.04	0.435	0.017
Deshidrogenasa	219.72	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	285.9	1.00	0.311	0.311
C de biomasa	35.84	0.12	0.254	0.030
Cbio/COT	0.83	0.17	0.254	0.043
qCO ₂	0.33	0.67	0.254	0.170

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.03$$

Suelo 5 – Montiel III**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	86.5	0.20	0.230	0.046
Illita	95	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.8	0.68	0.198	0.135
Arcilla	14.7	0.40	0.174	0.070
Porosidad	28.7	0.46	0.174	0.080
Punto de marchitez	6.4	0.16	0.156	0.025
Profundidad efectiva	115	1.00	0.156	0.156
Limo	20	0.32	0.125	0.040
Arena muy gruesa	1.9	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.61$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa				
Arena media				
Arcilla				
Porosidad				
Caolinita				
Densidad real				
Arena fina				
illita				

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	0.44	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	7.3	1.00	0.241	0.241
Carbonatos	2.2	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.3	0.29	0.172	0.050
Conductividad eléctrica	0.15	1.00	0.172	0.172
K asimilable	51	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	11.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.75$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa				
C. Orgánico				
pH agua				
K de cambio				
Mg de cambio				

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	0.3	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.29	0.04	0.435	0.017
Deshidrogenasa	219.72	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	285.9	1.00	0.311	0.311
C de biomasa	35.84	0.12	0.254	0.030
Cbio/COT	0.81	0.19	0.254	0.048
qCO ₂	0.33	0.67	0.254	0.170

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.06$$

Suelo 6 – Cozar I**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	41.9	0.98	0.230	0.225
Illita	95	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.8	0.68	0.198	0.135
Arcilla	26.7	0.81	0.174	0.141
Porosidad	7.8	0.00	0.174	0.000
Punto de marchitez	11.2	0.52	0.156	0.081
Profundidad efectiva	34	0.21	0.156	0.033
Limo	24	0.47	0.125	0.059
Arena muy gruesa	1.9	0.00	0.118	0.000
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.44$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy gruesa	0.3	0.00	0.276	0.000

Arena media	19.7	0.53	0.276	0.146
Arcilla	32.7	0.97	0.195	0.189
Porosidad	15	0.00	0.194	0.000
Caolinita	4	0.11	0.173	0.019
Densidad real	2.4	0.62	0.173	0.107
Arena fina illita	21.7 96	0.59 0.00	0.161 0.161	0.095 0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.46$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.89	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	11.1	0.78	0.241	0.188
Carbonatos	19.4	0.96	0.241	0.231
Caliza activa	15	0.50	0.241	0.121
pH agua	8.5	0.24	0.172	0.041
Conductividad eléctrica	0.15	1.00	0.172	0.172
K asimilable	43	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	7.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.89$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	20	0.19	0.240	0.046
C. Orgánico	0.78	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.5	0.24	0.193	0.046
K de cambio	1.04	0.19	0.169	0.032
Mg de cambio	1.17	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 1.24$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.3	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.07	0.01	0.435	0.004
Deshidrogenasa	62.2	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	19.4	0.11	0.311	0.034
C de biomasa	24.61	0.09	0.254	0.023
Cbio/COT	0.28	0.72	0.254	0.183
qCO ₂	0.03	0.97	0.254	0.246

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.67$$

Suelo 7 – Cozar II**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	47.9	1.00	0.230	0.230
Illita	94	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.62	0.66	0.198	0.131
Arcilla	22.7	0.68	0.174	0.118
Porosidad	7.5	0.00	0.174	0.000
Punto de marchitez	12.3	0.61	0.156	0.095
Profundidad efectiva	74	1.00	0.156	0.156
Limo	24	0.47	0.125	0.059
Arena muy gruesa	0.2	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.09$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa	0	0.00	0.276	0.000
Arena media	19.8	0.53	0.276	0.146
Arcilla	32.7	0.97	0.195	0.189
Porosidad	15.6	0.00	0.194	0.000
Caolinita	5	0.15	0.173	0.026
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	26.1	0.70	0.161	0.113
illita	94	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.73$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.89	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	11.1	0.78	0.241	0.188
Carbonatos	18.4	0.97	0.241	0.234
Caliza activa	11	0.79	0.241	0.190
pH agua	8.5	0.24	0.172	0.041
Conductividad eléctrica	0.14	1.00	0.172	0.172
K asimilable	52	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	7.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.21$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	9	0.91	0.240	0.218
C. Orgánico	0.6	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.8	0.19	0.193	0.037
K de cambio	0.7	0.02	0.169	0.003
Mg de cambio	1.17	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.58$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	0.54	0.11	0.435	0.048
Proteasa	0	0.00	0.435	0.000
Deshidrogenasa	65.55	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	82.5	0.47	0.311	0.146
C de biomasa	26.21	0.09	0.254	0.023
Cbio/COT	0.29	0.71	0.254	0.180
qCO ₂	0.13	0.87	0.254	0.221

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.12$$

Suelo 8 – Cozar III**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	37.2	0.93	0.230	0.214
llita	98	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.66	4.62	0.198	0.915
Arcilla	20.7	0.62	0.174	0.108
Porosidad	7.7	0.00	0.174	0.000
Punto de marchitez	9.3	0.36	0.156	0.056
Profundidad efectiva	61	0.78	0.156	0.122
Limo	20	0.32	0.125	0.040
Arena muy gruesa	0	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 8.73$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	0.1	0.00	0.276	0.000
Arena media	16.9	0.45	0.276	0.124
Arcilla	27.7	0.84	0.195	0.164
Porosidad	18.6	0.06	0.194	0.012
Caolinita	8	0.29	0.173	0.050
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina illita	26.9 91	0.73 0.00	0.161 0.161	0.118 0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.69$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.65	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	10.8	0.81	0.241	0.195
Carbonatos	32.4	0.63	0.241	0.152
Caliza activa	20	0.19	0.241	0.046
pH agua	8.4	0.26	0.172	0.045
Conductividad eléctrica	0.12	1.00	0.172	0.172
K asimilable	26	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	7.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.25$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	22	0.09	0.240	0.022
C. Orgánico	0.28	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.3	0.28	0.193	0.054
K de cambio	0.74	0.03	0.169	0.005
Mg de cambio	0.96	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 0.81$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.3	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.06	0.00	0.435	0.000
Deshidrogenasa	41.9	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	14	0.08	0.311	0.025
C de biomasa	0.02	0.00	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.254	0.254
qCO ₂	29.06	0.00	0.254	0.000

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.73$$

Suelo 9 – La Solana**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	31.5	0.83	0.230	0.191
Illita	73	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	4.08	0.58	0.198	0.115
Arcilla	16.7	0.47	0.174	0.082
Porosidad	35.1	0.73	0.174	0.127
Punto de marchitez	10.6	0.47	0.156	0.073
Profundidad efectiva	94	1.00	0.156	0.156
Limo	19.3	0.29	0.125	0.036
Arena muy gruesa	6.9	0.14	0.118	0.017
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2	1.00	0.118	0.118

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.18$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0.6	0.00	0.276	0.000
Arena media	18.5	0.49	0.276	0.135
Arcilla	39.7	1.00	0.195	0.195
Porosidad	30	0.52	0.194	0.101
Caolinita	33	1.00	0.173	0.173
Densidad real	2	1.00	0.173	0.173
Arena fina	23.6	0.64	0.161	0.103
illita	67	0.17	0.161	0.027

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.64$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	2.39	0.77	0.415	0.320
Na asimilable	2	0.00	0.415	0.000
C/N	10	0.88	0.241	0.212
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	6.4	0.98	0.172	0.169
Conductividad eléctrica	0.16	1.00	0.172	0.172
K asimilable	36	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	5.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 7.58$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	0	1	0.240	0.240
C. Orgánico	0.12	0	0.231	0.000
pH agua	4.9	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.41	0	0.169	0.000
Mg de cambio	3.12	0	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.89$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa				
Proteasa				
Deshidrogenasa				
Respiración microbiana				
C de biomasa				
Cbio/COT				
qCO ₂				

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p =$$

Suelo 10 - Almagro**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	34.2	0.88	0.230	0.202
Illita	79	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	1.2	0.12	0.198	0.024
Arcilla	20	0.59	0.174	0.103
Porosidad	30.1	0.52	0.174	0.090
Punto de marchitez	7	0.19	0.156	0.030
Profundidad efectiva	15	0.00	0.156	0.000
Limo	8	0.00	0.125	0.000
Arena muy gruesa	1.4	0.00	0.118	0.000
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.11$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	1.3	0.00	0.276	0.000
Arena media	4.7	0.08	0.276	0.022
Arcilla	38	1.00	0.195	0.195
Porosidad	12.7	0.00	0.194	0.000
Caolinita	33	1.00	0.173	0.173
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina	26.7	0.72	0.161	0.116
illita	67	0.17	0.161	0.027

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.31$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	1.42	0.09	0.415	0.037
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	8.9	0.95	0.241	0.229
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.2	0.31	0.172	0.053
Conductividad eléctrica	0.12	1.00	0.172	0.172
K asimilable	35	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	15.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.88$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.54	0.00	0.231	0.000
pH agua	7.8	0.45	0.193	0.087
K de cambio	0.77	0.03	0.169	0.005
Mg de cambio	4.4	0.09	0.168	0.015

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.46$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	1.2	0.25	0.435	0.109
Proteasa	1.8	0.25	0.435	0.109
Deshidrogenasa	89.31	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	19.2	0.11	0.311	0.034
C de biomasa	28.89	0.10	0.254	0.025
Cbio/COT	0.2	0.80	0.254	0.203
qCO ₂	0.03	0.97	0.254	0.246

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.60$$

Suelo 11 - Manzanares**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	68	0.74	0.230	0.170
Illita	57	0.63	0.198	0.125
Tasa de infiltración	0.78	0.05	0.198	0.010
Arcilla	16	0.45	0.174	0.078
Porosidad	40.8	0.89	0.174	0.155
Punto de marchitez	6.7	0.17	0.156	0.027
Profundidad efectiva	55	0.64	0.156	0.100
Limo	11.3	0.06	0.125	0.008
Arena muy gruesa	0.2	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.37$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa	0.4	0.00	0.276	0.000
Arena media	6.2	0.12	0.276	0.033
Arcilla	15	0.41	0.195	0.080
Porosidad	12	0.00	0.194	0.000
Caolinita	24	0.94	0.173	0.163
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina	22.3	0.60	0.161	0.097
illita	45	0.94	0.161	0.151

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.16$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	1.06	0.01	0.415	0.004
Na asimilable	3	0.00	0.415	0.000
C/N	10.6	0.83	0.241	0.200
Carbonatos	25.4	0.88	0.241	0.212
Caliza activa	5	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.2	0.31	0.172	0.053
Conductividad eléctrica	0.12	1.00	0.172	0.172
K asimilable	25	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	11.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.47$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	6	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.78	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.35	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	2.08	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.89$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	1.19	0.25	0.435	0.109
Proteasa	1.3	0.18	0.435	0.078
Deshidrogenasa	66.81	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	16.4	0.09	0.311	0.028
C de biomasa	0.27	0.00	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.254	0.254
qCO ₂	2.55	0.00	0.254	0.000

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.46$$

Suelo 12 - Mesones**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	59.1	0.92	0.230	0.212
Illita	69	0.05	0.198	0.010
Tasa de infiltración	0.6	0.03	0.198	0.006
Arcilla	16	0.45	0.174	0.078
Porosidad	21.2	0.15	0.174	0.026
Punto de marchitez	5.9	0.13	0.156	0.020
Profundidad efectiva	162	1.00	0.156	0.156
Limo	25.3	0.52	0.125	0.065
Arena muy gruesa	2.4	0.02	0.118	0.002
Esmeclita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.82$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	1.4	0.00	0.276	0.000
Arena media	9.8	0.23	0.276	0.063
Arcilla	32	0.96	0.195	0.187
Porosidad	14.6	0.00	0.194	0.000
Caolinita	25	0.96	0.173	0.166
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina	25.5	0.69	0.161	0.111
illita	56	0.67	0.161	0.108

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.95$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.5	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	10	0.88	0.241	0.212
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	5.3	0.38	0.172	0.065
Conductividad eléctrica	0.02	1.00	0.172	0.172
K asimilable	12	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	2.5	0.20	0.171	0.034

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.08$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.28	0.00	0.231	0.000
pH agua	7.5	0.60	0.193	0.116
K de cambio	0.51	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	3.61	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.55$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.31	0.06	0.435	0.026
Proteasa	0.8	0.11	0.435	0.048
Deshidrogenasa	3	0.13	0.311	0.040
Respiración microbiana	135.8	0.77	0.311	0.239
C de biomasa	4.01	0.01	0.254	0.003
Cbio/COT	0.08	0.92	0.254	0.234
qCO ₂	1.41	0.00	0.254	0.000

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.62$$



Suelo 13 – Alaminos I**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	46.8	1.00	0.230	0.230
Illita	68	0.11	0.198	0.022
Tasa de infiltración	1.62	0.19	0.198	0.038
Arcilla	24	0.73	0.174	0.127
Porosidad	15.4	0.00	0.174	0.000
Punto de marchitez	9.7	0.39	0.156	0.061
Profundidad efectiva	47	0.46	0.156	0.072
Limo	19.3	0.29	0.125	0.036
Arena muy gruesa	4.6	0.08	0.118	0.009
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.99$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	1.6	0.00	0.276	0.000
Arena media	21.3	0.58	0.276	0.160
Arcilla	20.6	0.61	0.195	0.119
Porosidad	29.5	0.49	0.194	0.095
Caolinita	19	0.79	0.173	0.137
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina	27.5	0.74	0.161	0.119
illita	80	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.91$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	1.82	0.35	0.415	0.145
Na asimilable	1.5	0.00	0.415	0.000
C/N	10.7	0.82	0.241	0.198
Carbonatos	5.3	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	4.2	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.1	0.34	0.172	0.058
Conductividad eléctrica	0.2	1.00	0.172	0.172
K asimilable	38	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	18.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.24$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	11	0.79	0.240	0.190
C. Orgánico	1.51	0.13	0.231	0.030
pH agua	8.2	0.31	0.193	0.060
K de cambio	0.37	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	0.05	0.00	0.168	0.000

$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.79$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	1.51	0.32	0.435	0.139
Proteasa	1.72	0.24	0.435	0.104
Deshidrogenasa	96.78	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	70.8	0.40	0.311	0.124
C de biomasa	3.74	0.01	0.254	0.003
Cbio/COT	0.02	0.98	0.254	0.249
qCO ₂	0.79	0.21	0.254	0.053

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.36$

Suelo 14 – Alaminos II**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	46.1	1.00	0.230	0.230
Illita	86	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	1.92	0.24	0.198	0.048
Arcilla	24	0.73	0.174	0.127
Porosidad	31.5	0.58	0.174	0.101
Punto de marchitez	14.2	0.77	0.156	0.120
Profundidad efectiva	10	0.00	0.156	0.000
Limo	19.3	0.29	0.125	0.036
Arena muy gruesa	9.5	0.22	0.118	0.026
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2	1.00	0.118	0.118

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.57$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	4.1	0.06	0.276	0.017
Arena media	14.8	0.38	0.276	0.105
Arcilla	27	0.82	0.195	0.160
Porosidad	16.8	0.00	0.194	0.000
Caolinita	4	0.11	0.173	0.019
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina	22.8	0.62	0.161	0.100
illita	96	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.49$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	2.38	0.77	0.415	0.320
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	10.3	0.85	0.241	0.205
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.4	0.26	0.172	0.045
Conductividad eléctrica	0.12	1.00	0.172	0.172
K asimilable	53	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	24.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.99$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	1.82	0.35	0.231	0.081
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.97	0.12	0.169	0.020
Mg de cambio	0.73	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.91$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	2.04	0.43	0.435	0.187
Proteasa	2.08	0.29	0.435	0.126
Deshidrogenasa	148.04	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	135.7	0.77	0.311	0.239
C de biomasa	61.25	0.21	0.254	0.053
Cbio/COT	0.26	0.74	0.254	0.188
qCO ₂	0.09	0.91	0.254	0.231

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.93$$

Suelo 15 - Henares**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	75.7	0.53	0.230	0.122
Illita	80	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	2.1	0.27	0.198	0.053
Arcilla	19.6	0.58	0.174	0.101
Porosidad	16.5	0.00	0.174	0.000
Punto de marchitez	6.9	0.19	0.156	0.030
Profundidad efectiva	64	0.85	0.156	0.133
Limo	17.7	0.23	0.125	0.029
Arena muy gruesa	0.6	0.00	0.118	0.000
Esmectita	4	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.14$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0.4	0.00	0.276	0.000
Arena media	21.4	0.58	0.276	0.160
Arcilla	15.6	0.43	0.195	0.084
Porosidad	15.6	0.00	0.194	0.000
Caolinita	17	0.71	0.173	0.123
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina	35.9	0.91	0.161	0.147
illita	80	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.09$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	0.41	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	2	0.00	0.415	0.000
C/N	10.3	0.85	0.241	0.205
Carbonatos	31.2	0.69	0.241	0.166
Caliza activa	4	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.7	0.21	0.172	0.036
Conductividad eléctrica	0.11	1.00	0.172	0.172
K asimilable	17	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	15	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.19$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.17	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.5	0.24	0.193	0.046
K de cambio	0.45	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	1.96	0.00	0.168	0.000

$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.86$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	0.51	0.11	0.435	0.048
Proteasa	1.01	0.14	0.435	0.061
Deshidrogenasa	42.11	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	120.1	0.68	0.311	0.211
C de biomasa	3.42	0.01	0.254	0.003
Cbio/COT	0.08	0.92	0.254	0.234
qCO ₂	1.46	0.00	0.254	0.000

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.85$

Suelo 16 - Almadén**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	15.9	0.42	0.230	0.097
Illita	0	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	3	0.41	0.198	0.081
Arcilla	17.6	0.51	0.174	0.089
Porosidad	22.5	0.19	0.174	0.033
Punto de marchitez	12.2	0.61	0.156	0.095
Profundidad efectiva	93	1.00	0.156	0.156
Limo	17.7	0.23	0.125	0.029
Arena muy gruesa	11.3	0.27	0.118	0.032
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.03$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	5.8	0.11	0.276	0.030
Arena media	21.9	0.59	0.276	0.163
Arcilla	19.6	0.58	0.195	0.113
Porosidad	12	0.00	0.194	0.000
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina illita	23.1	0.63	0.161	0.101
			0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.53$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	2.24	0.68	0.415	0.282
Na asimilable	1.5	0.00	0.415	0.000
C/N	14	0.50	0.241	0.121
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	6.6	1.00	0.172	0.172
Conductividad eléctrica	0.05	1.00	0.172	0.172
K asimilable	27	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	1.5	0.01	0.171	0.002

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.26$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	1.2	0.03	0.231	0.007
pH agua	6.4	0.98	0.193	0.189
K de cambio	0.41	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	3.28	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.36$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	1.12	0.23	0.435	0.100
Proteasa	2.85	0.40	0.435	0.174
Deshidrogenasa	32.84	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	52.3	0.29	0.311	0.090
C de biomasa	50.82	0.18	0.254	0.046
Cbio/COT	0.23	0.77	0.254	0.196
qCO ₂	0.04	0.96	0.254	0.244

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.15$$

Suelo 17 - Daimiel**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	25.3	0.69	0.230	0.159
Illita	0	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración			0.198	0.000
Arcilla	6.6	0.15	0.174	0.026
Porosidad	19.2	0.08	0.174	0.014
Punto de marchitez	18.5	0.99	0.156	0.154
Profundidad efectiva	77	1.00	0.156	0.156
Limo	10.7	0.05	0.125	0.006
Arena muy gruesa	14.8	0.38	0.118	0.045
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	1.9	1.00	0.118	0.118

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.84$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	1.8	0.00	0.276	0.000
Arena media	11.2	0.27	0.276	0.075
Arcilla	10.6	0.27	0.195	0.053
Porosidad	14.1	0.00	0.194	0.000
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	40.1	0.97	0.161	0.156
illita			0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.55$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	5.97	1.00	0.415	0.415
Na asimilable	2.5	0.00	0.415	0.000
C/N	10	0.88	0.241	0.212
Carbonatos	24.1	0.90	0.241	0.217
Caliza activa	12	0.72	0.241	0.174
pH agua	8.1	0.34	0.172	0.058
Conductividad eléctrica	0.2	1.00	0.172	0.172
K asimilable	64	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	132.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 7.10$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	24	0.03	0.240	0.007
C. Orgánico	2.41	0.78	0.231	0.180
pH agua	8.5	0.24	0.193	0.046
K de cambio	1.14	0.32	0.169	0.054
Mg de cambio	3.45	0.00	0.168	0.000

$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 = 2.87$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	1.19	0.25	0.435	0.109
Proteasa	1.83	0.26	0.435	0.113
Deshidrogenasa	105.34	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	27.5	0.16	0.311	0.050
C de biomasa	0	0.00	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.254	0.254
qCO ₂			0.254	0.000

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.71$

Suelo 18 - Huete**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	55.1	0.97	0.230	0.223
Illita	73	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.18	0.00	0.198	0.000
Arcilla	18	0.52	0.174	0.090
Porosidad	24.1	0.26	0.174	0.045
Punto de marchitez	7.3	0.21	0.156	0.033
Profundidad efectiva	97	1.00	0.156	0.156
Limo	20.4	0.33	0.125	0.041
Arena muy gruesa	2	0.00	0.118	0.000
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.82$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	2.7	0.02	0.276	0.006
Arena media	6.4	0.13	0.276	0.036
Arcilla	15.6	0.44	0.195	0.086
Porosidad	25	0.29	0.194	0.056
Caolinita	17	0.71	0.173	0.123
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	39.5	0.96	0.161	0.155
illita	83	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.65$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.8	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	8.9	0.95	0.241	0.229
Carbonatos	37.9	0.36	0.241	0.087
Caliza activa	14	0.57	0.241	0.137
pH agua	8.4	0.26	0.172	0.045
Conductividad eléctrica	0.19	1.00	0.172	0.172
K asimilable	30	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	8.5	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.52$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	13	0.65	0.240	0.156
C. Orgánico	0.91	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.32	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	1.59	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.06$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.48	0.10	0.435	0.044
Proteasa	0.89	0.13	0.435	0.057
Deshidrogenasa	96.36	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	152.6	0.87	0.311	0.271
C de biomasa	33.43	0.12	0.254	0.030
Cbio/COT	0.42	0.58	0.254	0.147
qCO ₂	0.19	0.81	0.254	0.206

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.73$$

Suelo 19 - Cañaveras**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	44.5	1.00	0.230	0.230
Illita	0	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	2.4	0.32	0.198	0.063
Arcilla	5.7	0.12	0.174	0.021
Porosidad	47.9	0.98	0.174	0.171
Punto de marchitez	24	1.00	0.156	0.156
Profundidad efectiva	18	0.00	0.156	0.000
Limo	33.6	0.81	0.125	0.101
Arena muy gruesa	0	0.00	0.118	0.000
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	1.9	1.00	0.118	0.118

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.87$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0	0.00	0.276	0.000
Arena media	17.3	0.46	0.276	0.127
Arcilla	5.6	0.12	0.195	0.023
Porosidad	43.4	0.95	0.194	0.184
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	2	1.00	0.173	0.173
Arena fina	48	1.00	0.161	0.161
illita			0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.16$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	1.77	0.30	0.415	0.125
Na asimilable	1.5	0.00	0.415	0.000
C/N	13.6	0.54	0.241	0.130
Carbonatos	32.1	0.64	0.241	0.154
Caliza activa	27.4	0.00	0.241	0.000
pH agua	7.9	0.41	0.172	0.071
Conductividad eléctrica	2.13	0.85	0.172	0.146
K asimilable	5	0.00	0.171	0.000
P ₂ O ₅ asimilable	3.5	0.70	0.171	0.120

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.33$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Caliza activa	12.5	0.69	0.240	0.166
C. Orgánico	0.37	0.00	0.231	0.000
pH agua	8	0.37	0.193	0.071
K de cambio	0.1	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	0.17	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.37$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	0.88	0.18	0.435	0.078
Proteasa	4.32	0.61	0.435	0.265
Deshidrogenasa	90.66	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	44.6	0.25	0.311	0.078
C de biomasa	0	0.00	0.254	0.000
Cbio/COT	0	1.00	0.254	0.254
qCO ₂			0.254	0.000

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.38$$

Suelo 20 – La Ventosa

Propiedades físicas y mineralógicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	30.5	0.81	0.230	0.186
Iliita	96	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	1.2	0.12	0.198	0.024
Arcilla	13.6	0.37	0.174	0.064
Porosidad	25.9	0.34	0.174	0.059
Punto de marchitez	15.8	0.89	0.156	0.139
Profundidad efectiva	45	0.42	0.156	0.066
Limo	21.7	0.38	0.125	0.048
Arena muy gruesa	6.5	0.13	0.118	0.015
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2	1.00	0.118	0.118

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.07$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy gruesa	7	0.15	0.276	0.041
Arena media	14.9	0.38	0.276	0.105
Arcilla	19.7	0.58	0.195	0.113
Porosidad	16	0.00	0.194	0.000
Caolinita	5	0.15	0.173	0.026

Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina	37.2	0.93	0.161	0.150
illita	95	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.70$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	1.61	0.19	0.415	0.079
Na asimilable	1.5	0.00	0.415	0.000
C/N	13.4	0.56	0.241	0.135
Carbonatos	27.1	0.84	0.241	0.202
Caliza activa	8	0.96	0.241	0.231
pH agua	8.1	0.34	0.172	0.058
Conductividad eléctrica	0.21	1.00	0.172	0.172
K asimilable	54	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	2.5	0.20	0.171	0.034

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.84$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	8	0.96	0.240	0.230
C. Orgánico	1	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.96	0.12	0.169	0.020
Mg de cambio	1.67	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 = 3.01$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	1.08	0.23	0.435	0.100
Proteasa	1.16	0.16	0.435	0.070
Deshidrogenasa	42.32	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	42.3	0.24	0.311	0.075
C de biomasa	34.5	0.12	0.254	0.030
Cbio/COT	0.21	0.79	0.254	0.201
qCO ₂	0.05	0.95	0.254	0.241

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.56$$

Suelo 21 – Villar del Horno**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	37.8	0.94	0.230	0.216
Illita	94	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.54	0.02	0.198	0.004
Arcilla	19.3	0.57	0.174	0.099
Porosidad	34.1	0.69	0.174	0.120
Punto de marchitez	12.3	0.61	0.156	0.095
Profundidad efectiva	55	0.64	0.156	0.100
Limo	20.4	0.33	0.125	0.041
Arena muy gruesa	5.3	0.09	0.118	0.011
Esmectita	1	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.118	0.110

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.51$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa	0.5	0.00	0.276	0.000
Arena media	10.8	0.26	0.276	0.072
Arcilla	24.3	0.73	0.195	0.142
Porosidad	22.4	0.19	0.194	0.037
Caolinita	11	0.44	0.173	0.076
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina	44	1.00	0.161	0.161
illita	89	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.94$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
C. Orgánico	1.68	0.24	0.415	0.100
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	12	0.70	0.241	0.169
Carbonatos	41.3	0.22	0.241	0.053
Caliza activa	8	0.96	0.241	0.231
pH agua	8.3	0.29	0.172	0.050
Conductividad eléctrica	0.18	1.00	0.172	0.172
K asimilable	34	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	2.5	0.20	0.171	0.034

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.38$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	26	0.00	0.240	0.000
C. Orgánico	0.5	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.5	0.24	0.193	0.046
K de cambio	0.64	0.01	0.169	0.002
Mg de cambio	2.77	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 0.48$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	0.69	0.14	0.435	0.061
Proteasa	0	0.00	0.435	0.000
Deshidrogenasa	52.18	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	31.7	0.18	0.311	0.056
C de biomasa	17.12	0.06	0.254	0.015
Cbio/COT	0.1	0.90	0.254	0.229
qCO ₂	0.08	0.92	0.254	0.234

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.02$$

Suelo 22 - Alcudia**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Arena muy fina	22.4	0.61	0.230	0.140
lilta	85	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	1.74	0.21	0.198	0.042
Arcilla	13.3	0.36	0.174	0.063
Porosidad	24.8	0.29	0.174	0.050
Punto de marchitez	8.1	0.27	0.156	0.042
Profundidad efectiva	35	0.23	0.156	0.036
Limo	18	0.24	0.125	0.030
Arena muy gruesa	3.5	0.05	0.118	0.006
Esmectita	2	0.00	0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.88$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	0.1	0.00	0.276	0.000
Arena media	17.4	0.46	0.276	0.127
Arcilla	18.3	0.53	0.195	0.103
Porosidad	23.6	0.24	0.194	0.047
Caolinita	17	0.71	0.173	0.123
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	40.8	0.98	0.161	0.158
illita	81	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.25$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C. Orgánico	1.57	0.16	0.415	0.066
Na asimilable	2.5	0.00	0.415	0.000
C/N	9.8	0.89	0.241	0.214
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	6.4	0.98	0.172	0.169
Conductividad eléctrica	0.18	1.00	0.172	0.172
K asimilable	11	0.99	0.171	0.169
P ₂ O ₅ asimilable	1	0.00	0.171	0.000

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.68$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.81	0.00	0.231	0.000
pH agua	5.4	0.42	0.193	0.081
K de cambio	0.33	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	1.34	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.21$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	1.48	0.31	0.435	0.135
Proteasa	3.38	0.47	0.435	0.204
Deshidrogenasa	37.07	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	18.9	0.11	0.311	0.034
C de biomasa	47.34	0.16	0.254	0.041
Cbio/COT	0.32	0.68	0.254	0.173
qCO ₂	0.02	0.98	0.254	0.249

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.09$$

Suelo 23 – La Galiana**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	44.1	1.00	0.230	0.230
Illita	74	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.96	0.08	0.198	0.016
Arcilla	11.3	0.29	0.174	0.050
Porosidad	38.3	0.83	0.174	0.144
Punto de marchitez	11.5	0.54	0.156	0.084
Profundidad efectiva	46	0.44	0.156	0.069
Limo	29.6	0.68	0.125	0.085
Arena muy gruesa	1.2	0.00	0.118	0.000
Esmectita	11	0.32	0.118	0.038
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.55$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa	2.6	0.02	0.276	0.006
Arena media	14.1	0.36	0.276	0.099
Arcilla	13.3	0.36	0.195	0.070
Porosidad	34.3	0.69	0.194	0.134
Caolinita	20	0.83	0.173	0.144
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina	27.1	0.73	0.161	0.118
illita	80	0.00	0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.45$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	1.76	0.29	0.415	0.120
Na asimilable	1	0.00	0.415	0.000
C/N	12.6	0.64	0.241	0.154
Carbonatos	41.3	0.22	0.241	0.053
Caliza activa	12.5	0.69	0.241	0.166
pH agua	8.2	0.31	0.172	0.053
Conductividad eléctrica	0.18	1.00	0.172	0.172
K asimilable	51	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	25	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.74$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	11.5	0.76	0.240	0.182
C. Orgánico	1.37	0.07	0.231	0.016
pH agua	8.3	0.29	0.193	0.056
K de cambio	1.06	0.21	0.169	0.035
Mg de cambio	5.02	0.52	0.168	0.087

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.77$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	1.94	0.41	0.435	0.178
Proteasa	1.49	0.21	0.435	0.091
Deshidrogenasa	93.29	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	34.5	0.20	0.311	0.062
C de biomasa	38.56	0.13	0.254	0.033
Cbio/COT	0.22	0.78	0.254	0.198
qCO ₂	0.04	0.96	0.254	0.244

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.96$$

Suelo 24 - Balazote**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	25.8	0.69	0.230	0.159
lilta	0	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración			0.198	0.000
Arcilla	15	0.41	0.174	0.071
Porosidad	22	0.18	0.174	0.031
Punto de marchitez	7.3	0.21	0.156	0.033
Profundidad efectiva	38	0.28	0.156	0.044
Limo	27	0.58	0.125	0.073
Arena muy gruesa	0.3	0.00	0.118	0.000
Esmectita	11	0.32	0.118	0.038
Densidad real	2.4	0.62	0.118	0.073

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.95$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa	0.1	0.00	0.276	0.000
Arena media	14.1	0.36	0.276	0.099
Arcilla	19	0.56	0.195	0.109
Porosidad	27.7	0.42	0.194	0.081
Caolinita	0	0.00	0.173	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.173	0.126
Arena fina	42.4	0.99	0.161	0.159
illita	0	0.00	0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.58$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.98	0.01	0.415	0.004
Na asimilable	1.5	0.00	0.415	0.000
C/N	14	0.50	0.241	0.121
Carbonatos	66.9	0.00	0.241	0.000
Caliza activa	11.5	0.76	0.241	0.183
pH agua	8	0.37	0.172	0.064
Conductividad eléctrica	0.16	1.00	0.172	0.172
K asimilable	28	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	17.5	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.95$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	8	0.96	0.240	0.230
C. Orgánico	0.63	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	0.44	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	3.56	0.00	0.168	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.80$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	2.65	0.55	0.435	0.239
Proteasa	1.39	0.19	0.435	0.083
Deshidrogenasa	45.17	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	44.3	0.25	0.311	0.078
C de biomasa	16.31	0.06	0.254	0.015
Cbio/COT	0.17	0.83	0.254	0.211
qCO ₂	0.11	0.89	0.254	0.226

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.16$$

Suelo 25 – Manchuela de Cuenca**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	27.4	0.74	0.230	0.170
Illita			0.198	0.000
Tasa de infiltración			0.198	0.000
Arcilla	4	0.08	0.174	0.014
Porosidad	23.1	0.22	0.174	0.038
Punto de marchitez			0.156	0.000
Profundidad efectiva	75	1.00	0.156	0.156
Limo	16	0.58	0.125	0.073
Arena muy gruesa	0	0.00	0.118	0.000
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	2.3	0.73	0.118	0.086

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.04$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa			0.276	0.000
Arena media			0.276	0.000
Arcilla	55.8	0.95	0.195	0.185
Porosidad			0.194	0.000
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	1.9	1.00	0.173	0.173
Arena fina			0.161	0.000
illita			0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.23$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.4	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	9.2	0.00	0.415	0.000
C/N	8	1.00	0.241	0.241
Carbonatos	13.5	0.99	0.241	0.239
Caliza activa	3.1	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.3	0.29	0.172	0.050
Conductividad eléctrica	0.22	1.00	0.172	0.172
K asimilable	15.6	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	2.5	0.20	0.171	0.034

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.13$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	2.4	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.2	0.00	0.231	0.000
pH agua	7.9	0.41	0.193	0.079
K de cambio	0.8	0.04	0.169	0.007
Mg de cambio	1.68	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.26$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	1.88	0.39	0.435	0.170
Proteasa	0.37	0.05	0.435	0.022
Deshidrogenasa	20.63	0.91	0.311	0.283
Respiración microbiana	28.8	0.16	0.311	0.050
C de biomasa	320.95	1.00	0.254	0.254
Cbio/COT	7.64	0.00	0.254	0.000
qCO ₂	0	1.00	0.254	0.254

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.58$$

Suelo 26 – Las Tiasas**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	61.3	0.88	0.230	0.202
lilta			0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.12	0.00	0.198	0.000
Arcilla	37.7	1.00	0.174	0.174
Porosidad	30	0.52	0.174	0.090
Punto de marchitez	15.2	0.85	0.156	0.133
Profundidad efectiva	15	0.00	0.156	0.000
Limo	48.9	0.97	0.125	0.121
Arena muy gruesa	0.1	0.00	0.118	0.000
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	2	1.00	0.118	0.118

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.75$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy gruesa			0.276	0.000

Arena media			0.276	0.000
Arcilla	37.9	1.00	0.195	0.195
Porosidad	26.3	0.36	0.194	0.070
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	1.9	1.00	0.173	0.173
Arena fina illita			0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.72$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
C. Orgánico	0.9	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	32.2	0.44	0.415	0.183
C/N	6.9	1.00	0.241	0.241
Carbonatos	26.4	0.85	0.241	0.205
Caliza activa	2.6	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.1	0.34	0.172	0.058
Conductividad eléctrica	0.33	1.00	0.172	0.172
K asimilable	67.5	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	5.7	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 6.44$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Caliza activa	4.2	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.7	0.00	0.231	0.000
pH agua	7.9	0.41	0.193	0.079
K de cambio	0.3	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	2.74	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.19$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	$I.N \times C.p$
Catalasa	2.71	0.57	0.435	0.248
Proteasa	1.8	0.25	0.435	0.109
Deshidrogenasa	63.5	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	35.2	0.20	0.311	0.062
C de biomasa	42.12	0.15	0.254	0.038
Cbio/COT	0.46	0.54	0.254	0.137
qCO ₂	0.03	0.97	0.254	0.246

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.11$$

Suelo 27 - Casa del Brocal**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	74.5	0.57	0.230	0.131
Illita			0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.18	0.00	0.198	0.000
Arcilla	20.7	0.62	0.174	0.108
Porosidad	25	0.29	0.174	0.050
Punto de marchitez	16.7	0.94	0.156	0.147
Profundidad efectiva	21	0.03	0.156	0.005
Limo	44.5	0.99	0.125	0.124
Arena muy gruesa	0.2	0.00	0.118	0.000
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	2	1.00	0.118	0.118

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.87$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa			0.276	0.000
Arena media			0.276	0.000
Arcilla	22.9	0.69	0.195	0.135
Porosidad	21.1	0.14	0.194	0.027
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	2.1	0.93	0.173	0.161
Arena fina			0.161	0.000
illita			0.161	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.00$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.7	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	2.3	0.00	0.415	0.000
C/N	7	1.00	0.241	0.241
Carbonatos	30.1	0.73	0.241	0.176
Caliza activa	0.6	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.5	0.24	0.172	0.041
Conductividad eléctrica	0.09	1.00	0.172	0.172
K asimilable	34	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	3.4	0.66	0.171	0.113

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 5.16$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	13.1	0.64	0.240	0.154
C. Orgánico	0.4	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.6	0.22	0.193	0.042
K de cambio	0.11	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	0.69	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \frac{\sum(I.N \times C.p)}{\sum C.p} \times 10 = 1.96$$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	2.77	0.58	0.435	0.252
Proteasa	0.7	0.09	0.435	0.039
Deshidrogenasa	46.67	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	27.2	0.15	0.311	0.047
C de biomasa	300.62	1.00	0.254	0.254
Cbio/COT	4.23	0.00	0.254	0.000
qCO ₂	0	1.00	0.254	0.254

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \frac{\sum(I.N \times C.p)}{\sum C.p} \times 10 = 5.13$$

Suelo 28 – Don Martín**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Arena muy fina	38.2	0.95	0.230	0.219
Illita			0.198	0.000
Tasa de infiltración	0.18	0.00	0.198	0.000
Arcilla	22.2	0.67	0.174	0.117
Porosidad	31.8	0.59	0.174	0.103
Punto de marchitez	9.9	0.41	0.156	0.064
Profundidad efectiva	30	0.15	0.156	0.023
Limo	27.3	0.59	0.125	0.074
Arena muy gruesa	0	0.00	0.118	0.000
Esmectita			0.118	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.118	0.099

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \frac{\sum(I.N \times C.p)}{\sum C.p} \times 10 = 3.95$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	------------------

Arena muy gruesa			0.276	0.000
Arena media			0.276	0.000
Arcilla	20.9	0.62	0.195	0.121
Porosidad	28.6	0.46	0.194	0.089
Caolinita			0.173	0.000
Densidad real	2.2	0.84	0.173	0.145
Arena fina illita			0.161 0.161	0.000 0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.21$$

Propiedades químicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	0.6	0.00	0.415	0.000
Na asimilable	2.4	0.00	0.415	0.000
C/N	8.6	0.97	0.241	0.234
Carbonatos	46.9	0.08	0.241	0.019
Caliza activa	4.2	1.00	0.241	0.241
pH agua	8.5	0.24	0.172	0.041
Conductividad eléctrica	0.19	1.00	0.172	0.172
K asimilable	20.6	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	6.4	1.00	0.171	0.171

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.69$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Caliza activa	4.6	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.6	0.00	0.231	0.000
pH agua	8.4	0.26	0.193	0.050
K de cambio	4.41	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	0.49	0.00	0.168	0.000

$$I_{CH.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 2.89$$

Propiedades biológicas y bioquímicas

Horizonte superficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Catalasa	0.74	0.15	0.435	0.065
Proteasa	1.52	0.21	0.435	0.091
Deshidrogenasa	34.64	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	74.9	0.43	0.311	0.134
C de biomasa	168.5	0.58	0.254	0.147
Cbio/COT	2.37	0.00	0.254	0.000
qCO ₂	0.02	0.98	0.254	0.249

$$I_{CH.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.43$$

Suelo 29 - Cabañeros**Propiedades físicas y mineralógicas****Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy fina	51.7	0.99	0.230	0.228
Illita	1	0.00	0.198	0.000
Tasa de infiltración	10.44	1.00	0.198	0.198
Arcilla	4.3	0.08	0.174	0.014
Porosidad	40.2	0.89	0.174	0.155
Punto de marchitez			0.156	0.000
Profundidad efectiva	85	1.00	0.156	0.156
Limo	9.6	0.03	0.125	0.004
Arena muy gruesa	2.8	0.03	0.118	0.004
Esmectita	0	0.00	0.118	0.000
Densidad real	1.8	1.00	0.118	0.118

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 4.96$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
Arena muy gruesa	1.6	0.00	0.276	0.000
Arena media	7.1	0.15	0.276	0.041
Arcilla	14.3	0.39	0.195	0.076
Porosidad	17.4	0.02	0.194	0.004
Caolinita	50	0.48	0.173	0.083
Densidad real			0.173	0.000
Arena fina			0.161	0.000
illita			0.161	0.000

$$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 1.27$$

Propiedades químicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	I.N x C.p
C. Orgánico	3.72	0.99	0.415	0.411
Na asimilable	2.1	0.00	0.415	0.000
C/N	11.6	0.74	0.241	0.178
Carbonatos	0	1.00	0.241	0.241
Caliza activa	0	1.00	0.241	0.241
pH agua	6	0.74	0.172	0.127
Conductividad eléctrica	0.09	1.00	0.172	0.172
K asimilable	12.1	1.00	0.171	0.171
P ₂ O ₅ asimilable	10	1.00	0.171	0.171

$$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 7.65$$

Horizonte subsuperficial

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Caliza activa	0	1.00	0.240	0.240
C. Orgánico	0.52	0.00	0.231	0.000
pH agua	5.2	0.35	0.193	0.068
K de cambio	0.18	0.00	0.169	0.000
Mg de cambio	0.3	0.00	0.168	0.000

$IC_{H.SUBSUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 3.07$

Propiedades biológicas y bioquímicas**Horizonte superficial**

Indicador	Valor medido	Indicador Normalizado	Coefficiente ponderación	<i>I.N x C.p</i>
Catalasa	4.79	1.00	0.435	0.435
Proteasa	7.12	1.00	0.435	0.435
Deshidrogenasa	22.74	1.00	0.311	0.311
Respiración microbiana	175.91	1.00	0.311	0.311
C de biomasa	288.85	1.00	0.254	0.254
Cbio/COT	0.78	0.22	0.254	0.056
qCO ₂	0.03	0.97	0.254	0.246

$IC_{H.SUPERFICIAL} = \sum(I.N \times C.p) \times 10 / \sum C.p = 9.09$

Reunido el tribunal que suscribe en el día de la fecha, acordó calificar la presente Tesis doctoral con Sobresaliente cum laude por unanimidad.

MADRID 23/06/2006

Carlos Dorronsoro



Fdo: Francisca Gueno

