



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÓNOMA

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN CONTINUADA DE RESTOS DE
CULTIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL
SUELO EN UNA FINCA DE OLIVAR SITUADA EN EL T.M. DE
IBROS (JAEN)”**

ALUMNO:

FRANCISCO REYES REYES

ALMERÍA, OCTUBRE 2011

DIRECTOR:

DR. JUAN ANTONIO SÁNCHEZ GARRIDO

AGRADECIMIENTOS

Hace ya casi seis años me encontraba en la misma tesitura que hoy en día, y me acuerdo que juré y perjuré que jamás iba a pasar por lo mismo. Pues bien, como buen humano que soy y los humanos son los únicos animales que tropiezan en la misma piedra, aquí estoy de nuevo. En este caso me siento orgulloso de haber podido tropezar en esa piedra que me hizo volver a la Universidad para continuar mi formación académica. Y he aquí el resultado.

Pero todo esto no hubiera sido posible si no hubiera contado con el inestimable apoyo de mucha gente. Y es de buen nacido ser agradecido por lo que este trabajo lo dedico de todo corazón a todas esas personas que han estado a mi lado en todo momento y me han ayudado en todo lo que me ha hecho falta.

Sin bien, quisiera agradecer en particular este trabajo a mi familia, “canenera” y “goreña”, porque sólo ellos saben el trabajo y los esfuerzos que ha supuesto la superación de este reto. Muchas gracias.

También dar las gracias al director de este trabajo, Juan Antonio Sánchez Garrido, por su incalculable ayuda sin la cual este trabajo nunca hubiera llegado a su fin. Gracias.

Y como no dedicar este trabajo a todos los agricultores en general y a los olivereros en particular porque hoy más que nunca necesitan el apoyo de todos, para ayudarles a superar la situación tan injusta y difícil que están pasando. Va por ustedes señores.

“El suelo es un ente vivo al que hay que cuidar y mimar para que cuide de nuestros cultivos”

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.- Composición centesimal media aproximada en volumen y peso de un suelo superficial franco.....	28
Tabla 2.- Principales sistemas de clasificación fisico-mecánica del suelo.....	29
Tabla 3.- Grupos de compuestos más importantes del material originario de la materia orgánica del suelo.....	39
Tabla 4.- Propiedades generales de las sustancias húmicas.....	56
Tabla 5.- Criterios de clasificación del humus.....	61
Tabla 6.- Riqueza media de compost de lombriz.....	74
Tabla 7.- Valores sobre materia seca salvo pH, conductividad y humedad.....	89
Tabla 8.- Cálculo de PSI.....	127
Tabla 9.- Resultados bicarbonatos ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).....	128
Tabla 10.- Resultados nitratos ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).....	129
Tabla 11.- Resultados sulfatos ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).....	129
Tabla 12.- Resultados de cloruros ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).....	129
Tabla 13.- Resultados de K^+ en $\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$ en la solución del suelo.....	130
Tabla 14.- Resultados de Na^+ en $\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$ en la solución del suelo.....	130
Tabla 15.- Cálculo del RAS.....	130
Tabla 16.- Resultado de la relación C/N.....	131
Tabla 17.- Resultado EHT (%).....	132
Tabla 18.- Resultados AH (%).....	132
Tabla 19.- Resultados AF (%).....	133
Tabla 20.- Resultados Hum (%).....	133
Tabla 21.- Resultados COsol (%).....	133
Tabla 22.- Resultados índice de polimerización.....	134
Tabla 23.- Resultados grado de humificación (%).....	134
Tabla 24.- Analítica de la solución del suelo.....	135
Tabla 25.- Analítica de las bases de cambio.....	136
Tabla 26.- Caracterización de la materia orgánica del suelo y contenido en nitrógeno y fósforo.....	136

Tabla 27.- Índice de Polimerización y Grado de Humificación de la materia orgánica del suelo.....	137
Tabla 28.- Agua útil y contenido en carbonato cálcico.....	137
Tabla 29.- Resultados de la Dap.....	138
Tabla 30.- Densidad real.....	138
Tabla 31.- % Porosidad.....	138
Tabla 32.- Composición química utilizando una microsonda de rayos X tipo EDX	167

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1.- Pérdida de suelo por erosión de $t \cdot ha^{-1}$ en laboreo, no laboreo con suelo desnudo y cubierta vegetal.....	20
Gráfica 2.- El contenido de la materia orgánica de los suelos disminuye con años de laboreo.....	21
Gráfica 3.- Resultados de C.I.C. a lo largo del tiempo.....	140
Gráfica 4.- Evolución del PSI.....	141
Gráfica 5.- Medidas de bicarbonatos en $mmol_c \cdot l^{-1}$	142
Gráfica 6.- Medidas de carbonatos en $mmol_c \cdot l^{-1}$	143
Gráfica 7.- Evolución de los nitratos en $mmol_c \cdot l^{-1}$	144
Gráfica 8.- Comparativa entre los dos sistemas de manejo respecto a los sulfatos en $mmol_c \cdot l^{-1}$	145
Gráfica 9.- Evolución de cloruros.....	146
Gráfica 10.- Evolución del potasio en $mmol_c \cdot l^{-1}$	147
Gráfica 11.- Evolución del sodio en $mmol_c \cdot l^{-1}$	148
Gráfica 12.- Evolución del RAS.....	149
Gráfica 13.- Evolución del Calcio.....	150
Gráfica 14.- Evolución del Magnesio.....	150
Gráfica 15.- pH a lo largo del tiempo en los dos sistemas de manejo.....	151
Gráfica 16.- Resultado de N(%) para los dos sistemas de manejo del suelo.....	152
Gráfica 17.- Evolución del fósforo asimilable a lo largo del tiempo en los dos sistemas de manejo estudiados.....	153
Gráfica 18.- Comparación de la conductividad eléctrica entre los dos sistemas de manejo del suelo a lo largo del año.....	153
Gráfica 19.- Detalle de la evolución del C.O. en los dos sistemas.....	155
Gráfica 20.- Evolución de la relación C/N a lo largo del ensayo.....	155
Gráfica 21.- Detalle de la evolución de la materia orgánica.....	156
Gráfica 22.- Detalle EHT (%) a lo largo de la campaña.....	157
Gráfica 23.- Evolución de AH (%) a lo largo de la campaña.....	158
Gráfica 24.- Evolución de AF (%) a lo largo de la campaña.....	158
Gráfica 25.- Evolución Hum (%).....	159
Gráfica 26.- Evolución del grado de polimerización a lo largo	

de la campaña.....	160
Gráfica 27.- Evolución del grado de humificación a lo largo de la campaña.....	161
Gráfica 28.- En rojo está representado la Tn de CO ₂ /ha tanto en suelo con hoja como sin hoja. Y en azul está representado el porcentaje de superficie de cada clase existente en la parcela.....	162

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Procesos de formación de los suelos.....	27
Figura 2.- Fases y componentes fundamentales del suelo.....	28
Figura 3.- Principales tipos de animales que se encuentran en el suelo.....	30
Figura 4.- Evolución de la materia orgánica: esquema.....	48
Figura 5.- Propuesta de estructura química de molécula de ácido húmico.....	55
Figura 6.- Propuesta de estructura química de molécula de ácido fúlvico.....	56
Figura 7.- Fraccionamiento de las sustancias originales del suelo.....	57
Figura 8.- Cambios en el carbono orgánico del suelo inducidos por perturbación y posterior reaccumulación por aplicación de manejo de conservación.....	94
Figura 9.- Trozo de suelo incluido y pegado en el portaobjetos.....	121
Figura 10.- Trozo de suelo incluido, pegado en el portaobjetos y cortado finamente.....	121
Figura 11.- Trozo de suelo incluido, pegado en el portaobjetos, cortado finamente y desgastado a unas 30 micras.....	121
Figura 12.- Lámina de suelo incluido pulida y cubierta con un cubreobjetos	121
Figura 13.- Precipitaciones anuales en el periodo 2000-2010.....	141

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Detalle de cubierta vegetal inerte.....	19
Fotografía 2.- Lombriz de tierra.....	51
Fotografías 3, 4 y 5.- Mor, molder y mull.....	62
Fotografías 6 y 7.- Detalle del manto de material vegetal.....	68
Fotografía 8.- Lombriz compostando.....	73
Fotografía 9.- Detalle de la boca de expulsión de restos de poda triturada en una trituradora alimentada manualmente.....	90
Fotografía 10.- Detalle de una sopladora personal.....	90
Fotografía 11.- Perspectiva general de la parcela.....	96
Fotografía 12.- Vista aérea de la parcela.....	96
Fotografía 13.- Trabajo de limpieza de hoja bajo la copa del olivo.....	96
Fotografía 14.- Detalle de la hoja quemada en una parcela cercana.....	97
Fotografía 15.- Detalle de la hoja y restos de poda sobre la superficie.....	97
Fotografía 16.- Detalle del espesor de hoja acumulado a lo largo de los años..	97
Fotografía 17.- Perfil del suelo de la finca.....	98
Fotografía 18.- Cilindro utilizado para la toma de muestras.....	100
Fotografía 19.- Equipo de ollas de presión utilizado para la extracción del agua retenida en el suelo a distintas presiones.....	101
Fotografía 20.- Muestras de suelo que se introducen dentro de las ollas.....	101
Fotografía 21.- Montaje del infiltrómetro en la parcela con suelo desnudo.....	103
Fotografía 22.- Detalle de la toma de medidas de la velocidad de infiltración..	103
Fotografía 23.- Detalle de agitador mecánico.....	104
Fotografía 24.- Detalle de probetas y de la pipeta de doble enrase.....	104
Fotografía 25.- Detalle de los embudos de percolación.....	106
Fotografías 26.- Aparato de emisión atómica utilizado para la medida de Sodio y Potasio.....	107
Fotografía 27.- Aparato de absorción atómica utilizado para la medida de Calcio y Magnesio.....	108
Fotografía 28.- pH-metro.....	110
Fotografía 29.- Batería de digestión con sistema de extracción de humos.....	111

Fotografía 30.- Destilador automático.....	112
Fotografía 31.- Calcímetro de dos columnas.....	113
Fotografía 32.- Detalle de extracción del extracto de saturación.....	115
Fotografía 33.- Conductivímetro.....	115
Fotografía 34.- Espectro fotómetro U.V.....	117
Fotografía 35.- Muestras tras el filtrado del suelo con pirofosfato de sodio.....	117
Fotografías 36 y 37.- Precipitado tras adición de H ₂ SO ₄	118
Fotografías 38 y 39.- Baño maría y detalle de precipitados.....	118
Fotografías 40 y 41.- Extracto obtenido tras lavado de NaOH 0,05 N.....	119
Fotografía 42.- Valoración de muestras.....	120
Fotografía 43.- Lámina delgada.....	120
Fotografía 44.- Imagen de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) a presión variable	163
Fotografía 45.- Aspecto de la masa fina del suelo en la que se puede observar la práctica ausencia de colores de interferencia	164
Fotografía 46.- Fotografía tomada por SEM a presión variable, donde se muestra una grieta como consecuencia de fenómenos de desecación de la matriz fina del suelo	164
Fotografía 47.- Ejemplo de cavidad	164
Fotografía 48.- Láminas delgadas para observación en microscopio donde se aprecia las diferencias entre las láminas con mayor contenido en materia orgánica (muestra de calle) y las que menos (bulbo y periferia de bulbo).	165
Fotografía 49.- Aspecto de la materia orgánica incorporándose a la matriz inorgánica del suelo en la calle	165
Fotografía 50.- Aspecto general de la muestra de calle por SEM en modo alto vacío	166
Fotografía 51.- Aspecto general de la muestra de calle, donde se observa la incorporación de los restos orgánicos al suelo.....	166

C.2.9.- Recolección.....	25
C.3.- EL SUELO.....	25
C.3.1.- Definición del suelo.....	26
C.3.2.- Funciones del suelo.....	27
C.3.3.- El suelo como sistema disperso.....	28
C.3.4.- La función de las características físicas y químicas del suelo.....	31
C.3.5.- La importancia de la fertilización.....	32
C.3.5.1.- Fertilidad y fertilización.....	34
C.3.5.2.- Los fertilizantes.....	36
C.3.6.- Caracterización de los suelos de la zona.....	38
C.4.- LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	38
C.4.1.- Historia de la investigación de la materia orgánica.....	40
C.4.2.- Naturaleza de la materia orgánica del suelo.....	48
C.4.3.- La materia orgánica fresca o lábil.....	51
C.4.4.- Sustancias húmicas propiamente dichas.....	52
C.4.5.- Naturaleza de las sustancias húmicas.....	53
C.4.5.1.- Huminas.....	53
C.4.5.2.- Ácidos húmicos.....	54
C.4.5.3.- Ácidos fúlvicos.....	55
C.4.6.- Efectos de las sustancias húmicas.....	57
C.4.6.1.- Utilización de las sustancias húmicas en olivar.....	59
C.4.7.- Formación de humus. Tipos de humus.....	60
C.4.8.- Factores que condicionan la transformación de la materia orgánica.....	63
C.4.9.- La importancia del nitrógeno y la relación C/N.....	64
C.4.10.- Influencia del humus sobre la fertilidad del suelo.....	66
C.5.- ENMIENDAS ORGÁNICAS.....	69
C.5.1.- Residuo.....	70
C.5.1.1.- Concepto.....	70
C.5.1.2.- Clasificación.....	71
C.5.1.2.1.- Residuos del sector primario.....	71
C.5.1.2.2.- Residuos de industrias agroalimentarias y afines.....	74
C.5.1.2.3.- Residuos de origen urbano.....	77
C.5.1.2.4.- Residuos de plantas acuáticas.....	78
C.5.1.2.5.- Restos forestales.....	78
C.5.1.2.6.- Restos de cosechas.....	79

C.5.2.- Tratamientos.....	83
C.5.3.- El compostaje.....	85
C.5.4.- Restos de cosecha de olivar.....	87
C.6.- SECUESTRO DEL CARBONO.....	91
D.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	96
D.1.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PARCELA.....	96
D.2.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LA PARCELA.....	98
D.3.- DENSIDAD APARENTE.....	99
D.4.- CÁLCULO DEL CONTENIDO EN HUMEDAD DE UN SUELO.....	100
D.5.- VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	102
D.6.- TEXTURA.....	103
D.7.- DETERMINACIÓN DE LAS BASES Y DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO.....	105
D.8.- ANIONES.....	108
D.9.- DETERMINACIÓN DEL POTASIO ASIMILABLE.....	109
D.10.- REACCIÓN DEL SUELO: MEDIDA DE pH.....	109
D.11.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL DEL SUELO.....	110
D.12.- DETERMINACIÓN DEL CARBONATO CÁLCICO EQUIVALENTE.....	112
D.13.- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	113

D.14.- DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO ASIMILABLE.....	115
D.15.- EXTRACCIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS.....	117
D.15.1.- Determinación del contenido total de carbono Orgánico en el extracto.....	117
D.15.2.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos húmicos en el extracto.....	118
D.15.3.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos fúlvicos en el extracto.....	119
D.15.4.- Determinación del contenido de carbono en el resto del suelo.....	119
D.16.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS Y SOLUCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE TYURIN.....	119
D.17.- PREPARACIÓN MUESTRA DE SUELO PARA ESTUDIO POR MICROSCOPIA. LÁMINA DELGADA.....	120
E.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	123
E.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL PERFIL DEL SUELO.....	123
E.1.1.- Características físicas del suelo.....	125
E.1.2.- Características químicas del suelo.....	126
E.1.2.1.- Bases de cambio y capacidad intercambio catiónico.....	126
E.1.2.2.- Solución del suelo.....	128
E.1.2.2.1.- Aniones.....	128
E.1.2.2.1.1.- Carbonatos.....	128
E.1.2.2.1.2.- Bicarbonatos.....	128
E.1.2.2.1.3.- Nitratos.....	129
E.1.2.2.1.4.- Sulfatos.....	129
E.1.2.2.1.5.- Cloruros.....	129
E.1.2.2.2.- Cationes.....	130
E.1.2.2.2.1.- Potasio.....	130
E.1.2.2.2.2.- Sodio.....	130
E.1.2.2.2.3.- Calcio.....	130
E.1.2.2.2.4.- Magnesio.....	131

E.1.2.3.- Determinación del contenido total de carbono orgánico en suelos y soluciones según el método de Tyurin.....	131
E.1.2.4.- Relación C/N.....	131
E.1.2.5.- Determinación del contenido total de carbono Orgánico en el extracto.....	132
E.1.2.6.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos húmicos en el extracto.....	132
E.1.2.7.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos fúlvicos del extracto.....	133
E.1.2.8.- Determinación de huminas.....	133
E.1.2.9.- Determinación de materia orgánica soluble en ácidos minerales.....	133
E.1.2.10.- Índice de polimerización (%AH/%AF).....	134
E.1.2.11.- Grado humificación (AH+AF+Hum/CO _{total}).....	134
E.2.- RESULTADO DEL ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE DOS SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO.....	135
E.2.1.- Características físicas.....	138
E.2.1.1.- Densidad aparente.....	138
E.2.1.2.- Velocidad de infiltración.....	139
E.2.1.3.- Agua útil.....	139
E.2.2.- Características químicas.....	140
E.2.2.1.- Diferencia en las Bases y Capacidad de Cambio Catiónico entre los dos sistemas de manejo a lo largo del periodo de tiempo de estudio.....	140
E.2.2.2.- La solución del suelo.....	142
E.2.2.2.1.- Aniones.....	142
E.2.2.2.1.1.- Bicarbonatos.....	142
E.2.2.2.1.2.- Carbonatos.....	143
E.2.2.2.1.3.- Nitratos.....	144
E.2.2.2.1.4.- Sulfatos.....	144
E.2.2.2.1.5.- Cloruros.....	146
E.2.2.2.2.- Cationes.....	146
E.2.2.2.2.1.- Potasio.....	146
E.2.2.2.2.2.- Sodio.....	148
E.2.2.2.2.3.- Calcio.....	150
E.2.2.2.2.4.- Magnesio.....	150
E.2.2.3.- La reacción del suelo.....	151

E.2.2.4.- Nitrógeno total en el suelo.....	151
E.2.2.5.- Niveles de fósforo asimilable.....	153
E.2.2.6.- La conductividad eléctrica.....	153
E.2.2.7.- Evolución de la materia orgánica en el suelo.....	154
E.2.2.7.1- Determinación del contenido total de carbono orgánico en suelos y soluciones según el método de Tyurin.....	154
E.2.2.7.2.- Relación C/N.....	155
E.2.2.7.3- Niveles de materia orgánica (%).....	156
E.2.2.7.4.- Determinación del contenido total de carbono orgánico en el extracto.....	157
E.2.2.7.5.- Determinación del contenido de carbono orgánico en el extracto.....	158
E.2.2.7.6.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos fúlvicos del extracto.....	158
E.2.2.7.7.- Determinación de huminas.....	159
E.2.2.7.8.- Índice de polimerización (%AH/%AF).....	160
E.2.2.7.9- Grado de humificación (AH+AF+Hum/CO _{total}).....	160
E.2.2.7.10.- secuestro del carbono.....	162
E.3.- RESULTADOS ESTUDIO MICROSCÓPICO.....	163
F. CONCLUSIONES.....	168
G. BIBLIOGRAFÍA.....	169
G.1.- ENLACES DE INTERNET.....	181

B. INTERÉS Y OBJETIVOS

B.- INTERÉS Y OBJETIVOS.

B.1.- INTERÉS.

La agricultura convencional, que se practica en los países desarrollados y en las grandes explotaciones de los países en vías de desarrollo, se basa fundamentalmente en la aportación de fertilizantes químicos para la restitución de elementos nutritivos del suelo y sus principales características son (Fuentes, 1999):

- Pocas restituciones de residuos, ya que la mayor parte de la biomasa producida sale de los agrosistemas y una gran parte de los residuos generados (urbanos e industriales) no vuelven a los agrosistemas.
- Empleo abusivo de fertilizantes y productos fitosanitarios.
- Cultivo de especies mejoradas, con predominio del monocultivo.
- Mecanización muy avanzada.
- Elevado consumo de energía.

Esta agricultura ha tenido unos logros indiscutibles, entre los que destacan: aumentos espectaculares de las producciones agrícolas y ganaderas, disminución de los costes de producción y conseguir que el trabajo agrícola sea mucho menos penoso. Pero también ha provocado impactos negativos en los ecosistemas, como consecuencia de la especialización de los cultivos, con la disminución del número de especies cultivadas, y la disminución de la explotación mixta agrícola-ganadera, con separación del cultivo vegetal de la cría animal.

Frente a la agricultura convencional, que entre otras cosas ha descuidado el papel decisivo de la materia orgánica, han surgido las denominadas agriculturas alternativas. (Fuentes, 1999).

Podemos deducir, que la alteración de la fracción orgánica, llevada a cabo por una agricultura intensiva y descuidada, va unida a una disminución importante de su fertilidad global y como consecuencia va también unida, a una pérdida grave de la capacidad productiva funcional de los suelos agrícolas (Labrador, 1996).

En una agricultura sostenible, la fertilidad del suelo comportaría un estado de eficacia de los elementos nutritivos, conservando a la vez la estabilidad del suelo frente a los procesos de degradación; así pues, una fertilización racional se propondría conservar o aumentar la fertilidad del suelo, para lo cual es indispensable asegurar un buen nivel de humus, incrementando notablemente la capacidad de intercambio catiónico (Fuentes, 1999).

La materia orgánica es esencial para una correcta fertilidad del suelo, varios autores coinciden en que los suelos cultivados están formados por materias minerales y orgánicas, y se resalta a la vez, que sin un contenido adecuado de materia orgánica, el suelo no presenta las características adecuadas para ser soporte de los cultivos.

La importancia que se reconoce a la materia orgánica deriva de su intervención en procesos de tanta trascendencia para el comportamiento del suelo y crecimiento de las plantas y organismos del suelo como son: formación y estabilización de los agregados, capacidad de retención de humedad, diversos procesos edafogénicos y protección contra la degradación del suelo por erosión (Porta, 2003).

La materia orgánica forma parte del ciclo del nitrógeno, del azufre y del fósforo, contribuye a la asimilación de nutrientes, mejora la estructura y retención del agua del suelo y da soporte a todo un mundo de microorganismos cuya actividad resulta beneficiosa para el cultivo (Terralia, nº 8).

Los componentes orgánicos del suelo proceden de la acumulación de restos y residuos de plantas y animales, de la descomposición de los tejidos orgánicos, por acción mecánica de la fauna y microorganismos, la degradación o descomposición de moléculas orgánicas complejas a compuestos orgánicos más sencillos y la reorganización de algunos productos de la degradación (Porta, 2003). Tiene su origen en los restos vegetales, animales y microorganismos que se acumulan en el suelo o se incorporan a él y que están sometidos continuamente a procesos de transformación, bajo la acción de factores edáficos y biológicos (Fuentes, 1999).

En la actualidad se ha descuidado el papel de la pérdida de materia orgánica, principalmente por el uso continuado de agroquímicos, que han dejado a un lado costumbres agro-culturales muy interesantes como puede ser la aplicación al suelo de estiércoles compostados, restos vegetales del propio cultivo, estercolados durante algún tiempo e incorporados posteriormente al suelo, etc. Fueron dejados a un lado por la mayor rentabilidad que le ofrecían los adelantos químicos.

Sin embargo, hoy en día se está invirtiendo esa rentabilidad, a causa del desarrollo tecnológico y su fácil aplicación al sector agrícola, y a la necesidad de esa materia orgánica para mantener las propiedades fisico-químicas del suelo e incluso mejorarlas.

En el campo de la olivicultura ha ocurrido lo mismo que en el resto de cultivos. Se ha desarrollado de forma espectacular gracias al uso continuado de fertilizantes químicos y productos fitosanitarios, pero se ha llegado a un punto en el que cabe plantearse mantener ese desarrollo con prácticas alternativas, menos agresivas e incluso beneficiosas para el agrosistema.

Este trabajo está encaminado, dentro de la olivicultura, al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por el propio cultivo, mediante el picado de los mismos y su posterior esparcimiento por las calles, a modo de enmienda vegetal inerte.

Hasta ahora, los restos de poda y hojas eran quemados en el propio olivar, con el riesgo de combustión, parcial o total, de olivos próximos, de contaminación atmosférica a causa de los humos desprendidos y como consecuencia el favorecimiento del efecto invernadero, un mayor coste económico por esta actividad al agricultor, etc. Con la trituración de los restos de poda se pueden evitar los problemas anteriores y enriquecer las propiedades edafológicas. Por otra parte, en las últimas décadas y sobre todo después del Protocolo de Kyoto, se ha puesto de manifiesto la relevancia del papel del suelo en la regulación del ciclo del carbono (Lal y col., 1998). Por lo que en este trabajo se va a cuantificar la cantidad de carbono capturado por el suelo desnudo, o sometido a enmienda orgánica con los propios residuos vegetales del cultivo de olivar.

También es conocida la dificultad que tienen las almazaras para desprenderse de los restos de cosecha provenientes de sus líneas de limpieza. Este problema puede ser paliado con el esparcimiento de esos restos en los olivares. No obstante, esta forma de enmienda

orgánica se encarece por la suma del transporte desde la almazara hasta el olivar correspondiente. Coste que no tienen los restos que se producen en el propio olivar.

B.2.- OBJETIVOS.

Los objetivos principales de este proyecto, son:

- Aprovechamiento de restos de poda y hojas continuada sobre el suelo de olivar, en un intento de devolver al suelo lo que es del suelo y de mejorar sus propiedades físico-químicas, que han sido deterioradas debido a su mal manejo durante muchos años.

- Comparar dos sistemas de manejo de suelo de olivar, uno de ellos con enmienda orgánica vegetal inerte a base de los propios residuos orgánicos del olivar y otro desnudo sin laboreo.

- Valorar la cantidad de carbono secuestrado por el suelo desnudo y con cubierta vegetal inerte.

C. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

C.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

C.1.- INTRODUCCIÓN:

Esta revisión pretende ser un resumen de la información existente, relativa al enriquecimiento nutricional del suelo como consecuencia de un aporte de materia orgánica fresca, así como la variación de las propiedades físico-químicas del mismo.

La estructura seguida para la elaboración de la revisión bibliográfica, comienza con la descripción del cultivo: el olivo, realizando una descripción detallada de la especie, de su distribución geográfica, de las técnicas de cultivo, etc.

En un segundo capítulo se describe el suelo: las características físico-químicas de este y el comportamiento de la materia orgánica en el suelo.

En el tercer capítulo se revisará el origen y constituyentes de la materia orgánica.

Seguidamente un cuarto capítulo sobre la aplicación de esa materia orgánica en suelos agrícolas, es decir, las diferentes enmiendas orgánicas existentes y la necesidad de devolver los residuos orgánicos al suelo. Dando una importancia mayor a los restos generados por el olivar.

Y finalmente un quinto capítulo sobre la capacidad de retención de carbono orgánico en el suelo mediante el uso de este manejo del suelo.

C.2.- EL CULTIVO: EL OLIVO:

C.2.1.- DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO

C.2.1.1.- Taxonomía del olivo:

El olivo, *Olea europaea* L., pertenece a la familia botánica Oleaceae, que comprende especies de plantas distribuidas por las regiones tropicales y templadas del mundo. Las plantas de esta familia son mayormente árboles y arbustos, a veces trepadores. Muchas de ellas producen aceites esenciales en sus flores o frutos, algunos de los cuales son utilizados por el hombre.

Hay unas 35 especies en el género *Olea*. Incluida en la especie *Olea europaea* L. están todos los olivos cultivados y también los acebuches u olivos silvestres. Se considera que los olivos cultivados pertenecen a la subespecie *sativa* y los olivos silvestres o acebuches a la subespecie *sylvestris*.

Olea europaea L., el olivo, es la única especie de la familia Oleaceae con fruto comestible. Es una de las plantas cultivadas más antiguas, cuyos orígenes como cultivo son de unos 4000-3000 años antes de Cristo en la zona de Palestina. Actualmente el 95% del área mundial cultivada se encuentra en el área mediterránea.

a) Estructuras vegetativas:

El árbol

El olivo cultivado es un árbol de tamaño mediano, de unos 4 a 8 metros de altura, según la variedad, y la costumbre de la zona de cultivo. Puede permanecer vivo y productivo durante cientos de años. El tronco es grueso y la corteza de color gris a verde grisáceo. La copa es redondeada, aunque más o menos lobulada; la ramificación natural tiende a producir una copa bastante densa, pero las diversas prácticas de poda sirven para aclararla y permitir la penetración de la luz. Caracteres del árbol como la densidad de la copa, el porte, el color de la madera y la longitud de los entrenudos varían según el cultivar. También la forma del árbol es influida en gran medida por las condiciones agronómicas y ambientales de su crecimiento y, en particular, por el tipo de poda; en este sentido, el olivo demuestra una gran plasticidad morfogenética.

El olivo es un árbol polimórfico, con fases juvenil y adulta. Las diferencias entre estas fases se manifiestan en la capacidad reproductora (solamente en fase adulta), en el potencial para el enraizamiento (mayor en la fase juvenil) y en diferencias morfológicas en las hojas y ramos. Las hojas juveniles son más cortas y gruesas, y los ramos con entrenudos más cortos. La transición del estado juvenil al adulto no es solamente temporal, a partir de los 5-8 años en árboles que se han originado de semillas, sino también espacial, siendo las zonas más cercanas al suelo las más juveniles. Por ejemplo, las varetas que frecuentemente salen de la base del tronco tienen un estado más juvenil que los ramos que se forman en las partes superiores del árbol.

La hoja

Las hojas del olivo son persistentes y normalmente sobreviven dos o tres años, aunque también permanecen en el árbol hojas de mayor edad. Son simples, de forma lanceolada y con bordes enteros. El limbo tiene una longitud entre 3 y 9 cm y una anchura entre 1 – 1,8 cm. La nervadura central es muy marcada y las secundarias muy poco aparentes. El pecíolo es muy corto, llegando apenas a medio centímetro de longitud. En cada nudo aparecen dos hojas opuestas y los planos de las hojas de dos nudos consecutivos se disponen entre sí a 90°. Esta disposición se denomina decusada.

La estructura anatómica de la hoja del olivo sirve para su adaptación a ambientes de alta transpiración, es decir, para protegerla de la pérdida del agua. Por el haz, la superficie superior, las hojas son de color verde-oscuro y brillan debido a la presencia de una gruesa cutícula. El envés, la superficie inferior, tiene un color blanco-plateado porque está cubierto por pelos aparasolados. Estos tricomas especiales, también conocidos como escamas peltadas, tienen una forma parecida a un parasol con un soporte cubierto por una superficie en forma de disco y forman una capa protectora sobre la superficie de la hoja. Los pelos aparasolados también crecen por el haz, pero en cantidad muy inferior. Los estomas, que son estructuras localizadas entre las células epidérmicas para asegurar el intercambio de gases, se forman solamente en el envés, donde están cubiertas por la capa densa de los pelos aparasolados. Así, la pérdida de agua a través de los estomas no solamente se regula por el mecanismo de apertura y cierre de los mismos, sino también está reducida por la capa protectora de pelos aparasolados y por la localización de estomas exclusivamente en la superficie inferior de la hoja.

La raíz

La morfología del sistema radical del olivo depende por una parte del origen del árbol y por otra de las condiciones del suelo. Cuando el árbol nace de una semilla, se forma una raíz principal, que domina el sistema radical durante los primeros años y sin que ocurra la formación de raíces laterales importantes. La mayoría de los árboles comerciales están producidos mediante el enraizamiento de estaquillas. En este caso, se forman en la zona basal de la estaquilla múltiples raíces adventicias. Todas o muchas de estas raíces adventicias se comportan como raíces principales múltiples en el árbol. La profundidad y la extensión lateral del sistema radical y el grado de ramificación dependen del tipo y profundidad del suelo y de la aireación y contenido de agua del mismo (Fernández y col., 1991).

La absorción de agua y nutrientes ocurre en las zonas más jóvenes de las raíces, que son las zonas situadas inmediatamente detrás de los ápices radicales. Estas zonas también son las más susceptibles a infección por hongos y nematodos. Las raíces jóvenes tienen un estatus dinámico y se renuevan constantemente. La iniciación de nuevas raíces laterales y la velocidad de crecimiento de ellas y de las raíces ya presentes dependen de las condiciones ambientales. Para un olivo en verano en condiciones de secano, las raíces laterales nuevas, las del último grado de ramificación, tienen una longitud de hasta 10 cm, con la mayoría entre 0 y 2 cm (Salmerón Rodríguez, 1994).

Las raíces más jóvenes son de color blanco. Con el proceso de maduración cambian a color marrón debido a la suberización que ocurre primero en tejidos primarios y después en el desarrollo secundario. Las raíces blancas son las más activas en la absorción de agua y nutrientes minerales (Kramer y Bullock, 1966).

La superficie absorbente de las zonas jóvenes aumenta por la formación de pelos radicales, que son extensiones tubulares de las células epidérmicas. Estos son frecuentes y relativamente cortos en el olivo.

b) Estructuras reproductivas:

La inflorescencia

Las inflorescencias se desarrollan en las axilas foliares de los nudos del crecimiento vegetativo del año previo a la floración. La forma de las inflorescencias es paniculada: tienen un eje central del cual salen ramificaciones que, a su vez, también pueden ser ramificadas. El pedúnculo que une la flor al eje de la inflorescencia es corto, de 2 mm a casi invisible. En las ramificaciones de las inflorescencias, las flores son aisladas o forman grupos de tres o cinco. Cada inflorescencia puede tener entre 10 y 40 flores según el cultivar y las condiciones fisiológicas y ambientales.

En las inflorescencias se presentan flores de dos tipos: perfectas y estaminíferas. Las flores perfectas son hermafroditas o bisexuales, compuestas de estambres y pistilo bien desarrollados. Las estaminíferas o masculinas, tienen el ovario rudimentario o ausente, y parecen formarse debido a un fallo en el desarrollo del mismo. Como consecuencia de la falta de un ovario funcional, las flores estaminíferas no pueden dar lugar a la formación de un fruto. La proporción de flores estaminíferas (porcentaje de aborto ovárico), así como el número de flores por inflorescencia, varía según el cultivar y el año. Su presencia en proporciones que pueden llegar hasta el 50% o más en años normales, no suele reducir la producción.

Estudios histológicos indican que las yemas florales presentes en noviembre han desarrollado los primeros cinco nudos de la inflorescencia. El desarrollo posterior de la inflorescencia y las flores transcurre a partir de la salida del reposo invernal, hasta la floración en primavera.

La flor

Las flores son pequeñas y actinomorfas, con simetría regular. El cáliz, constituido por el conjunto de los sépalos, es un pequeño tubo campanulado de color blanco verdoso que se mantiene junto a la base del ovario después de la caída de pétalos. La corola está compuesta por cuatro pétalos blancos o blanco-amarillentos unidos a su base.

Los estambres son dos y están insertados en la corola en orientación opuesta. Constan de un filamento corto y una antera relativamente grande. Los numerosos granos de polen se forman en el interior de las anteras tras la meiosis de las células madres del polen.

En el centro de la flor se encuentra el pistilo, compuesto por un ovario súpero, un breve estilo y un estigma bilobulado y papiloso. El ovario tiene dos lóbulos o cavidades, cada una de las cuales contiene dos óvulos o primordios seminales unidos por el funículo a la parte superior de la placenta central, que separa los dos lóbulos. Solamente uno de los cuatro óvulos será fecundado y seguirá su desarrollo para formar la semilla.

El fruto

La aceituna es un fruto pequeño de forma elipsoidal a globosa. Normalmente mide de 1 a 4 cm de longitud y de 0,6 a 2 cm de diámetro. Entre los cultivares de fruto pequeño se encuentran “Arbequina” y “Koroneiki”. Entre las de fruto grande “Gordal sevillana” y “Ascolana”, pero el tamaño de las aceitunas depende mucho de la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo y del estado de carga del árbol. En madurez la aceituna es negra, negro-violácea o rojiza.

Botánicamente la aceituna es una drupa, tal como la almendra, el albaricoque, la ciruela, la cereza y el melocotón. Se trata de un fruto con una sola semilla compuesto por tres tejidos principales: endocarpo, mesocarpo y exocarpo. El endocarpo es el hueso, el mesocarpo la pulpa o carne, y el exocarpo la piel o capa exterior.

El endocarpo o hueso empieza a crecer a partir de la fecundación y aumenta en tamaño durante los dos meses siguientes. En su estado maduro el endocarpo está compuesto enteramente por células esclerificadas.

El mesocarpo, el tejido carnoso, también empieza a desarrollarse a partir de la fecundación, pero mientras la expansión del endocarpo se detiene a los dos meses, el mesocarpo sigue creciendo hasta la maduración. Las células del mesocarpo son parenquimáticas, poco diferenciadas pero con una gran capacidad de crecimiento. El almacenamiento del aceite ocurre en las vacuolas de las células parenquimáticas del mesocarpo (king 1938).

En el primer periodo de crecimiento del mesocarpo intervienen los procesos de división y expansión celular. A partir de las 6 a 8 semanas el crecimiento del mesocarpo se debe totalmente a la expansión celular, esta expansión va acompañada por la acumulación de aceite.

El exocarpo o epicarpo es la capa exterior y más fina del fruto. Este tejido está compuesto por la epidermis con su cutícula. Algunos estomas se forman en la epidermis para luego convertirse en lenticela, regiones que posiblemente actúan en el intercambio de gases. Se observan las lenticelas como puntitos en la superficie del fruto, su número y tamaño es un carácter varietal (Rapoport; 2008).

C.2.2.- DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL OLIVAR.

El olivo, originario de la región geográfica que va desde el sur de Cáucaso hasta las altiplanicies del Irán, Palestina y las zonas costeras de Siria, se extendió por Chipre hacia Anatolia y, a través de Creta, hacia Egipto, hasta poblar todos los países ribereños del Mediterráneo. Con el descubrimiento de América pasó y se extendió por el Nuevo

Mundo y, en la actualidad, se cultiva también en Sudáfrica, China, Japón y Australia.

C.2.2.1.- El olivo en el mundo:

El hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° y 45°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en regiones climáticas del tipo Mediterráneo, caracterizadas por un verano seco y caluroso.

El patrimonio oleícola existente se estima en aproximadamente 1000 millones de olivos, el 98% del total se sitúan en los países de la Cuenca Mediterránea, ocupando una superficie de 10 millones de hectáreas (COI, 2007).

Por otra parte, la producción del olivar alcanza una media anual del orden de 16 millones de toneladas de aceitunas, de las que el 90% se destinan a la obtención de aceite y el 10% se consumen elaboradas como aceitunas de mesa.

C.2.2.2.- El olivo en España:

España cuenta con olivares repartidos por casi todo el territorio nacional, lo que le lleva a la cabeza de la producción de aceitunas en el mundo. Únicamente no son productoras las Comunidades Autónomas de Galicia, de Asturias y de Cantabria. La superficie de olivar en España está en 2.439.582 ha (MAPA, 2004).

En el año 1964 la superficie de olivar se evaluaba en 2.360.000 ha y en 1984 alcanzaba 2.076.000 ha, disminuyendo a razón de 14.200 ha anuales. Desde 1984 la tendencia se ha invertido creciendo a razón de 190.200 ha/año entre 1984 y 2003.

C.2.2.3.- El olivo en Andalucía:

Andalucía posee el 62% del olivar nacional y actualmente la superficie va en aumento.

Se distinguen cuatro zonas bien diferenciadas por las variedades principales de olivo que en ellas se dan:

Zona 1: Picual. Con predominio de la variedad "Picual", ocupa la totalidad de la provincia de Jaén, el norte de la de Granada (comarca de Iznalloz) y el este de la de Córdoba (comarca de Bujalance). La extensión olivarera es de unas 600.000 ha, muy productivas, destinadas a la elaboración de aceites caracterizados por una gran estabilidad, alto contenido en ácido oleico y en polifenoles (Humanes y col, 1993).

Zona 2: Hojiblanco. Está caracterizada por la variedad "Hojiblanca", aunque alcanzan cierta importancia en algunos lugares "Picual", "Carrasqueña de Córdoba" o "Picudo", "Chorrúo" y otros.

Con unas 390.000 ha ocupa la mayor parte de la provincia de Córdoba (excepto comarcas de Bujalance y de La Carlota), la comarca de Estepa en Sevilla, en Granada la comarca de Loja, y en Málaga la comarca de Antequera.

La variedad Hojiblanca es de doble aptitud, elaborándose aceitunas de mesa, en especial negra, aunque de una parte importante de la producción se obtienen aceites de buena calidad, muy apreciados en el mercado español.

Zona 3: Andalucía Occidental. Con 200.000 ha de olivar se extiende por las provincias de Cádiz y Huelva completas, por la de Sevilla (excepto Estepa) y por la comarca cordobesa de La Carlota. Predomina la variedad de aceite “Lechín de Sevilla” acompañado de “Hojiblanco”, “Verdial de Huévar”, “Manzanilla Serrana”, etc. Tiene gran importancia la aceituna de mesa en plantaciones de “Manzanillo” y de “Gordal Sevillana”, variedades ambas de gran calidad. Los aceites de “Lechín de Sevilla” son muy apreciados.

Zona 4: Andalucía Oriental. Incluye a la provincia de Almería, parte de la de Granada (excepto comarca de Iznalloz), y parte de la de Málaga (excepto la comarca de Antequera). Las principales variedades son “Lechín de Granada”, “Verdial de Vélez-Málaga”, “Aloreña” y “Picual de Almería”. La superficie de olivar se estima en 100.000 ha. Los aceites procedentes de “Verdial de Vélez-Málaga” pueden alcanzar una calidad extraordinaria (Civantos; 2008).

C.2.3.- EL CULTIVO DEL OLIVO:

C.2.3.1.- Variedades y Patrones:

El material vegetal del olivo cultivado en España se caracteriza por estar compuesto por un gran número de variedades, todas ellas muy antiguas y que presentan unas zonas de difusión restringidas en torno a sus posibles lugares de origen. Se han encontrado 262 variedades cultivadas de olivo en España (Barranco, D., 2008).

Esta diversidad de cultivares es debida probablemente al origen autóctono de las variedades, que ocasionó que en cada zona se eligieran cultivares diferentes, y a determinados factores que han mantenido la situación inicial. Entre ellos hay que destacar la escasa presión de selección aplicada por el hombre a esta especie, sobre todo en las zonas de baja intensidad de cultivo como las comarcas de sierra, donde los niveles de producción y rendimiento graso no han sido suficientemente críticos para conducir a la eliminación de los cultivares menos interesantes. Asimismo, la longevidad de las plantaciones limita la renovación varietal, salvo por sobreinjerto, lo que ha restringido la sustitución de los cultivares.

Otra característica del material vegetal del olivo es la localización de las variedades. Normalmente, incluso las variedades más importantes, presentan una zona de mayor concentración pero su influencia decae rápidamente, desapareciendo su cultivo en comarcas relativamente próximas. Por otro lado, un gran número de variedades no se han extendido fuera de los límites de una comarca.

Esta limitada difusión de las variedades fuera de sus iniciales zonas de origen se debe al desconocimiento, aún presente, del comportamiento de las mismas en otras zonas de cultivo y a las grandes necesidades de material vegetal que requerían los sistemas tradicionales de propagación.

C.2.3.1.1.- Variedades españolas:

En función de su importancia y difusión, las variedades de olivo cultivadas en España se han clasificado en cuatro categorías: principales, secundarias, difundidas y locales.

Las variedades principales son aquellas que presentan una importante superficie cultivada o son dominantes en, al menos, una comarca. Las variedades secundarias no llegan a dominar en ninguna comarca, pero son base de plantaciones regulares. Las variedades difundidas y locales se encuentran como árboles aislados en varias o en una sola comarca, respectivamente (Barranco, D; 2008).

C.2.3.2.- Métodos de multiplicación en olivo:

La gran capacidad de regeneración del olivo se debe a sus yemas latentes, que se desarrollan ante estímulos externos de diversa naturaleza: sequía, heladas, incendios, etc. Esa misma circunstancia, junto a la facilidad con la que produce raíces adventicias en propágulos de diverso tamaño, le confiere una buena capacidad de multiplicación vegetativa.

La propagación sexual, por germinación de semillas, no sirve como método de multiplicación porque las plantas obtenidas son distintas entre sí y a su vez diferentes de aquella de la que procedieron las semillas. Se utiliza, fundamentalmente, en los procesos de mejora genética de la especie.

C.2.3.2.1.- Métodos tradicionales de multiplicación vegetativa:

El más usado ha sido el enraizamiento de grandes propágulos, estacas leñosas de gran diámetro, procedentes de las cortas realizadas periódicamente bien para formación de la copa, como para el rejuvenecimiento de la misma.

Estas estacas se ponían directamente en el campo, en su lugar de crianza definitivo, aunque en los últimos años, empezaron a ponerse estacas de un tamaño algo menor en bolsas para criarlas en vivero y proceder al trasplante una vez enraizada la planta.

A veces se han utilizado estacones procedentes del aclareo de pies en árboles criados en mata. En jardinería es común el trasplante de olivos viejos enteros.

El injerto es muy raro en el olivo, aunque se ha utilizado en algunas zonas para cambiar de variedad en olivares adultos, o cuando la nueva variedad es difícil de enraizar (ej. “Gordal Sevillana”), o para injertar acebuchares.

C.2.3.2.2.- Propagación por enraizamiento de estaquillas semileñosas bajo nebulización:

Esta es la técnica que se ha impuesto en la última década, y por la cual se producen plantas a un pie, en lugar de la tradicional formación en mata, facilitando mucho las tareas de formación en los primeros años del cultivo en aquellas fincas en las

que se plantan los olivos a un pie para facilitar la recolección mecanizada (Caballero y Río; 2008).

Este sistema reduce mucho la cantidad de material vegetal necesario para el enraizamiento, lo que permite hacer una selección del mismo, además permite tomar este material en cualquier época del año. Pero para conseguir el desarrollo de estas plantas es necesario hacerlo en vivero y con medios específicos (aplicación de auxinas, mesa caliente, sistema de nebulización, controlador de temperatura ambiental...).

Tiene tres fases:

Enraizamiento, para provocar la emisión de varias raíces adventicias en las bases de pequeñas estaquillas con hojas.

Endurecimiento, para promover el funcionamiento de los sistemas radicales obtenidos.

Crianza de los plantones, cultivados en maceta, a un solo tronco.

C.2.3.3.- Requerimientos Climáticos del Cultivo:

El cultivo del olivar es propio de climas mediterráneos caracterizados por inviernos suaves y veranos largos, cálidos y secos. El olivo es más sensible al frío que otros frutales pero, al igual que ellos, experimenta un endurecimiento provocado por la acción de los fríos progresivos del otoño y entra en periodo de reposo, haciéndose resistente a temperaturas inferiores a 0°C. En estado de reposo, temperaturas comprendidas entre 0 y -5°C causan pequeñas heridas en brotes y ramas de poca edad que son la puerta de entrada de enfermedades y plagas; temperaturas comprendidas entre -5°C y -10°C pueden causar daños mayores a brotes y ramas de poca edad que en ocasiones provocan su muerte; y temperaturas inferiores a los -10°C causan la muerte de ramas de gran tamaño e incluso de toda la parte aérea (Sibber y Osgood, 1994).

Durante el periodo de crecimiento y maduración del fruto, temperaturas inferiores a 0°C lo dañan, mermando la producción y disminuyendo la calidad del aceite obtenido. Cuando el olivo está movido, temperaturas ligeramente inferiores a 0°C pueden causar daños graves en brotes provocando la muerte de yemas y hojas tiernas; y temperaturas bajas, ligeramente superiores a 0 °C, pueden afectar a la floración provocando una formación incompleta de la flor.

Los daños por el frío, serán tanto menores cuanto menor sea la duración de las bajas temperaturas y la brusquedad con que se produzcan. En aquellos lugares donde se den con frecuencia temperaturas bajas, por debajo de las descritas, no se deben realizar plantaciones de olivos.

En cuanto a la exigencia en precipitaciones, el olivo es un árbol que soporta mucho la sequía, aunque se ve bastante mermada su cosecha. Se pueden tomar como óptimas precipitaciones por encima de los 600 mm/año, si bien puede producir abundantemente con precipitaciones superiores a los 450 mm, siempre y cuando los suelos sobre los que se cultiva presenten buena capacidad de retención y almacenamiento del agua. La zona límite para el cultivo por la aridez extrema del clima

se da por ejemplo en la región de Sfax, en Túnez, donde se cultiva el olivo en un clima semidesértico con pluviometrías anuales inferiores a los 200 mm (Navarro y Parra; 2008).

C.2.3.4.- Propiedades del suelo para el cultivo del olivar:

El cultivo del olivar ocupa una amplia diversidad de suelos. En Andalucía, el olivar se extiende principalmente, por los suelos de las laderas calizas de las campiñas y de los cerros y sierras de las cordilleras béticas, ocupa importantes extensiones de los suelos de terrazas y de otros depósitos aluviales, en menor medida, se cultiva en penillanuras, laderas y piedemontes de los terrenos silíceos de Sierra Morena.

La adaptabilidad del árbol a la variada naturaleza del suelo no quita, sin embargo, que la productividad del cultivo pueda verse limitada por la condición de éste.

C.2.3.4.1.- Limitaciones físicas del suelo:

Las características físicas del suelo que afectan al desarrollo radical del olivo son la textura, la profundidad útil, las condiciones de aireación y la erosionabilidad.

Textura: El olivo prefiere los suelos de texturas moderadamente finas (francas, franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas). Estas texturas suministran, normalmente, una aireación adecuada para el crecimiento radical, son suficientemente permeables, y tienen una alta capacidad de retención de agua. Esta última característica es esencial en las condiciones de secano en que vive la mayoría del olivar. Los suelos de texturas más arenosas no retienen el agua suficiente para el cultivo de secano; en cambio, pueden ser excelentes para el olivar de regadío, especialmente si se fertilizan de acuerdo con su escasa capacidad de retención de nutrientes. Los suelos de texturas más arcillosas presentan una aireación inadecuada para las raíces y son de difícil manejo.

Profundidad útil. En la mayoría de los suelos las raíces se extienden de modo efectivo hasta la profundidad donde el sustrato rocoso o una capa restrictiva del propio suelo limitan el movimiento del agua, la aireación y el desarrollo radical. La profundidad útil de los suelos característicos de olivar y la naturaleza de su límite varían ampliamente. En los suelos desarrollados sobre terrazas y otros depósitos aluviales de topografía casi llana y de mucha edad, la penetración radical puede estar limitada por los horizontes de arcilla compactada o por una capa cementada por CO_3Ca (horizonte petrocálcico). En la mayoría de los suelos de ladera con pendientes moderadas o fuertes, la profundidad útil alcanza hasta donde aparece el material geológico o el lecho rocoso subyacente.

Los horizontes de arcilla compacta tienen una porosidad escasa y poros pequeños, por lo que presentan una aireación inadecuada para el crecimiento radical. Por otra parte, cuando el agua de percolación los alcanza tiende a acumularse sobre ellos, formando una “capa de agua colgada” de carácter temporal. Si el encharcamiento persiste mientras las raíces del olivo están activas, éstas pueden resultar severamente dañadas por falta de aireación.

Los horizontes petrocálcicos son barreras mucho más restrictivas que los horizontes arcillosos, puesto que están cementados, se asemejan a lechos de roca viva que paran el desarrollo radical y la penetración del agua. De ahí que la profundidad de este tipo de horizonte determine, enteramente, la profundidad de enraizamiento del árbol. Sobre los horizontes petrocálcicos también se desarrollan capas de agua colgadas cuando son alcanzados por el agua de percolación.

Muchos suelos de laderas escarpadas presentan sustratos geológicos duros que actúan de modo similar a un horizonte petrocálcico.

Los olivos son árboles con sistemas radicales más bien superficiales. Por tanto, los suelos de 1,2 metros o más de profundidad útil resultan muy convenientes para su cultivo. Los suelos con profundidades útiles menores de 0,8m no son aconsejables, a menos que la limitación a la profundidad provenga de horizontes petrocálcicos o capas de arcilla compacta lo bastante someros y delgados como para que puedan ser rotos o entremezclados con otros horizontes mediante labores de subsolado o de desfonde que lleguen a penetrar en capas subyacentes no cementadas o compactadas.

Encharcamiento y falta de aireación:

Las raíces del olivo son muy sensibles al encharcamiento (esto es, a la condición que aparece en el suelo cuando en alguna parte del perfil todos los poros están llenos de agua), especialmente cuando persiste un tiempo significativo durante la estación de crecimiento.

En la mayor parte de los casos, las situaciones de encharcamiento que pueden presentarse se limitan al invierno y a los primeros meses de la primavera, y afectan a horizontes subsuperficiales poco permeables de suelos localizados en zonas de escasa pendiente y poca escorrentía. Una condición del suelo que, junto a los factores topográficos, contribuye al encharcamiento, es la estratificación, bien por presentar horizontes cementados o porque tengan capas arcillosas intercaladas en su perfil que frenan el movimiento del agua y pueden desarrollar capas de agua colgadas.

Los suelos bien drenados presentan colores de tonos más o menos uniformes (pardos, rojizos o amarillentos); los imperfectamente drenados muestran capas con tonos entremezclados y manchas de color gris, consecuencia de una actividad anaeróbica.

Erosionabilidad

Muchos olivares están plantados en áreas montañosas con pendientes que oscilan de moderadas a fuertes, en donde la erosión constituye un problema muy grave. El grado de erosión aumenta, normalmente, con el ángulo de la pendiente y con la longitud de la ladera.

La erosión hídrica representa, en todas sus modalidades, la pérdida del material más fértil del suelo. En casos de erosión severa, pueden quedar al descubierto las raíces de los árboles y aparecer cárcavas y barrancos en la superficie del terreno. La corrección de estas situaciones es difícil. En ciertos casos la erosión puede ser minimizada

mediante técnicas de no laboreo o, en el caso de que éste resultara necesario, mediante el cultivo en curvas de nivel o en terrazas.

C.2.3.4.2.- Limitaciones químicas del suelo:

pH del suelo:

No hay un pH óptimo del suelo para el olivo, el árbol vegeta bien en los suelos que van de moderadamente ácidos (pH mayor de 5,5) a moderadamente básicos (pH menor de 8,5). Los suelos más ácidos son desaconsejables porque generan problemas de toxicidad por aluminio y manganeso; los suelos con pH mayor de 8,5 (suelos sódicos) también deben ser descartados, dada su defectuosa estructura, que impide la penetración del agua y obstaculiza el drenaje.

En la geografía olivarera andaluza, los suelos con pH menores de 5,5 son muy escasos, por lo que la acidez del suelo constituye un problema menor. Los suelos fuertemente alcalinos son, asimismo, escasos, aunque su presencia puede ir en aumento en aquellas áreas de regadío donde se usan aguas de riego con una alta sodicidad. Muchos suelos tienen un pH comprendido entre 7,5 y 8,4 y un alto contenido en CO_3Ca ; el comportamiento del olivo en estos suelos calcáreos suele ser bueno, salvo en suelos muy calcáreos y para variedades sensibles a la clorosis férrica.

Salinidad:

La salinidad del suelo mide la concentración de todas las sales solubles presentes en la solución del suelo. La salinidad se expresa mediante la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CE_{es}). Cuando la salinidad del suelo es alta, se reduce la disponibilidad del agua del suelo para las raíces. Un suelo es salino si tiene una CE_{es} mayor de 4 decisiemens por metro (dS/m).

El olivo resiste mejor la salinidad que otros árboles frutales. Se estima que la producción de fruto puede experimentar una disminución del 10 % si la CE_{es} del suelo alcanza 4 dS/m. Con una salinidad del suelo de 8 dS/m, el crecimiento y la producción del árbol pueden verse severamente mermadas.

Exceso de sodio:

Los suelos sódicos (o alcalinos) contienen una cantidad excesiva de sodio en proporción al calcio y al magnesio. Estos suelos plantean un doble problema:

-Sus partículas más finas se dispersan fácilmente, obturando los poros y haciendo que la permeabilidad y la aireación sean malas.

-Ejercen un efecto tóxico sobre las plantas, derivado de la alta proporción de sodio en la solución del suelo.

La sodicidad de un suelo se expresa mediante el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Por definición, un suelo se considera sódico cuando el PSI supera el valor de 15. Los olivos resultan afectados cuando el PSI del suelo alcanza valores de

20 a 40.

Toxicidad por boro y cloruros:

Aún con salinidades bajas, el desarrollo normal del olivo puede verse afectado por un exceso de cualquiera de estos elementos en la solución del suelo. Tales excesos pueden ser inherentes al suelo o deberse al uso del agua de riego con contenidos altos en boro o cloruros.

El olivo es menos sensible al exceso de boro y de cloro que la mayoría de los árboles frutales. El límite de tolerancia del olivo al ión cloruro en el extracto de saturación del suelo oscila entre 10 y 25 moles/l. Se estima que la tolerancia al boro del olivo, expresada por la concentración de boro asociada a una reducción del 10% del rendimiento, es de 2 ppm en el extracto de saturación del suelo (Navarro y Parra; 2008).

C.2.3.5.- Plantación y marcos de plantación:

Los marcos de plantación han variado mucho en los últimos años, la práctica habitual era plantar los olivos en marco real, normalmente dejando bastante distancia entre un olivo y otro, así eran bastante frecuentes los marcos a 12 x 12 m, e incluso marcos mayores. En las últimas décadas estos marcos se han ido reduciendo, permitiendo un mejor aprovechamiento del terreno, siendo la implantación del riego lo que ha permitido aumentar enormemente las densidades.

Uno de los problemas más importantes asociado a los marcos de plantación amplios es la erosión. Para disminuir el problema de la erosión en las fincas que se van a plantar con olivos nuevos se dan una serie de recomendaciones:

- En terrenos con pendientes superiores al 6%, las plantaciones se deben hacer por curvas de nivel.
- En pendientes mayores del 12%, es aconsejable la construcción de terrazas siguiendo las curvas de nivel, éstas favorecen la conservación del suelo.
- En pendientes superiores al 25% el método más eficaz para luchar contra la erosión es la construcción de bancales.

Como variantes al sistema normal de plantación en suelos que no presenten pendientes elevadas está la plantación en caballones, recomendable en aquellos con un perfil superficial apto para el cultivo y un subperfil con dificultades de drenaje que puede causar encharcamientos temporales que hacen poco productivo el cultivo.

En Andalucía las plantaciones más frecuentes están comprendidas entre los 70 u 80 olivos/ha, con una media de 3 pies/olivo. A partir de los años 60 se empezaron a realizar plantaciones densas, de 200 a 250 olivos/ha de un solo pie, (marcos entre 8 x 7 a 7 x 5) las cuales entran antes en producción y permiten una mejor mecanización de la recolección. Las densidades han ido incrementándose, siendo el riego uno de los requisitos indispensables para aumentar la densidad. En los últimos años, han aparecido las plantaciones de alta densidad, en las que se ponen más de 2000 olivos/ha (calles de 3 a 4 m y distancia entre olivos de 1,3 a 2 m) para conseguir altas producciones en el mínimo tiempo y hacer una recolección mecanizada, formando los olivos en setos de

pequeña altura (Navarro y Parra; 2008).

C.2.3.6.- Sistemas de cultivo en olivar:

En olivicultura el agua es el factor que en mayor medida limita las producciones, y la lluvia es la aportación de agua más importante para el cultivo. En la climatología mediterránea se distinguen dos períodos claramente diferenciados, una estación húmeda, otoño-invierno, en la que se produce entre el 70 – 80% de la pluviometría total anual; y una estación seca, junio – septiembre, en la que las lluvias son prácticamente inexistentes, por lo que en ningún caso cubren la demanda del cultivo. En esta situación, el olivo satisface buena parte de sus necesidades utilizando el agua almacenada en el suelo durante la estación húmeda, época caracterizada por una baja demanda, ya que las bajas temperaturas limitan el desarrollo del cultivo.

La erosión es uno de los principales problemas de la olivicultura mediterránea, siendo la mitad meridional de la Península Ibérica una de las zonas más afectadas. Se han cifrado en más de 80 t/ha y año las pérdidas medias de suelo para este cultivo (Lopez-Cuervo 1990). Determinadas prácticas agrícolas como el laboreo han intensificado la erosión.

Un sistema de cultivo adecuado debería permitir:

- Óptimo empleo del agua disponible.
- Óptima utilización del suelo.
- Conservar el suelo, minimizando la erosión.
- Ser de coste barato y facilitar la realización de las diferentes operaciones de cultivo.

Sistemas de cultivo:

Laboreo:

En este sistema de cultivo el suelo se mantiene desnudo de vegetación durante todo el año mediante labores continuadas.

Las operaciones anuales comienzan una vez realizada la recolección de las aceitunas, tras lo que se procede a realizar la labor de alzado utilizando el cultivador. La misión de éste es abrir el suelo y prepararlo para infiltrar el agua de lluvia. En caso de que haya mucha hierba y ésta sea de gran tamaño se utiliza la grada de discos, que voltea los horizontes más superficiales.

En los meses siguientes, hasta la estación seca, se dan varios pases más de labor, con la finalidad de eliminar las malas hierbas que salgan y tapar las huellas de la erosión provocada por las lluvias primaverales.

En verano se dan varios pases con la rastra para tapar las grietas que van apareciendo en los suelos con el fin de evitar evaporación y conservar el agua del suelo. A finales de verano, antes de las primeras lluvias, se preparan los suelos de los olivos, mediante la compactación con un rulo dejando el suelo preparado para la recolección.

Este sistema ha cambiado en los últimos años en numerosas zonas, siendo la

tendencia a reducir el número de labores a las mínimas, y a dar solamente labores superficiales que eliminen las malas hierbas, sin profundizar para no dañar raíces ni voltear la tierra, así como limitándolas a aquellos momentos en los que no ocasionen grandes pérdidas de agua. Esto ha evolucionado hacia los sistemas de “laboreo reducido”:

Existen diversas variantes de los sistemas de laboreo reducido, en las que se combina el laboreo con la aplicación de herbicidas bajo la copa de los olivos, zona que queda sin labrar, entre éstas se distingue:

Semilaboreo: Se aplican herbicidas bajo la copa del olivo, realizando labores cruzadas sólo en el centro de las calles, tal como se hace en el laboreo convencional.

Mínimo laboreo: Se aplican herbicidas a todo el terreno, realizando anualmente alguna labor muy superficial en el centro de las calles para romper la costra superficial favoreciendo así la infiltración, o para tapar las grietas que se abren en verano.

No laboreo con suelo desnudo:

En este sistema se eliminan totalmente las labores, controlando las malas hierbas mediante herbicidas, los cuales se aplican bien sobre el suelo desnudo en preemergencia de las malas hierbas en otoño o en postemergencia temprana tras las primeras lluvias otoñales. Durante la primavera y verano hay que dar algunos tratamientos, generalmente por focos con herbicidas de postemergencia para controlar las malas hierbas que van apareciendo. En este sistema hay que tener especial cuidado con la inversión de flora que se produce hacia las especies más resistentes a los herbicidas utilizados.

En este sistema de cultivo se ve reducida la infiltración en algunos suelos, y aumentan los volúmenes de escorrentía, si bien el efecto erosivo disminuye al estar las partículas de suelo más adheridas. Por otro lado, las huellas que la erosión va dejando sobre la superficie del suelo, al no taparse con las labores, pueden llegar a impedir el paso de la maquinaria por distintas zonas de la finca.

Sistemas de cultivo con cubierta:

Para el control de la erosión, el cultivo con cubierta parece la solución más eficaz (Blevins 1986). Existen dos posibilidades para cubrir el suelo, las cubiertas inertes y las cubiertas vivas.

La cubierta inerte, debido al gran volumen de material necesario, se hace prácticamente inviable, a no ser que se aporten restos de residuos agroindustriales de industrias próximas a la finca o que se aprovechen los propios restos de los olivos, como hojas desprendidas y material de poda triturado para formar las cubiertas (Fotografía 1).



Fotografía 1.- Detalle de cubierta vegetal inerte.

Las cubiertas vegetales vivas están en fuerte expansión, consisten en dejar crecer una serie de especies herbáceas sobre la superficie del terreno durante el período lluvioso de otoño a invierno, época en la que debido a las bajas temperaturas las necesidades hídricas del olivar son mínimas. Debe controlarse la transpiración de la cubierta mediante la siega a finales del invierno, para evitar la competencia por los recursos hídricos del suelo con el olivo.

Los restos vegetales una vez segados, deben quedar sobre la superficie del terreno, si el volumen de restos vegetales es suficiente, estos serán capaces de frenar los procesos erosivos, y permitir una mejor infiltración del agua, además de disminuir las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo

Las alternativas para la siega son la siega mecánica con desbrozadoras, la siega química aplicando herbicidas o la siega a diente con ganado.

Para crear las cubiertas vegetales, se puede optar por favorecer el crecimiento de la flora espontánea típica del olivar, muy rica en especies y bien adaptadas a cada zona. Ésta alternativa, que en los primeros años puede dar una cobertura escasa, con el tiempo evoluciona y da lugar a unas cubiertas de gran utilidad para el control de la erosión.

Otra alternativa es optar por especies cultivadas del tipo de las leguminosas como la veza o de las gramíneas como la cebada e incluso mezclas de las mismas. Para la formación de este tipo de cubiertas, se necesita el uso de sembradoras, aunque ofrecen una buena cobertura desde el primer año. Las leguminosas tienen la ventaja de fijar nitrógeno al suelo, pero una vez secas ofrecen una cobertura deficiente y de poca duración (Pastor, M. 2008).

C.2.4.- BENEFICIOS AGRONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LAS CUBIERTAS VEGETALES:

El aspecto más positivo del establecimiento de las cubiertas vegetales en el olivar es la reducción o eliminación del laboreo del suelo por las no deseables implicaciones económicas y medioambientales que éste conlleva. A continuación se exponen algunos resultados de trabajos de investigación y conclusiones relevantes del uso de cubiertas vegetales.

Conservación del suelo:

La erosión hídrica provoca la destrucción del suelo mediante las gotas de lluvia, que disgregan los elementos estructurales del suelo facilitando así su posterior transporte. Ahora bien, el impacto de la gota de lluvia provoca la destrucción de los agregados si el suelo no está protegido, algo que no ocurre en el caso de implantar una cubierta vegetal. Si el suelo presenta pendiente, el agua de escorrentía transporta estas partículas antes destruidas, siendo su capacidad de arrastre mayor a medida que la inclinación y la longitud de la pendiente aumentan, factores que hacen aumentar el caudal que fluye y su velocidad. La cubierta vegetal divide en tramos dicha longitud de una forma económica, reduciendo la toma de velocidad por parte de la corriente. Dicha reducción de la erosión es especialmente importante, pues no debe olvidarse que el sistema convencional de labranza es realmente insostenible. En los últimos 40 años, cerca de un tercio de los suelos agrícolas de la Tierra han dejado de ser productivos para usos agrícolas debido a la erosión (Pimentel y col., 1995). En Europa, la erosión afecta actualmente a unos 157 millones de hectáreas (16% de la superficie europea, casi tres veces la superficie total de Francia). La tasa media de erosión de los suelos agrarios en Europa, 17 toneladas por hectárea y año, (Troeh y col., 1993) supera ampliamente la tasa media de formación de suelo (una tonelada por hectárea y año). La erosión sobre todo afecta al área Mediterránea. Así, en España, del 50 al 70% de su suelo agrícola tiene un riesgo de moderado a alto de erosión (Secretaría de Medio Ambiente, MOPU, 1991). El 65-70% de Andalucía tiene un riesgo moderado y/o alto de erosión (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 1997), riesgo que se acentúa en el olivar, ante su baja cobertura del suelo, que llega a ser del 35% como máximo. La intensificación de la agricultura convencional (aumento de la mecanización y del laboreo del suelo) en los últimos 50 años ha contribuido en gran medida a agravar los procesos erosivos, aumentando el riesgo de desertización de las zonas más vulnerables, y destruyendo e inutilizando numerosas obras civiles y cauces públicos, lo cual hace necesario evitar la inmensa erosión que actualmente se produce. A este respecto basta recordar que tasas de pérdida de suelo en el olivar son más que suficientes como para tomar medidas al respecto -en Córdoba se observaron pérdidas anuales de suelo comprendidas entre 60 y 105 t/(ha y año), (Laguna, 1989), superando ampliamente la capacidad de formación de suelo.



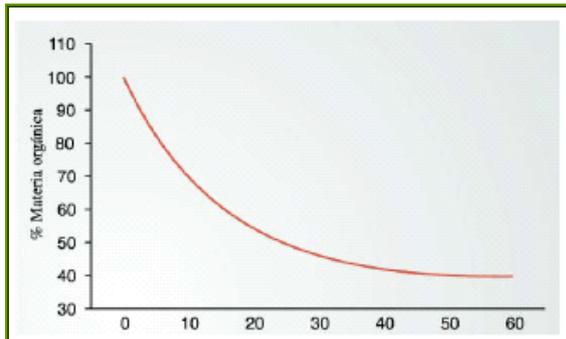
Gráfica 1.- Pérdida de suelo por erosión en t·ha⁻¹ en laboreo, no laboreo con suelo desnudo y cubierta vegetal.

Fuente.- www.mapa.es

La cubierta vegetal sobre la superficie del suelo reduce drásticamente la erosión; si está bien establecida dicha reducción de la erosión puede ser superior al 90-95% en comparación a la que se produce en el suelo labrado, como se muestra en la gráfica 1.

Aumento del nivel de materia orgánica

Conforme los suelos se labran año tras año su contenido de materia orgánica decrece. Se estima que en solo 10 años de labranza se pierde el 30% de la materia orgánica que originalmente tenía el suelo, gráfica 2.



Se puede afirmar categóricamente que la mayoría de los suelos de los olivares españoles después de tantos años de labranza han perdido aproximadamente el 50% de su contenido de materia orgánica

original. Y es bien sabido que la fertilidad natural del suelo depende en gran medida de su contenido de materia orgánica, por lo que en suelos empobrecidos en materia orgánica es necesario proveer de altas dosis de fertilizante para alcanzar aceptables niveles de producción. Se debe pues invertir el ciclo de muchos años de labranza y empobrecimiento de los suelos. El mantenimiento de las cubiertas vegetales a largo plazo permitirá restablecer el perfil natural del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica en la capa más superficial del suelo tanto en la interlínea de la plantación como bajo la copa de los olivos.

Gráfica 2.- El contenido de la materia orgánica de los suelos disminuye con años de laboreo .
Fuente: Kinsela, 1995.

Puede afirmarse que los contenidos en materia orgánica son mayores en suelos con cubierta de paja y cubiertas permanentes vivas, o muertas con siega química, en comparación con sistemas de laboreo y no laboreo en los primeros 5 cm. del suelo (Castro, 1993) -tendencia que no ha de mantenerse a lo largo de todo el perfil, como se ha demostrado en ocasiones, González y col., lo cual proporciona una buena estructura a los agregados que favorece la infiltración del agua y ayuda a luchar contra los fenómenos erosivos.

Aumento del contenido de agua en el perfil del suelo:

Gran cantidad de los olivares andaluces son de secano. En éstos, las cantidades de agua disponibles para la plantación dependen fundamentalmente del agua infiltrada y almacenada en el suelo y de las pérdidas por evaporación.

A distintos sistemas de manejo de suelo corresponden distintos balances de agua, por las diferencias que tienen lugar en cuanto al grado de protección del suelo y la formación de posible costra, cantidad de materia orgánica y estructura, así como grado de compactación. En la Gráfica 2 del contenido de la materia orgánica de los

suelos disminuye con años de laboreo. Kinsela, 1995. Es decir, la variación de las propiedades de un suelo como consecuencia de un cambio en el sistema de manejo del suelo provoca diferencias en la disponibilidad final de agua para el olivar. En este sentido, las cubiertas vegetales son una forma eficaz de reducir la evaporación de agua desde el suelo, lo cual permite que un cultivo con una cubierta vegetal bien controlada - es recomendable la siega química- disponga de unas mayores cantidades de agua durante la primavera (Castro, 1993), contrariamente a lo que un principio pudiera pensarse.

C.2.5.- EL ABONADO DEL OLIVAR:

La variabilidad de las necesidades de abonado de un olivar es inmensa, cambian ya sean árboles jóvenes o adultos, o bien estén en año de carga o de descarga, según el tipo de suelo sobre el que estén. Es difícil dar unas recomendaciones generales de fertilización, estando el abonado de las fincas principalmente basado en las tradiciones de cada zona. Se estima que el abonado de un olivar supone entre el 5% y el 10% de los costes anuales de cultivo.

Un abonado racional debe aportar tan sólo los elementos nutritivos que requieran los árboles en un momento determinado. Una prueba de la existencia de necesidades nutritivas no satisfechas es la aparición de síntomas en el árbol asociados a deficiencias o excesos de un elemento, pero la ausencia de síntomas no indica necesariamente un estado óptimo de nutrición.

La herramienta más valiosa para conocer el estado nutritivo del olivar es el análisis foliar, el cual es muy útil para identificar desórdenes nutritivos, para detectar niveles bajos de nutrientes antes de que aparezcan deficiencias, para detectar toxicidades causadas por elementos como cloro, boro y sodio y optimizar el abonado de una plantación (Fernandez-Escobar; 2008).

Nitrógeno

Es el elemento que se requiere en mayores cantidades, aplicaciones entre 0,5 a 1 kg/árbol pueden resultar satisfactorias para mantener el nivel de nitrógeno en el árbol, aunque esto depende del tamaño del árbol, nivel productivo, medio de cultivo...

El exceso de nitrógeno hace que los árboles se muestren más sensibles a las heladas y a la acción de plagas y enfermedades.

Potasio

Muchos olivares andaluces presentan niveles bajos y deficientes de potasio en hoja, las causas de estas deficiencias son diversas:

- Suelos pobres en potasio
- Temperatura del suelo no adecuada para la absorción por la planta
- Humedad del suelo no adecuada para la absorción por la planta
- Carga del árbol excesiva
- Interacciones con calcio o magnesio.

Fósforo

Es un elemento en el que no se ha encontrado respuesta al abonado, si bien es un elemento que se encuentra normalmente bloqueado en los suelos calizos típicos sobre los que se desarrolla el olivar.

Calcio

Como la mayoría del olivar andaluz está sobre suelos calizos la deficiencia de calcio es desconocida en estos, pero el exceso de calcio puede provocar deficiencias en potasio y en magnesio.

Magnesio

La deficiencia de este elemento es rara, puede ser inducida por altas concentraciones de potasio, calcio y amonio en el suelo.

Hierro

El análisis foliar no es bueno para detectar carencias de hierro, pero los síntomas visuales de la carencia son fáciles de identificar, es muy frecuente la carencia en aquellos olivares que se dan sobre suelos muy calizos, en los que se dan clorosis en las hojas, crecimiento pequeño de los brotes y disminución drástica de la producción.

Manganeso, cinc y cobre

No suelen presentarse deficiencias de estos elementos en el olivar andaluz. El cobre, suele presentar niveles altos o muy altos, ya que forma parte de los tratamientos fungicidas del olivar.

Boro

La disponibilidad de boro por las plantas disminuye en condiciones de sequía y conforme aumenta el pH del suelo, los árboles deficientes en boro presentan hojas con clorosis apicales y marginales, formaciones en los brotes conocidas por escobas de bruja y malformaciones de los frutos. El boro aplicado en exceso es un ión tóxico.

Sodio y Cloro

El exceso en la solución del suelo de estos dos iones puede causar toxicidad en las plantas, aunque el olivo es una planta muy tolerante a la salinidad.

C.2.6.- RIEGO EN EL OLIVAR:

El riego del olivar tradicional en Andalucía está limitado, en el caso de Concesión de Aguas Superficiales, a 1.500 m³/ha por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Partiendo de esta limitación, las comunidades han adaptado los sistemas de riego a la máxima eficiencia siendo el riego por goteo es el más difundido.

Las comunidades de regantes, para asegurarse los riegos de apoyo durante el verano, han construido en los últimos años gran cantidad de balsas de almacenamiento de aguas invernales de gran capacidad, con el fin de poder regar en épocas en las que los caudales circulantes por los cauces de los que se suministran sean muy bajos o nulos.

El volumen de agua concedido para el riego del olivar tradicional es adecuado para obtener una buena cosecha aquellos años con pluviometrías medias o altas, sin embargo, es deficiente los años en los que las precipitaciones son bajas o para aquellas fincas en las que los suelos tienen poca capacidad de retención del agua (Orgaz y Ferreres; 2008). Si bien estos años tan secos el olivo responde muy bien a estas dotaciones de riego aunque sean insuficientes. En plantaciones intensivas esta dotación es claramente deficiente incluso en años de pluviometría media (Pastor e Hidalgo; 1998).

C.2.7.- FERTIRRIGACIÓN:

La fertirrigación consiste en aplicar a la planta los abonos disueltos en el agua de riego. Es una práctica generalizada en el caso del riego localizado. Al aportar los abonos con el agua de riego se consigue localizar los nutrientes directamente en las zonas en las que existe una mayor densidad y actividad radical, con lo que se mejora la absorción de los nutrientes por la planta. Permite además aportar los abonos con la frecuencia deseada (Troncoso y col; 2008).

C.2.8.-PODA DEL OLIVAR:

La poda comprende aquellas operaciones que, realizadas sobre el olivo, modifican la forma natural de su vegetación dando vigor o restringiendo el desarrollo de sus ramas y que tiene como finalidad darle una forma adecuada, conseguir la adaptación del árbol al medio productivo y obtener de él la máxima producción.

La intensidad de la poda ha de adaptarse a las diversas fases de la vida del árbol. En el periodo improductivo, podar con muy poca intensidad, en el periodo adulto, podar ligeramente y en el periodo de vejez es necesario rejuvenecer el olivo mediante podas intensas pero espaciadas en el tiempo que permitan reconstituir su copa.

La poda siempre debe equilibrar el crecimiento y la fructificación, no desvitalizar o envejecer prematuramente el árbol, ser de coste económico y adaptar el volumen de copa a las disponibilidades reales de agua en el suelo.

Las podas que dan lugar a formas esféricas proporcionan mínimas superficies de fructificación, mientras que las podas que dan lugar a árboles abiertos con las ramas muy extendidas, casi horizontales, y con las maderas expuestas al sol, no son tampoco recomendables, al quemarse las ramas y emitiendo estas numerosos chupones poco productivos.

Lo habitual en la poda era realizarla cada dos años, coincidiendo con el ciclo bienal del olivo, aprovechando tras los años en los que se recogía la cosecha abundante para podar. Esta tendencia está cambiando, aumentándose los turnos de poda, y limitándose a limpiezas anuales y podas más intensas cada 4 o 5 años, además, se

prefiere que coincidan con los años de descarga, para limitar la cosecha del año de carga y disminuir así los efectos de la vecería.

La puesta en riego de numerosos olivares, ha permitido que estos alcancen mayores volúmenes de copa, limitando mucho la intensidad de la poda (García-Ortiz y col; 2008).

Respecto a la poda de formación, con esta se persigue:

-Crear un armazón o esqueleto robusto compatible con el marco de plantación elegido, esqueleto que en un futuro próximo será el soporte de los órganos vegetativos, así como de la cosecha durante la vida productiva del árbol.

-Posibilitar la mecanización integral del cultivo, principalmente la recolección.

C.2.9.- RECOLECCIÓN:

La recolección debe coincidir con el momento en que han desaparecido los frutos verdes del árbol, que es cuando prácticamente se ha alcanzado el máximo de aceite. Los aceites son más afrutados y aromáticos al comienzo de la maduración.

Cuando el fruto permanece largo tiempo en el árbol, se produce una inhibición en la diferenciación floral de las yemas, por lo que a medida que se retrasa la fecha de recolección, al año siguiente se traduce en pérdidas de cosecha.

Entre los sistemas de recolección tradicionales de aceituna para almazara están el vareo, el ordeño y la recogida de la aceituna una vez caída al suelo. Con la aparición en los últimos años de vibradores acoplados al tractor o de mochila el proceso de derribo del árbol se ha facilitado mucho, estando bastante extendidos los sistemas de recogida de aceituna del suelo con sopladoras o máquinas barredoras, por lo que se ha ganado en eficacia en la recolección, siendo cada vez mayor el número de fincas adaptadas a la recolección mecanizada.

En aceituna de mesa, las técnicas de recolección mecanizada son similares a las del olivo de almazara, salvo que la recogida siempre debe realizarse sobre lonas o estructuras de recepción adecuadas para evitar el daño del fruto (Gil-Ribes, J. y col. 2008)

C.3.- EL SUELO.

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, es esencial para la vida, como lo es el aire y el agua, da ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción y el acelerado incremento demográfico (www.monografias.com).

C.3.1.- DEFINICIÓN DEL SUELO:

El termino suelo, que deriva del latín *solum*, y significa piso, puede definirse como la capa de la Tierra que se distingue de la roca sólida y en donde las plantas crecen. Pero tal como ocurre con muchas palabras que corrientemente se utilizan, el suelo puede definirse de formas diferentes (Navarro, G. 2000).

Podemos definir el suelo como la capa superior de la corteza terrestre, formada por meteorización de las rocas, en la que se enraízan las plantas. En un sentido más amplio, el científico francés Demolon definió el suelo como *la formación de natural de superficie con estructura blanda y de grueso variable resultante de la transformación de la roca madre subyacente bajo la influencia de los procesos físicos, químicos y biológicos*, según recoge Campos, (1981).

Para los agricultores y los jardineros, por lo general, el suelo lo constituyen los escasos centímetros superiores de la corteza terrestre que son cultivados o penetrados por las raíces de las plantas. Este concepto, aunque en muchos de los casos es adecuado, es ilimitado y no permite una apreciación completa de las grandes diferencias que existen entre los diversos suelos ni una comprensión completa de sus potencialidades y de los procedimientos para su mejoramiento (FitzPatrick, 1987).

Bajo el punto de vista menos aplicado y general, y más científico, también se pueden encontrar otras orientaciones. Así, existe una dirección o criterio geológico que define el suelo en función de su formación a partir de las rocas originarias y en este sentido, el suelo puede definirse como *el producto de erosión de las rocas, evidenciado en las partes superficiales de la corteza terrestre y que contiene en ocasiones restos de materia orgánica descompuesta o en estado de descomposición* (Navarro, 2000).

Dokuchaev estableció de manera sólida que los suelos se desarrollan como resultado de la interacción de cinco factores: material madre, clima, organismos, topografía y tiempo. Solo el tiempo puede considerarse como una variable independiente; los otros cuatro dependen en mayor o menor grado uno de otro, del suelo mismo o de algún otro factor (FitzPatrick, 1987).

Los factores que intervienen en los procesos de formación y desarrollo de los suelos, denominados edafogénesis, son (<http://natureduca.iespana.es>): el clima, el relieve, la actividad biológica, la composición litológica y el tiempo de actuación de todos ellos.

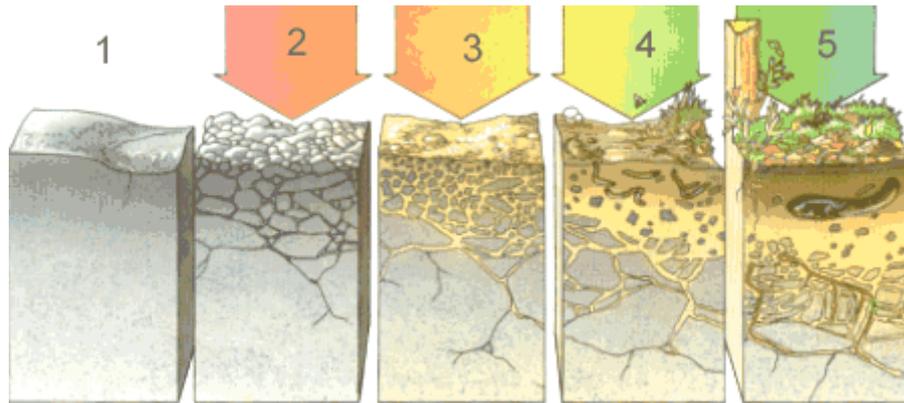


Figura 1.- Proceso de formación de los suelos: **1**-Roca madre; **2**-Acción mecánica (cambios de temperatura, hielo, etc.); **3**-Acción química del agua y de sus sales minerales; **4**-Acción de los seres vivos; **5**-Acción conjunta de todos las materias orgánicas e inorgánicas.

C.3.2.- FUNCIONES DEL SUELO:

El suelo, independientemente de su origen tiene una función primordial desde el punto de vista agrícola: soportar una vegetación, y en él se deben dar las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas (Navarro, 2000). Un buen suelo agrícola debe reunir las siguientes condiciones (Campos, 1981):

- Profundidad: el suelo ha de tener la profundidad suficiente para que las raíces se puedan desarrollar sin trabas, y asimismo para que puedan explorar un volumen de tierra adecuado para satisfacer sus necesidades nutritivas.
- Estabilidad: los suelos movedizos, como por ejemplo las arenas de las dunas, no son adecuados para el desarrollo de las plantas cultivadas que por naturaleza, son sedentarias. La estabilidad se refiere también al volumen del suelo: las variaciones excesivas, debidas a la hinchazón y contracción de los terrenos arcillosos, dañan las raíces.
- Blandura: debe ser tal que permita la fácil penetración de las raíces.
- Continuidad: las discontinuidades o grietas exponen a la planta a la intemperie y a la desecación, así como a magullamientos.

Las plantas que crecen en la tierra dependen del suelo para obtener agua y elementos nutrientes. Además, el suelo debe proporcionar un ambiente en el cual puedan funcionar las raíces. Ello requiere espacios porosos que se extiendan. Debe haber oxígeno disponible para la respiración de las raíces y el dióxido de carbono que se produce debe difundirse en vez de acumularse en el suelo. También es esencial la ausencia de factores inhibidores, como concentración tóxica de sales solubles, temperaturas extremas o patógenos (Foth, 1997).

Por lo que según Campos, (1981), un suelo ha de tener las cualidades necesarias para cumplir las siguientes funciones:

- Depósito de alimentos: el suelo constituye el almacén alimenticio de los vegetales y también su laboratorio puesto que en él se produce la transformación de varias

sustancias orgánicas y minerales antes de ser absorbidas por las raíces. Por consiguiente ha de tener todos los elementos que la planta necesita, a los que debe fijar para impedir su arrastre al subsuelo, fuera del alcance de las raíces.

- Provisión de agua: el suelo ha de ser permeable y poroso ya que retiene el agua necesaria para la planta, no solo en estado puro, sino también como sustancia en la cual se disuelven los elementos alimenticios.
- Provisión de aire: el suelo contiene entre sus partículas el aire que las raíces necesitan para respirar.
- Hábitat de microorganismos: en el suelo habitan numerosos microorganismos que contribuyen con eficacia a las transformaciones químicas que proporcionan alimento a los vegetales.

C.3.3.- EL SUELO COMO SISTEMA DISPERSO:

Si se considera el suelo en su conjunto como un sistema disperso, constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) se pueden distinguir en él cuatro grandes componentes: materia mineral, materia orgánica, agua y aire, íntimamente ligadas, mezcladas entre sí y originando un medio ideal para el crecimiento de las plantas (Navarro, 2000).

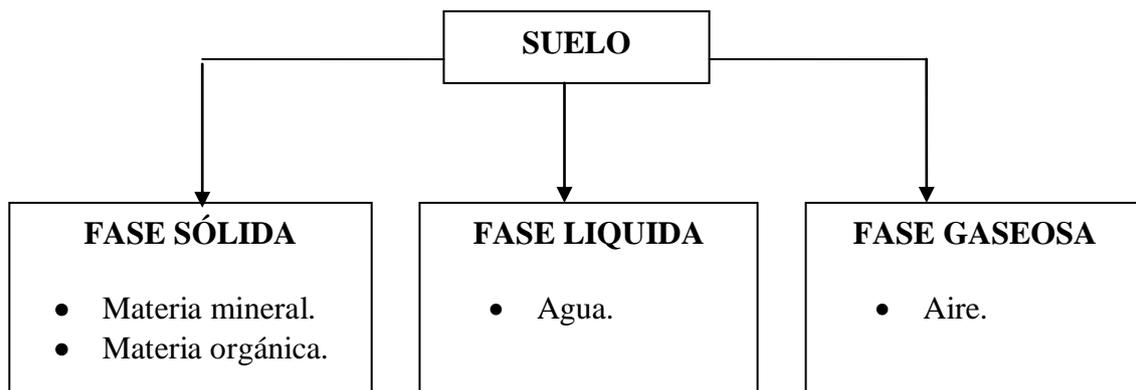


Figura 2.- Fases y componentes fundamentales del suelo.

La composición centesimal media aproximada en volumen y peso de un suelo superficial franco en buenas condiciones para el desarrollo vegetal sería (Tabla 1):

COMPONENTE DEL SUELO	% VOLUMEN	% PESO
Materia mineral	45	81
Materia orgánica	5	2
Agua	25	17
Aire	25	-

Tabla 1.- Composición centesimal media aproximada en volumen y peso de un suelo superficial franco. Fuente: Navarro (2000).

Los constituyentes minerales (inorgánicos) de los suelos normalmente están compuestos de pequeños fragmentos de roca y minerales de varias clases (www.monografías.com); es decir, es una mezcla de materiales que se diferencian entre sí en su composición y en sus propiedades. Estas características están íntimamente

relacionadas con su tamaño.

Teniendo en cuenta, por tanto, la gran influencia que el tamaño de estas partículas tiene sobre las propiedades más importantes del suelo, se clasifican en grupos convenientes según su tamaño mediante análisis mecánico o granulométrico. En la tabla 2 se presentan las principales clasificaciones atendiendo a dichos análisis según recoge Navarro, (2000):

GRANULOMETRIA Denominación	FRACCIONES	
	Denominación	Diámetros (µm)
Departamento Agricultura EE.UU. (USDA)	Arena muy gruesa.....	2000 > ϕ > 1000
	Arena gruesa	1000 > ϕ > 500
	Arena media	500 > ϕ > 250
	Arena fina	250 > ϕ > 100
	Arena muy fina	100 > ϕ > 50
	Limo	50 > ϕ > 2
	Arcilla	2 > ϕ
Sistema Internacional	Arena gruesa	2000 > ϕ > 200
	Arena fina	200 > ϕ > 20
	Limo	20 > ϕ > 2
	Arcilla	2 > ϕ
Sistema Europeo	Arena gruesa	2000 > ϕ > 600
	Arena media	600 > ϕ > 200
	Arena fina	200 > ϕ > 60
	Limo grueso	60 > ϕ > 20
	Limo medio	20 > ϕ > 6
	Limo fino	6 > ϕ > 2
	Arcilla gruesa	2 > ϕ > 0,6
	Arcilla media	0,6 > ϕ > 0,2
Arcilla fina	0,2 > ϕ	

Tabla 2.- Principales sistemas de clasificación físico-mecánica del suelo.
Fuente.- Navarro (2000).

La materia orgánica del suelo constituye sólo una pequeña parte de la fase sólida, pero desempeña una gran función, no sólo en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, sino también en lo que respecta al desarrollo de los cultivos. Representa la acumulación de las plantas destruidas y resintetizadas parcialmente y de los residuos animales (www.monografias.com). La materia orgánica del suelo se divide en dos grandes grupos:

- Los tejidos originales y sus equivalentes más o menos descompuestos.
- El humus, que es considerado como el producto final de la descomposición de la materia orgánica.

Para darse una idea general de la importancia que tiene el agua para el suelo es necesario resaltar dos conceptos:

- El agua es retenida dentro de los poros con grados variables de intensidad, según la cantidad de agua presente.

- Junto con sus sales disueltas, el agua del suelo forma la llamada solución del suelo; ésta es esencial para abastecer de nutrientes a las plantas que en él se desarrollan.

El aire del suelo es indispensable para la respiración de las raíces de las plantas, y por tanto para adquirir un desarrollo correcto. Una mala o escasa aireación produce efectos sobre procesos microbiológicos importantes que se dan en el suelo: la materia orgánica se oxida con lentitud, los microorganismos aerobios paralizan su actividad, y sólo los anaerobios actúan produciendo formas reducidas de determinados elementos, que son casi siempre tóxicos para las plantas (Navarro, 2000).

Algunos autores, como Lampkin, (2001), entre otros; incluyen los organismos vivos como principales componentes del ecosistema edáfico junto a los citados anteriormente. Según él, el suelo contiene gran cantidad de organismos diferentes, que varían tanto en tamaño como en función. Sin embargo todos ellos tienen una misión importante en la movilización de los nutrientes edáficos.

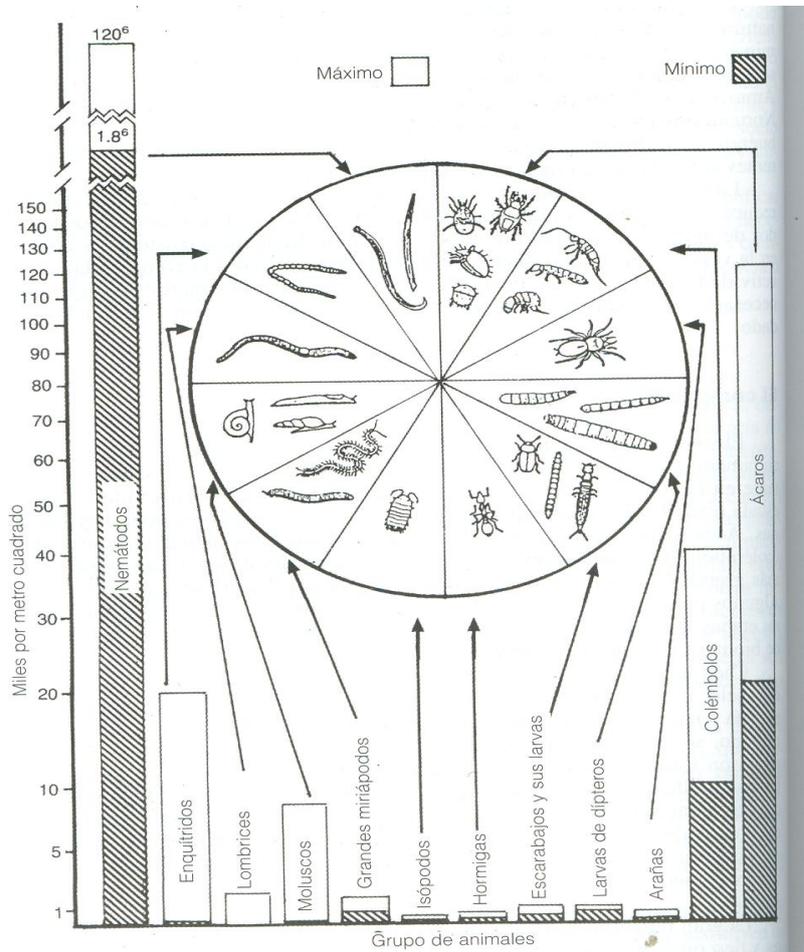


Figura 3.- Principales tipos de animales que se encuentran en el suelo. Fuente: Kevan, 1965.

La mayoría de los microorganismos del suelo son descomponedores primarios, y actúan degradando sustratos orgánicos e inorgánicos y liberando nutrientes y energía a través de complejos sistemas enzimáticos, dentro de una variedad de microespacios enorme.

Existen organismos que utilizan los compuestos orgánicos como única fuente de energía y de carbono para su ciclo vital, como son los hongos y la mayoría de las bacterias, se les denomina organismos heterótrofos, mientras que a aquellos que obtienen su energía de la luz solar, produciendo el carbono orgánico por fijación de CO₂ de la atmósfera se les conoce por fotoautótrofos, algas y bacterias fotosintéticas, y organismos quimioautótrofos a los que obtienen su energía a partir de la oxidación de compuestos inorgánicos y su carbono orgánico a partir del CO₂ (Labrador, 1996).

Conforme aumentamos de tamaño, entramos en los macroorganismos o fauna edáfica, grupo que tanto su distribución como su régimen alimenticio no pueden ser más variados, apareciendo consumidores de presas vivas, carnívoros; consumidores de plantas y madera, herbívoros y xilófagos; de hongos, micófagos; de animales muertos, necrófagos; etc. (Bonneau, 1987).

Actúan en el suelo fundamentalmente por acción mecánica; fragmentando residuos orgánicos “frescos” e incrementando con esto su superficie lo que facilita la posterior biodegradación de los mismos por parte de los microorganismos, mezclando estos restos orgánicos fragmentados con los materiales minerales del suelo, diseminando los microorganismos dentro del medio.

A su vez hay que destacar la labor de anélidos, lombrices, artrópodos, moluscos, etc., que juegan un papel muy importante sobre las propiedades físicas del suelo, así como sobre la optimización de la degradación de los restos orgánicos (Labrador, 1996).

Cada uno de estos organismos tiene un papel o función específico dentro del suelo.

C.3.4.- LA FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO:

El suelo debe proporcionar nutrientes a las plantas de una forma adecuada y en una proporción que les permita utilizarlos (Lampkin, 1998).

El crecimiento de las plantas se suele relacionar más directamente con la disponibilidad de nutrientes en el suelo que con las condiciones físicas, lo que ha llevado a que los aspectos tanto químicos como físicos de la fertilidad del suelo hayan sido mucho más ampliamente estudiados (Urbano, 2001).

Los conocimientos actuales acerca de los organismos vegetales permiten asegurar que la casi totalidad del mismo se compone de tan sólo tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno. La mayor parte de estos elementos son obtenidos a partir del aire y del agua; sin embargo, no pueden vivir ni desarrollarse solamente a base de aire y agua, sino que contienen y necesitan cierto número de elementos químicos que, por lo general, les son proporcionados a expensas de las sustancias minerales del suelo y

a través del sistema radicular.

Las raíces de las plantas absorben nutrientes de la solución del suelo, proporcionando ésta el medio químico para ellas. La solución del suelo comprende el agua del suelo y sus electrolitos, con pequeñas cantidades de gases disueltos y compuestos hidrosolubles. La composición de éste, dependerá del contenido en humedad, del ritmo de crecimiento del cultivo y de la actividad de la población microbiana.

La composición de la solución del suelo cambia a lo largo de una temporada de crecimiento (Gregory, 1992), haciéndose menos concentrada conforme avanza la estación. Sin embargo, durante el período sin cultivos, las concentraciones de iones en la solución aumentan de nuevo.

La composición química de la solución presente en los poros de un suelo es de interés inmediato en términos de nutrición vegetal (Mott, 1992). Los principales elementos que es probable encontrar son Na, K, N (NH_4^+), Mg, Ca, Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Ba como cationes, mientras que como aniones (o, en algunos casos, especies sin carga), N (NO_3^-), Cl, C (HCO_3^-), F, P, S, B, Si, As. Puede haber también una cantidad significativa de carbono orgánico disuelto en compuestos de estructura ampliamente variable.

Las plantas toman los nutrientes principalmente en forma de iones cargados eléctricamente (NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). El suelo habría de ser una especie de banco para estos iones y tenerlos bien guardados, aunque también debería facilitarlos en la medida que hicieran falta.

El suelo retiene los iones positivos (cationes) en espacios cargados negativamente, denominados coloides. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), mide la facultad edáfica para retener los cationes. Las partículas de arcilla y el humus contribuyen de forma importante a la capacidad de intercambio catiónico edáfico. Los minerales arcillosos son estructuras de sílice impuras. Estas impurezas llevan una carga positiva menor que la sílice que remplazan, y ello hace que la arcilla tenga una carga negativa. La materia orgánica edáfica contiene grupos carboxilos que se disocian para proporcionar lugares cargados negativamente, y éstos generalmente tienen el doble de carga que los minerales de la arcilla, de manera que incluso un poco de materia orgánica podría contribuir significativamente a la capacidad de intercambio catiónico (Lampkin, 2001).

La unión entre las partículas de arcilla y humus se verifica por intermedio de cationes minerales procedentes de la degradación de la roca madre. Si no fuera por este puente de unión que forman los cationes, las partículas de arcilla y de humus serían arrastradas por el agua sin posibilidad de formar el suelo (Fuentes Yagüe, 1999).

C.3.5.- LA IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN:

El hombre en su inicio como agricultor comprendió pronto que para cultivar y producir alimentos para su sustento, debía aportarle al suelo estiércol de los animales o residuos vegetales con una cierta regularidad (Cánovas y col. 1998).

Así, el uso de materiales orgánicos como fertilizantes ha estado unido a la actividad agrícola desde sus orígenes, y su empleo está relacionado directamente, desde una perspectiva histórica, con el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo (Labrador, 1996).

Durante cientos de años, muchas prácticas agrícolas estaban basadas en la firme observación de que las adiciones de materiales orgánicos relativamente frescos al suelo mejoran el cultivo y las producciones (Loveland y Webb, 2003). Esta percepción de los beneficios de la materia orgánica del suelo persiste hoy día (Watts y col. 2001).

El valor de los residuos orgánicos como fuente de nutrientes para los cultivos ha experimentado grandes cambios a lo largo de la historia (Pomares y Canet, 2001). Desde el comienzo de la Agricultura hasta hace unas pocas décadas, los residuos orgánicos en sus distintas variantes (estiércoles, basuras urbanas, excrementos urbanos, residuos agrícolas y forestales) constituían las principales o únicas materias fertilizantes utilizadas para el mantenimiento e incremento de la fertilidad del suelo. Posteriormente, con la aparición de la industria de los fertilizantes químicos, aquellos fueron reemplazándose progresivamente por productos minerales, debido principalmente a su menor coste y mayor facilidad de transporte y aplicación. Por otra parte, los cambios socioeconómicos de las últimas décadas con altas concentraciones de población en explotaciones ganaderas, prácticas consumistas, etc., han propiciado la producción de ingentes cantidades de residuos orgánicos, con los subsiguientes problemas medioambientales. Una de las vías de eliminación de estos residuos y subproductos orgánicos, defendida principalmente por sectores economistas, es el vertido. Pero esta práctica desaprovecha los recursos (materia orgánica y elementos fertilizantes), por lo que, desde un punto de vista ecológico, resultan más interesantes los sistemas de eliminación, como la utilización en agricultura que permite, adoptando las medidas pertinentes, recuperar los recursos contenidos en los residuos y minimizar su impacto negativo sobre el medio ambiente.

El suelo es un gran sistema depurador de sustancias orgánicas. Su capacidad digestiva es elevada y puede incrementarse pudiendo llegando incluso, a la degradación de la mayor parte de las moléculas orgánicas conocidas por medios relativamente económicos, lo que facilitaría la eliminación de gran parte de los residuos que se producen (Macías, 2001). Sin embargo, su utilización no debe generalizarse sin que, previamente se disponga de un conocimiento preciso de las características de los suelos y de los procesos que van a actuar sobre las moléculas orgánicas y sus acompañantes.

Hoy no se concibe la explotación agrícola sin una adecuada fertilización que permita obtener del suelo toda la capacidad productiva dentro de las limitaciones que imponen las condiciones climatológicas en cada caso.

No puede haber ninguna duda de que la *alimentación* de la planta es el factor determinante de un desarrollo sano, vigoroso y equilibrado que, a su vez, es la condición necesaria para lograr una producción óptima cuantitativa y cualitativamente, así pues, después del agua, la fertilización es el factor de producción más importante de la explotación agrícola (Domínguez, 1999).

C.3.5.1.- Fertilidad y fertilización.

La finalidad de devolver los residuos orgánicos al suelo siempre ha sido la reposición de la fertilidad física, química y biológica que el cultivo necesita y así lo expresaron en palabras de su tiempo los distintos tratadistas agrarios desde la antigüedad. La novedad que hoy se debe aportar, es que dicha aplicación debe hacerse por y para la sostenibilidad, con un enfoque integrador que incluye los sistemas agrícolas donde se desea realizar dichas aplicaciones.

La fertilidad de los suelos agrícolas es un concepto que no se encuentra definido con precisión y que, con frecuencia, pertenece más al lenguaje vulgar que al científico (Sebillotte, 1989). Si en el aspecto conceptual es frecuente encontrar caracterizaciones vagas y fragmentarias, se reconocía, ya desde antiguo, el carácter dinámico como una de las propiedades más significativas de la fertilidad. Este carácter obliga a una gestión adecuada pues, en caso contrario, la fertilidad puede reducirse hasta límites que en el plazo más o menos largo hagan inapropiados los suelos para el cultivo. Cuando los científicos del siglo XIX proponían una agricultura con estiércol y rotaciones de cultivo en las que incluyeran praderas, estaban preconizando un método de mantener la fertilidad de los suelos compensando las posibles pérdidas con la incorporación de residuos y compuestos orgánicos. (Jiménez y Lamo, 1998).

En este sentido, el concepto de fertilidad del suelo presenta gran similitud con el de *calidad de suelo* definido por la Soil Science Society of America (Karlen y Stott, 1994) como *la capacidad de una específica clase de suelos para sostener, dentro de un ecosistema natural o modificado, la producción vegetal y animal, manteniendo o mejorando la calidad del agua y del aire y apoyando la salud humana y del hábitat.*

En lo que se refiere al suelo, tradicionalmente la fertilidad se relacionaba con sus propiedades biológicas y se consideraban fértiles las tierras de color oscuro, ricas en materia orgánica y presencia o abundancia de mesofauna (lombrices, especialmente); es decir, en los suelos fértiles, las semillas y restantes órganos de reproducción vegetativa germinan y brotan con facilidad, y en ellos se obtiene un desarrollo riguroso de plantas que se cultivan. Actualmente, cuando se habla de fertilidad se tiende más a considerar la aptitud de los suelos para ser utilizados bajo diferentes sistemas de cultivos.

Según Fuentes Yagüe (1997); la fertilidad de un suelo no depende tanto de un alto contenido de materia orgánica, sino de la velocidad con que evoluciona esa materia orgánica, que es lo que tiene efectos positivos sobre la fertilidad del suelo. Los suelos más fértiles son los que destruyen mucha materia orgánica y a la vez generan muchas aportaciones de residuos orgánicos. El mantenimiento del contenido de humus de un suelo a un nivel conveniente es esencial para la conservación de su fertilidad. (Gros y Domínguez, 1992).

En tiempos pasados la fertilidad del suelo se mantenía con las restituciones (estiércol, residuos de cosechas, etc.), y esto era posible porque los sistemas agropecuarios eran sistemas cerrados, en donde las exportaciones y las pérdidas se compensaban con las aportaciones. Pero cuando los sistemas no eran cerrados, como en el caso de abastecimientos de productos a las ciudades, en donde los residuos no volvían al lugar de origen de los productos, se producía inevitablemente una pérdida de

fertilidad del suelo.

La fertilidad de un suelo hace referencia a su capacidad para suministrar elementos nutritivos. Dada la complejidad, cabe distinguir:

- Fertilidad física, que se refiere tanto a su misión como soporte de las raíces como a su capacidad para almacenar y permitir el paso del agua y el aire. Estos aspectos de la fertilidad vienen indicados por cualidades tales como: textura, porosidad, permeabilidad, etc.
- Fertilidad química. Viene definida por las propiedades físico-químicas y químicas del suelo, que condicionan su capacidad de reserva de elementos asimilables. Este aspecto viene indicado por las cualidades tales como: pH, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases, etc.
- Fertilidad biológica. Hace referencia a la actividad de los organismos del suelo (microorganismos, microfauna, raíces) que determinan, sobre todo, el estado de la materia orgánica del suelo, que influye decisivamente en las fertilidades física y química.

La fertilización se basa en unos principios experimentales que, según Fuentes Yagüe (1999), son los siguientes:

1. Ley de la restitución. *Para mantener la fertilidad de un suelo es necesario reintegrar los elementos nutritivos que exportan los cultivos.* Esta ley debe ser matizada, ya que la variación de las reservas del suelo en elementos nutritivos no suelen coincidir con las exportaciones de los cultivos, debido a que de una forma natural hay aportaciones (fijación microbiana de nitrógeno atmosférico, transformación de compuestos no asimilables en asimilables, etc.) y pérdidas (lixiviación, volatilización, transformación de compuestos asimilables en no asimilables, etc.).
2. Ley del mínimo o de los factores limitantes. *La escasez de un elemento nutritivo en forma asimilable reduce la eficacia de los restantes elementos, por lo que disminuye el rendimiento de la cosecha.* La aportación de fertilizantes tiene que hacerse de forma equilibrada entre todos los elementos nutritivos. Liebig comprobó que el elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad limita el rendimiento de la cosecha. Sin embargo, el factor limitante no se refiere sólo a los elementos nutritivos, sino que debe hacerse extensivo a todos los factores que intervienen en la producción (clima, suelo, cultivo). En consecuencia, la fertilización tiene que ser equilibrada en cada uno de los elementos nutritivos y, a la vez, tiene que estarlo con los demás factores de la producción.
3. Ley de los rendimientos decrecientes. *A medida que aumenta la cantidad aportada de un elemento nutritivo, disminuye el incremento del rendimiento que se consigue por cada unidad de fertilizante aportada.* Cuando se aportan al suelo cantidades crecientes de elementos nutritivos, el aumento de producción que corresponde al aumento de la dosis se va haciendo cada vez más pequeño, hasta que llega un momento que la producción no aumenta y empieza a disminuir.

C.3.5.2.-Los fertilizantes.

En términos amplios se puede considerar como materia orgánica fertilizante cualquier sustancia que contenga una cantidad apreciable y en forma asimilable uno o varios elementos nutritivos esenciales para los cultivos.

Sin embargo, la denominación de fertilizantes se ha venido dando, generalmente a los productos químicos inorgánicos que contenían alguno o varios de los tres macroelementos primarios: nitrógeno, fósforo y potasio.

Se definen como fertilizantes a los productos naturales orgánicos o minerales inorgánicos que contienen al menos algunos de los tres elementos principales, pudiendo contener, además, otros elementos nutritivos (Domínguez, 1989).

Los fertilizantes o abonos son productos naturales o sintéticos que aportan a las plantas uno o varios elementos nutritivos.

En muchos casos, los fertilizantes, además de aportar elementos nutritivos, alteran las propiedades físicas y físico-químicas del suelo (estructura, pH, capacidad de intercambio catiónico, salinidad, etc.), por lo que también intervienen indirectamente en la nutrición de las plantas. Por lo tanto, al aportar al suelo un fertilizante hay que tener en cuenta sus efectos sobre el suelo, procurando elegir aquellos cuyos efectos sean favorables o, al menos, lo menos desfavorables.

Según su origen, los fertilizantes pueden ser:

- Fertilizantes minerales: los fertilizantes minerales o abonos minerales son productos desprovistos de materia orgánica, que contienen una cantidad apreciable de elementos nutritivos en forma asimilable por las plantas.

Según que contengan uno o varios elementos primarios, los fertilizantes se clasifican en:

- Simples: contienen un elemento primario. Se llaman nitrogenados, fosforados o potásicos, según que contengan, respectivamente, nitrógeno, fósforo o potasio.
- Compuestos: contienen dos o tres elementos primarios. Se llaman binarios si contienen dos elementos y ternarios si contienen tres elementos.

Según su estado físico, los abonos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos:

- Abonos sólidos. Las formas de presentación son las siguientes:
 - En polvo. Su manejo resulta molesto, entorpecen el funcionamiento de las abonadoras y se producen pérdidas cuando su distribución se hace con viento.

- Cristalina. Su distribución resulta aceptable. Se utilizan poco.
 - Granulado. La fórmula de gránulos permite una buena manipulación y distribución en el campo. Los gránulos tienen un tamaño comprendido entre uno y cuatro milímetros.
 - Perlado. Tienen una forma de pequeñas esferas de tamaño muy uniforme.
 - Macrogranulado. Los gránulos tienen un tamaño de uno a tres centímetros de diámetro.
- Abonos líquidos. Los tipos más usuales son los siguientes:
 - Soluciones claras sin presión. Contienen uno o varios elementos nutritivos disueltos en agua.
 - Soluciones con presión. Contienen productos nitrogenados disueltos en agua, en concentración elevada y sometidos a una presión superior a la atmosférica, por lo que se necesitan equipos especiales para su manipulación.
 - Suspensiones. La elevada concentración de elementos nutritivos no permite la disolución total, por lo que se mantienen en suspensión en el agua mediante la ayuda de la arcilla; para que el producto aplicado sea homogéneo hay que agitar periódicamente
 - Abonos gaseosos. El único abono que se aplica de esta forma es el amoníaco anhídrido, que es líquido cuando está sometido a presión y se vaporiza en el momento de la aplicación. Tiene una concentración muy elevada. Requiere unos equipos especiales para su manejo y aplicación en el suelo.
- Fertilizantes orgánicos: Un fertilizante orgánico es un residuo vegetal más o menos transformado, que contiene materia orgánica y elementos nutritivos. Son fertilizantes orgánicos los estiércoles sólidos y líquidos, los materiales de origen fósil o semifósil y los subproductos de la tecnología medioambiental.

La totalidad del fósforo, potasio y otros elementos secundarios y microelementos contenidos en los abonos orgánicos se encuentran en formas asimilables por el cultivo en un plazo de tiempo relativamente corto. Una parte del nitrógeno orgánico se libera con rapidez mediante una mineralización rápida de la materia orgánica, mientras que el resto queda bloqueado en el humus, desde donde se libera al cabo de mucho tiempo mediante una mineralización lenta.

C.3.6.- CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ZONA:

Según un trabajo realizado por Pastor, M. y col., los suelos sobre los que se desarrolla el cultivo de olivar en la zona de Sierra Mágina, muy parecida a la zona de estudio, presentan la particularidad de tener todos ellos como denominador común, un elevado contenido de carbonato cálcico.

Se estima que un 35% corresponde a Regosoles, que es la tipología más dominante; un 24% son cambisoles; y un 11% son Leptosoles. Testimonialmente ha aparecido algún Castagnozen, Yipsisol o Vertisol.

Como conclusión, Pastor, M. y col., terminan diciendo que los Cambisoles Calcáricos son los suelos más adecuados para el desarrollo del olivar; además es importante considerar los casos de los suelos que presentan limitaciones de productividad debidas a la profundidad y en estos casos adoptar todas las prácticas de cultivo que colaboren a evitar la erosión y que ayudan a la conservación de suelos.

En la mayoría de los casos se trata de suelos de limitada fertilidad, observándose que el bajo contenido en potasio de cambio hace que el abonado con este nutriente sea recomendable en la mayoría de las situaciones. Por otro lado, los altos contenidos en carbonato cálcico, así como el alto porcentaje de arcilla hace que el abonado potásico vía suelo pueda ser relativamente poco eficaz en olivares de secano, aunque en los programas de fertilización podría ser eficaz, a medio y largo plazo, su utilización.

También se observa que alguno de los suelos (Leptosoles eútricos fundamentalmente) son relativamente pobres en fósforo asimilable, por lo que este nutriente debería ser igualmente tenido en cuenta en la programación de la fertilización del olivar que se asienta en estos suelos.

Los contenidos en magnesio son bajos a muy bajos, lo que debe tenerse en cuenta se llegaran a plantearse problemas desde el punto de vista de la nutrición del olivar.

Teniendo en cuenta la susceptibilidad a la erosión y la limitada profundidad de algunos de estos suelos, la aplicación de prácticas de laboreo reducido es recomendable. Los sistemas con cobertura del suelo son imprescindibles para luchar con la erosión.

C.4.- LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

La materia orgánica de los suelos representa en sí misma, un sistema complejo integrado por diversos componentes. Su dinamismo está determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y la transformación y evolución de éstos, mediada por la interacción de múltiples procesos (Labrador, J. 1996).

Los componentes químicos existentes en todo este material originario son muchos y variados. Clasificados en grupos, se exponen en la tabla 3:

COMPONENTES QUÍMICOS DEL MATERIAL ORIGINARIO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	
Hidratos de carbono	Monosacáridos: Pentosas, hexosas
	Oligosacáridos: Sacarosa, maltosa
	Polisacáridos: Arabanas, poliuronidos...
Ligninas (*)	Polímeros derivados del fenilpropano
Taninos (*)	Complejos fenólicos
Glucósidos	Compuestos glucosa+alcohol, fenol o aldehidos
Ácidos orgánicos, sales y ésteres	Ácidos oxálico, cítrico, málico, etc.
Lípidos y afines	Grasas y aceites: Ésteres glicéricos
	Ceras: Ésteres no glicéricos
	Aceites esenciales: Derivados del terpeno
Resinas (*)	Ácidos resínicos
Compuestos nitrogenados	Proteínas, aminoácidos, aminas y bases orgánicas
	Alcaloides
	Purinas, pirimidinas, ácidos nucleicos
Pigmentos	Clorofilas
	Carotenoides
	Antocianinas
Compuestos minerales	Aniones y cationes

Tabla 3.- Grupos de compuestos más importantes del material originario de la materia orgánica del suelo.

Los compuestos marcados con asterisco se consideran de más difícil descomposición.

Fuente: Navarro, 2000.

En suma, los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15% de la reserva total de materia orgánica (Kononova, 1982).

Sin embargo, la porción principal de la parte orgánica del suelo está representada por sustancias húmicas propiamente dichas, la formación de las cuales se verifica en procesos de complicadas transformaciones de los restos vegetales y animales de partida. Este grupo de sustancias constituye en los suelos minerales hasta el 85-90% de la reserva total de humus.

En los suelos cultivados puede haber, además, aportes de materias orgánicas de origen y características muy diversas que vienen a sumarse a los residuos anteriormente citados (Urbano, 2001). A veces, no se valora suficientemente el papel de la materia orgánica, por tener estos suelos menores contenidos y por considerar que los fertilizantes pueden desempeñar su papel, lo que resulta parcialmente cierto (Porta, 2003).

La materia orgánica presente en el suelo es el resultado del balance entre los aportes y las pérdidas de toda índole, incluida la erosión.

El progresivo aumento de la materia orgánica en los primeros centímetros del perfil incrementa las reservas de nutrientes (González, 1997; Rhoton, 2000) que pueden

ser liberados paulatinamente, a un ritmo distinto al experimentado en los suelos labrados (Fox Y Bande, 1987).

C.4.1.- HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:

Los conceptos actuales sobre el humus del suelo se formaron como resultado de su prolongado estudio. Un examen crítico de la literatura revela la complejidad de las vías de desarrollo de la investigación en el dominio del humus del suelo, la existencia de múltiples contradicciones en los puntos de vista que obligan a volver reiteradamente a la revisión, incluso, de las tesis fundamentales, concernientes al hecho mismo de la existencia de las sustancias húmicas, su naturaleza, y vías de formación.

-Principales tendencias de la investigación de la materia orgánica del suelo.

En la segunda mitad del siglo XVIII, en el libro de Walerius (1761), que es el primer manual de química agronómica, ya hay indicaciones sobre la formación del humus al descomponerse las plantas y sobre algunas de sus propiedades: la capacidad de embeber el agua, de absorber las sustancias nutritivas; el humus se considera como alimento de las plantas. Se hacen intentos de extraer las sustancias húmicas con ayuda de soluciones alcalinas a partir de turbas, restos vegetales en descomposición, y suelos (Achard, 1786; Vauquelin, 1797-98; Thomson, 1807).

En este periodo, M.V. Lomonosov (1763) expresa la idea de que las tierras ricas en mantillo proceden de “la pudrición de los cuerpos animales y vegetales con el tiempo”. Otro científico ruso, Komov, en su tratado *Sobre agricultura* (1789), expuso una serie de tesis concernientes al papel del humus en la nutrición de la planta y en la creación de un régimen hidro-físico favorable a esta en el ambiente suelo. A finales del XIX surgió la idea sobre la posibilidad de una asimilación directa por el vegetal de las sustancias húmicas y sobre la participación de estas en la nutrición de las plantas.

Esta tesis fue tomada por Thaer (1809) como fundamento de la teoría húmica de la nutrición vegetal y en una interpretación algo distinta se compartía más tarde por Grando (1872, 1873).

La primera mitad del siglo XIX debe considerarse como el principio de las investigaciones sistemáticas de la naturaleza química de las sustancias húmicas, cuyos distintos representantes fueron obtenidos de suelos, aguas de manantiales y restos vegetales en putrefacción.

Al químico alemán Sprengel (1826, 1837) pertenecen las primeras descripciones detalladas y los análisis del principal representante de las sustancias húmicas: el ácido húmico. Sprengel determinó la naturaleza ácida de dicha sustancia, las propiedades de las sales; señaló la relación existente entre la presencia del ácido húmico en el suelo y la fertilidad de este. Para la forma de ácido húmico poco soluble en álcali (que se origina por desecación o congelación) Sprengel introdujo el término “carbón húmico”, considerando a este último como un nuevo representante de las sustancias húmicas.

Con el nombre del químico sueco Berzelius (1839) está relacionado el concepto sobre los ácidos crénico y apocrénico. Estos ácidos descubiertos por Berzelius en las aguas de una fuente mineral; él señaló la posibilidad de que existiera también en el suelo. Según los datos de Berzelius, estos se distinguen del ácido húmico por un color más claro, por un contenido menor en carbono (44-49% en lugar de 58%), por una mayor solubilidad de las sales, y por algunos otros síntomas. Todo esto sirvió de base a los investigadores de aquella época para considerar los ácidos crénico y apocrénico como representantes especiales de las sustancias húmicas, distintos del ácido húmico; el ácido apocrénico se tenía por producto de oxidación del crénico.

Las investigaciones e ideas de Sprengel y Berzelius en el dominio del estudio de la naturaleza química de las materias húmicas tomaron desarrollo en los trabajos de una serie de científicos contemporáneos y discípulos, de los cuales los más destacados son el químico holandés Mulder (1861-62) y el investigador ruso Duerman (1840-42).

Mulder, aprovechando los materiales acumulados por aquel entonces, sistematizó las materias húmicas según el color, solubilidad, en agua y soluciones alcalinas, en los siguientes grupos: 1) insolubles en álcali: ulmina y humina; 2) solubles en álcali: ácido húmico pardoulmico, negro-húmico; 3) solubles en agua: ácido crénico y apocrénico.

Según las ideas de aquella época, se consideraba que cada una de las sustancias citadas es completamente individual (o sea, que tiene una composición elemental, color y propiedades determinados). Tales ideas eran erróneas, como se reveló ya en aquellos años por las investigaciones de Duerman. Extrayendo los ácidos húmicos de distintos suelos y turbas, Duerman estableció que su composición elemental variaba algo; existía, pues, el hecho del polimorfismo de los ácidos húmicos. Sin embargo, en consonancia con el espíritu de la época, Duerman, como otros investigadores que descubrieron un fenómeno semejante, consideraba a cada representante de los ácidos húmicos como un compuesto independiente, dotándole de nombre especial y de fórmula química. Como resultado surgió la confusión en la terminología, que más tarde se reflejó también en las ideas sobre las materias húmicas. A ello contribuyó asimismo la ausencia en aquel periodo de nociones correctas sobre los agentes del proceso de formación de las sustancias húmicas y sobre el mecanismo de dicho proceso.

Los procedimientos de obtención de sustancias húmicas por vía química (haciendo hervir con álcalis y ácidos fuertes hidratos de carbono, proteínas y otras sustancias vegetales) ampliamente usados, no ayudaban a resolver estos problemas confusos y provocaron la suposición de si las sustancias húmicas no sería más que productos artificiales que se forman al actuar sobre la tierra con soluciones alcalinas, que se emplean habitualmente para extraer estas sustancias. Semejante escéptica actitud hacia la existencia de las materias húmicas se mantuvo también en los primeros decenios del siglo actual.

Sin embargo, el desarrollo de la microbiología y, sobre todo, de la bioquímica de los microorganismos debido a los brillantes descubrimientos de Pasteur, influyó también en la investigación en el dominio del humus. Ya en el último cuarto del siglo XIX, por las obras de grandes científicos (Post, 1862; Darwin, 1882; Kostichev, 1884, 1886, 1889; Müller, 1887; Ramann, 1888 y otros) fue establecido que la formación del

humus representa en sí un proceso biológico debido a la actividad de seres vivos, microorganismos y, también, de representantes del mundo animal (topos, lombrices, insectos). A la luz de dichos descubrimientos, los procesos relacionados con la humificación de los restos orgánicos empiezan a considerarse como bioquímicos; se esclarece la influencia que sobre ellos ejerce la intensidad de temperatura, humedad, aireación y las propiedades físicas del suelo. Tales son los trabajos clásicos de Schloesing (1876, 1902); Kostichev (1886, 1889, 1890); Wollny (1886, 1897); Deherain (1884, 1888, 1896, 1902); etc.

El nacimiento de una nueva tendencia, tendencia biológica, en el estudio del problema del humus del suelo, tuvo tanta mayor importancia y fue tanto mas perspectivo, como que en aquel periodo fueron colocados por obra de V. V. Dokuchayev y P. A. Kostichev los cimientos de la ciencia del suelo como cuerpo natural que se forma por la interacción de una serie de factores, entre los cuales un papel excepcional pertenece a los factores biológicos (a la capa vegetal y a la actividad de los seres vivos).

Según esta doctrina, el humus se considera como una parte fundamental del suelo, que tiene inmensa importancia en los procesos de formación de este y en la fertilidad, y en su presencia es el síntoma cualitativo que distingue el suelo de la roca madre.

La fructuosidad de las ideas de Dokuchayev y Kostichev está demostrada por la historia del desarrollo de la edafología y agronomía. Cabe destacar la tesis de Dokuchayev sobre las regularidades geográficas de la formación del humus; sobre la importancia de la vegetación herbácea vivaz en la formación del chernoziom (mantillo); sobre el papel de esta vegetación e el restablecimiento de la fertilidad del suelo (Dokuchayev, Kostichev). Hasta hoy día conservan su importancia los trabajos de Kostichev para la investigación del proceso de humificación de los restos vegetales. En dicho proceso determinó el papel fundamental que desempeñan los microorganismos y animales y, en particular, la participación de los productos de síntesis microbiana en la formación de las sustancias húmicas.

De este modo, los trabajos de los microbiólogos y edafólogos de la segunda parte del siglo XIX señalaban las vías perspectivas en el estudio de la naturaleza de las materias húmicas, en la bioquímica de la formación, y en el esclarecimiento de su papel polivalente en el suelo. Sin embargo, el desarrollo posterior de las investigaciones en el dominio del humus del suelo perteneciente a las primeras décadas del siglo XX, transcurriría por vías complicadas y, a veces, falsas.

Precisamente en este periodo fue cuando se pusieron más claramente de manifiesto las divergencias de principios en los puntos de vista sobre la naturaleza del humus del suelo.

Algunos investigadores consideraban las materias húmicas como un grupo de compuestos naturales peculiares, cuya formación es debida a procesos complejos de transformación de restos orgánicos. Otros las tomaban por productos artificiales que se originan al tratar el suelo con soluciones alcalinas, las cuales se emplean para la extracción de dichas materias. El humus se consideraba sólo como una mezcla de

compuestos orgánicos de naturaleza individual que son productos de descomposición de restos de origen vegetal y animal. Al desarrollo de este último punto de vista sobre el humus del suelo contribuyeron los trabajos de los investigadores americanos Schreiner y Shorey (1908-1911), realizados preferentemente en la primera década del siglo XX. Por ellos fue extraída del suelo y del conjunto de materias húmicas gran cantidad de compuestos químicamente individuales, pertenecientes a distintos grupos conocidos en la química orgánica (hidrocarburos, grasas, fosforados y nitrogenados, y otros).

Estas investigaciones tuvieron sin duda un valor positivo, ampliando los conocimientos sobre el grupo de sustancias de naturaleza individual que entran en la composición de la parte orgánica del suelo. Pero en aquellos años (principio del siglo XX) los trabajos de Schreiner y Shorey desviaron la atención de los investigadores del estudio del grupo de sustancias húmicas propiamente dichas, que son las predominantes en la composición de la parte orgánica de los suelos formados. Esto explica los fracasos sucedidos a científicos que intentaron aplicar los principios de las investigaciones de Schreiner y Shorey en el estudio comparativo del humus del suelo; no consiguieron descubrir diferencias esenciales de su naturaleza, incluso, en caso de distintos tipos de suelos.

Al mismo tiempo, en las dos primeras décadas del siglo XX, muchos investigadores continuaban el estudio de las materias húmicas propiamente dichas. Trabajos detallados en este sentido fueron realizados por el científico sueco S. Oden (1919, 1922). Este sistematizó las sustancias húmicas en los cuatro grupos siguientes: carbón húmico, ácido húmico, ácido himatomelánico y fulvoácidos; a estos últimos Oden los consideraba análogos a los ácidos crénico y apocrénico de Berzelius. Oden se inclinaba a considerar los ácidos húmicos e himatomelánico como compuestos químicos que poseen constancia de algunos síntomas; los carbonos húmicos y fulvoácidos, en su opinión, son conceptos de grupo. Debido a la falta de métodos de investigación profunda de la naturaleza de las sustancias húmicas en aquellos años, Oden las sistematizó empleando los síntomas antiguos, evidentemente insuficientes: diferencias en el color y relación a los disolventes (agua, alcohol y álcali).

Gran interés suponen las investigaciones de Oden de las propiedades quimico-coloidales de los ácidos húmicos (acidez, grupos funcionales, peso molecular y otras). merecen atención los resultados de su estudio de los soles de los ácidos húmicos, investigaciones ultramicroscópicas, ópticas, y demás. Sobre los datos del estudio de las propiedades físico-químicas de las materias húmicas, Oden basaba la necesidad de encalar los suelos turbosos ácidos.

Una aportación considerable al estudio de la naturaleza del humus fue hecha por A. A. Shmuk, cuya obra pertenece al periodo de 1914-1930. Como parte más característica del humus, Shmuk consideraba los ácidos húmicos, cuya particular naturaleza no le producía duda alguna. Sin embargo, a diferencia de los químicos del siglo XIX, y de S. Oden, Shmuk consideraba los ácidos húmicos no como compuestos de naturaleza individual, sino como un grupo de sustancias que poseen características comunes de estructura; en esto las ideas de Shmuk están próximas a los conceptos actuales.

Es profundamente justa la tesis presentada por Shmuk de que la sistematización

de las sustancias húmicas en grupos según los síntomas de solubilidad en tales o cuales disolventes es condicional; la distinta relación hacia estos últimos puede ser explicada por el estado diferente de una misma sustancia. Basándose en sus propias investigaciones y en los bibliográficos, Shmuk formuló el concepto sobre los ácidos húmicos como suspensiones altamente dispersas, que están como en el límite entre los coloides y cristaloides, pero que al mismo tiempo poseen una serie de síntomas típicos, propios de las sustancias en estado coloidal: capacidad de precipitarse por los electrolitos, propiedades de adsorción, tendencia a hincharse, etc. Gran interés suponen los resultados del estudio de la naturaleza química de los ácidos húmicos extraídos por él del chernosem. Shmuk demostró convincentemente su estructura aromática y la presencia de grupos funcionales (carboxilos y fenólicos). No menor interés tienen los materiales sobre el estudio de las formas del nitrógeno de los ácidos húmicos; entre los productos de hidrólisis de estos, Shmuk determinó los principales aminoácidos, característicos de las sustancias proteicas, y entre ellos, aminoácidos de naturaleza aromática (indol, scatol y otros). Teniendo en cuenta que los compuestos orgánicos nitrogenados de los restos vegetales se descomponen rápidamente por los microorganismos, Shmuk consideraba que el nitrógeno del suelo es de origen secundario: su fuente es el plasma de los microorganismos. Así, encontramos en la obra de Shmuk el desarrollo de la idea de Kostichev sobre la participación de elementos del plasma microbiano en la formación de las sustancias húmicas.

Al periodo de las primeras décadas del siglo XX pertenecen las investigaciones de Kravkov (1906, 1908, 1911). Kravkov estableció el gran papel de los compuestos orgánicos solubles en agua de los restos vegetales en los procesos de formación del suelo (en particular, en los fenómenos de lixiviación de elementos minerales de los suelos y en la formación de sustancias húmicas). Esta idea fue desarrollada por Kravkov y otros en años posteriores (Kravkov, 1938).

En el estudio del complejo problema sobre el origen de las sustancias húmicas y el mecanismo de su formación, un gran mérito pertenece al discípulo de Kravkov, Trusov. Como resumen de muchos experimentos cuyos resultados fueron publicados en 1914-1916, Trusov llega a la conclusión de que, como fuente de humus pueden servir distintas sustancias vegetales y los compuestos que se utilizan con facilidad por los microorganismos (celulosa, hemicelulosas, mono y disacáridos, ácidos orgánicos, y otros) son fuentes indirectas que participan en la formación de sustancias húmicas, atravesando el estadio de transformación previa a plasma de microorganismos.

Otras sustancias vegetales, más resistentes a la acción de los microorganismos (predominantemente de estructura aromática: lignina, taninos, aminoácidos de naturaleza aromática), son fuente directa de las materias húmicas. Trusov representa su transformación en sustancias húmicas de la siguiente manera: disociación hidrolítica hasta compuestos más simples de naturaleza aromática –oxidación de estos con formación de quinonas-, condensación posterior de las quinonas, y su transformación en compuestos de color oscuro (materias húmicas). Así fue formulada la tesis sobre los procesos de dirección opuesta, de descomposición-síntesis, que son la base de la formulación del humus en conjunto. Extraordinariamente interesante es la idea de Trusov de que la condensación (síntesis) transcurre con la participación de fermentos-oxidadas que se contienen en los microorganismos y tejidos de restos vegetales en descomposición (Trusov 1916, 1917). Estas reflexiones, expresadas sobre la base de las

ideas generales de oxidación y condensación de compuestos aromáticos, están ahora demostradas experimentalmente y sirven de fundamento de los conceptos actuales sobre la bioquímica del proceso de formación del humus.

Con los primeros decenios del siglo XX, están relacionados los trabajos de V. R. Williams sobre el humus del suelo (1897, 1902, 1914, 1939). Sus ideas sobre el humus derivan de la concepción sobre las agrupaciones biológicas, que incluyen plantas y microorganismos, por los cuales se determina el curso del proceso de formación del suelo, el carácter de descomposición de los restos orgánicos, y la naturaleza de las sustancias húmicas que se originan. Williams consideraba que el proceso de formación del humus consta de dos etapas; la primera etapa es la descomposición de los restos vegetales originarios con formación de compuestos orgánicos más simples que el material de origen; la segunda etapa es la síntesis de sustancias de naturaleza compleja (sustancias húmicas propiamente dichas).

Williams hacía amplia propaganda del cultivo de hierbas vivaces, como principal procedimiento para elevar la fertilidad del suelo, basando la utilidad de dicho procedimiento preferentemente en la formación de una estructura resistente al agua, que garantiza la creación de condiciones de régimen nutricional e hidro-aéreo óptimas para la planta.

Del breve resumen de trabajos expuesto se deduce que los primeros decenios del siglo pasado, en el dominio del estudio de la naturaleza de las materias húmicas y de la bioquímica de su formación, fueron obtenidos resultados sumamente importantes. La mayoría de investigadores (Oden, Kravkov, Shmuk, Trusov, Williams) consideraban las sustancias húmicas como un grupo característico de la parte orgánica del suelo.

Al mismo tiempo, en el periodo de los años veinte existían otros conceptos, según los cuales, el humus del suelo se consideraba como una mezcla de compuestos orgánicos de naturaleza individual. El portavoz de estas ideas era S. A. Waksman.

En la concepción de Waksman sobre la composición del humus, sobre el origen de las sustancias húmicas y mecanismos de su formación, se reflejaban las ideas derivadas de los trabajadores de Shreiner y Shorey, por un lado y, por otro lado, de los investigadores alemanes en el dominio de la química de los carbones fósiles y turba (Fisher y Schrader, 1921, 1922, 1933, Fuchs, 1931, 1936, y sus seguidores), según los cuales, como principal fuente de los ácidos húmicos se consideraba la lignina.

En numerosos ensayos de descomposición de restos vegetales, efectuados por Waksman y otros (Waksman, 1926, 1927, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933), fue establecida la resistencia relativa de la lignina hacia la acción de los microorganismos y, al mismo tiempo, la desintegración intensa de los hidratos de carbono simples y la celulosa. La descomposición de las hemicelulosas y proteínas iba acompañada de una nueva formación en forma de plasma de microorganismos, los cuales se desarrollan en abundancia en los restos vegetales en el proceso de humificación y, por lo tanto, el contenido de estos grupos disimula de manera menos notable. Resultados análogos que señalan una desintegración rápida de los hidratos de carbono simples y compuestos de los restos vegetales y resistencia de los tejidos lignificados fueron obtenidos por muchos investigadores, por ejemplo Wehmer (1915, 1925, 1927), Grosskopf (1926, 1928, 1929,

1935).

Como resultado de sus investigaciones, Waksman llegó a la conclusión de que las sustancias de fácil descomposición (celulosa, hidratos de carbono simples y otros) juegan un papel insignificante en la formación del humus; la fuente principal de las sustancias húmicas son, en primer lugar, la lignina de los tejidos vegetales y, en segundo, las proteínas resintetizadas en forma de plasma microbiano. En la acción conjunta de estos dos componentes se forma el “núcleo del humus”, denominado por Waksman como complejo lignoproteico (1935).

Waksman negaba la existencia en el suelo de materias húmicas como compuestos naturales, considerándolas como sustancias artificiales que se forman al actuar sobre el suelo con soluciones alcalinas. El escepticismo de Waksman en lo referente a las materias húmicas se dejó sentir también en el hecho de que, incluso, para el “núcleo del humus” conservó el nombre de las sustancias originarias: lignina y proteína.

Sin embargo, ya en los años treinta, algunos científicos, Springer (1934, 1935), Y. V. Tyurin (1937), y otros, se manifestaron a través de la prensa indicando que no tenía fundamento la negación de Waksman de la presencia en el suelo de sustancias húmicas propiamente dichas, de cuyo contenido, composición y naturaleza depende la particularidad de la fracción orgánica de los diferentes suelos.

La variedad de estas reflexiones críticas se confirmó por el fracaso de las tentativas de muchos autores de utilizar el método propuesto por Waksman para el estudio de la composición del humus, según el esquema de análisis de sustancias vegetales: incluso en suelos muy distintos entre sí por los caracteres genéticos, no se pudieron revelar diferencias características en la naturaleza del humus.

Este problema se resolvía felizmente empleando esquemas de análisis de la composición del humus que incluía la determinación de sustancias específicas de suelos: ácidos húmicos, fúlvoácidos, huminas. En la Unión Soviética tales esquemas fueron propuestos por Tyurin (1940, 1949, 1951); su aplicación permitió revelar las diferencias características en la composición del humus de los principales tipos y subtipos de suelos.

No se confirmó la idea sobre la lignina como fuente principal de los ácidos húmicos; en muchos trabajos fue establecida la posibilidad de su formación por descomposición de distintas sustancias vegetales, igual que a cuenta de los productos de la actividad vital y metabolismos de los microorganismos (Soroquina y Tiani-Riadno, 1933; Mishustin, 1938; Guelster, 1940; Rippel, 1935).

Como resultado final, ya en los años anteriores a la guerra, la concepción de Waksman sobre la composición del humus del suelo y el mecanismo de formación de las materias húmicas había perdido, en gran medida, la importancia.

Después del conflicto bélico aparecen un gran número de obras sobre el estudio de las materias húmicas. La aplicación de nuevos métodos (químicos, análisis rotenoestructural, microscopía electrónica, distintos tipos de cromatografía y

espectroscopia) aumentan las posibilidades del estudio profundo de la naturaleza y estructura de estas materias.

La existencia de las sustancias húmicas como compuestos naturales se demuestra gracias a la posibilidad de extraer las sustancias húmicas de restos vegetales humificados en forma de soluciones acuosas y de suelos, mediante procedimientos suaves.

Así, se descubre la compleja estructura de las materias húmicas, en la que entran a formar parte moléculas constituidas por diversas unidades estructurales, entre las que destacan los compuestos aromáticos de carácter fenólico y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos. Pero a pesar de esta diversidad, los distintos representantes de las sustancias húmicas conservan principios semejantes de estructura.

En los distintos suelos, las reservas de humus, la composición de las materias húmicas, y su naturaleza, son considerablemente distintas.

Mediante estudios comparativos se estableció que el proceso de formación del humus está determinado por el complejo de condiciones del medio suelo, y se concretó el papel de las sustancias húmicas en relación con cada uno de los suelos.

Continuando con el estudio de las materias húmicas de naturaleza individual, se vislumbró su participación en la nutrición vegetal, así como en la erosión de minerales y rocas, en la formación del podsol, y otros procesos.

También atrajeron la atención cuestiones relacionadas con el origen de las sustancias húmicas y el mecanismo de su formación llegando a la conclusión de que la formación de estas sustancias se debe a transformaciones complejas de los restos orgánicos iniciales de origen animal y vegetal, y que tanto las sustancias vegetales aprovechadas en mayor o menor grado por los microorganismos, pueden ser fuentes originarias de unidades estructurales, de las cuales se forman las moléculas de las sustancias húmicas. Además como unidades estructurales pueden servir no sólo los productos de descomposición de los restos orgánicos, sino también los productos del metabolismo y resíntesis de los microorganismos. El papel más importante en la condensación de las unidades estructurales pertenece a los fermentos oxidantes de origen microbiano.

En los últimos años se desarrolla intensamente el apartado referente a la participación de las sustancias orgánicas del suelo en los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta. Se ha establecido la posibilidad de ingreso de sustancias húmicas y de algunos compuestos orgánicos de naturaleza individual en la planta, donde se incorporan a los procesos de respiración y metabolismo, elevando el "tonus vital" del organismo vegetal. Esto último contribuye a intensificar el consumo de elementos nutritivos del suelo de los fertilizantes aportados y, en definitiva, asegura un mejor desarrollo de la planta. De este modo, creando con ayuda de la materia orgánica un fondo biológicamente activo, el hombre tiene la posibilidad de intervenir en el metabolismo de la planta, teniendo como fin la elevación de la productividad.

C.4.2.- NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO:

La materia orgánica del suelo tiene su origen en los restos de vegetales, animales y microorganismos que se acumulan en el suelo o se incorpora a él, y que están sometidos a un proceso constante de transformación, bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos. Sobre estos residuos actúan microorganismos que los descomponen y transforman en otras materias, según dos procesos distintos (Fuentes, J. L., 1999):

- Una parte de los componentes de los residuos orgánicos se descompone con rapidez en formas inorgánicas simples (agua, dióxido de carbono, nitratos, sulfatos, etc.). Este proceso se llama *mineralización*.

- La fracción que no se mineraliza en esta primera etapa experimenta un proceso de descomposición, degradación y síntesis de nuevos compuestos, que en sentido amplio reciben el nombre de *humus*. Este proceso se llama *humificación*. Posteriormente el humus se mineraliza muy lentamente, descomponiéndose en productos inorgánicos simples.

A diferencia de Fuentes, J. L. (1999), Urbano (2001) dice que la materia orgánica, poco o nada descompuestos, sufre una primera evolución que la transforma en humus para, en una segunda etapa, continuar descomponiéndose hasta convertirse en elementos minerales.

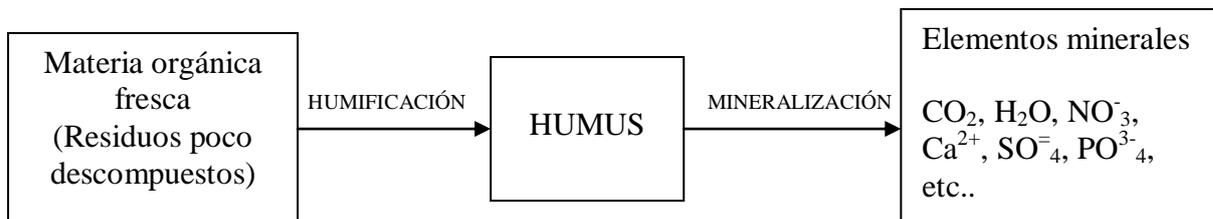


Figura 4.- Evolución de la materia orgánica: esquema
Fuente: Urbano, 2001.

En lo que sí coinciden todos los autores es que en todo momento, coexisten en el suelo los dos procesos, mineralización y humificación, y que la resultante de éstos determinará el equilibrio húmico del suelo.

La velocidad y el equilibrio entre los procesos de mineralización y humificación depende de la actividad de los microorganismos, que, a su vez, viene condicionado por factores climáticos (temperatura, humedad), edáficos (textura, estructura, acidez, contenido de nutrientes) y de cultivo (laboreo, riego, fertilización) (Fuentes, J. L., 1999).

La humificación es responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo mientras que la mineralización conduce a su destrucción.

El contenido medio de materia orgánica de los horizontes superficiales (epipedión) en los suelos de la zona mediterránea suele ser notablemente bajo, oscilando entre valores del 1 % y el 3 %, además, cuando se analiza el contenido de materia orgánica a lo largo del perfil del suelo, se comprueba que desciende rápidamente con la

profundidad.

Los contenidos suelen ser mínimos en los suelos sometidos a fuerte laboreo (especialmente utilizando vertederas) y en los que los sistemas de cultivo dejan escasos residuos. Los sistemas de no laboreo o de laboreo reducido y los residuos de las cosechas dejados sobre la superficie del suelo son para muchos agrónomos (Reicosky y col., 1995) las prácticas más importantes para mantener los niveles de materia orgánica en los suelos de zonas áridas con sistemas extensivos de cultivo.

A veces se sobreestima la importancia del contenido en materia orgánica de los suelos cultivados. Es cierto que con niveles bajos, resulta difícil mantener en buen estado de productividad los suelos agrícolas pero, en ocasiones, contenidos tan modestos como el 1,5 o el 2 %, pueden ser suficientes para mantener una fertilidad. En cualquier caso, la sostenibilidad no debe apoyarse en la simple cifra que representa el contenido actual de materia orgánica del suelo, sino en la velocidad con que ésta evoluciona y en el equilibrio al que tienden la humificación y mineralización. Así pues, según autores como Urbano (2001), Jiménez y Lamo (1998); los buenos suelos agrícolas humifican y mineralizan la materia orgánica con altas velocidades, mientras que en determinadas ocasiones, la materia orgánica se acumula llegando a alcanzar, incluso, niveles muy elevados provocando que los suelos no sean aptos para el cultivo (pantanos, turberas, etc.). En este sentido, resulta fundamental:

- Conocer los factores que condicionan los procesos de humificación y mineralización de las materias orgánicas del suelo.
- Determinar el equilibrio húmico de los suelos cultivados.
- Conservar o, en su caso, corregir el estado húmico del suelo mediante los adecuados aportes de materias orgánicas en forma de enmiendas o fertilizantes.

La materia orgánica tiene funciones muy importantes en el suelo y en general, en el desarrollo de una agricultura acorde con las necesidades de preservar el medio ambiente y a la vez, más productiva. Para ello es necesario partir del conocimiento de los procesos que tienen lugar en el suelo (ciclo de nutrientes) y de la actividad biológica del mismo, con el fin de establecer un control de la nutrición, del riego y del lavado de elementos potencialmente contaminantes. A modo indicativo, se citan a continuación los efectos de la materia orgánica sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Terralia nº 8):

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

- Disminuye la densidad aparente del suelo (por tener una menor densidad que la materia mineral), contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua.
- En general favorece la estructura agregada que limita el arrastre de partículas de suelo, canalizando a la vez el paso del agua a través del mismo. Además, los residuos orgánicos complejos actúan ligando las partículas del suelo favoreciendo la formación de agregados, lo que repercute en una mejora de la aireación y de la retención del agua.

- También tiene efectos importantes sobre la temperatura del suelo, ya que tiene una conductividad térmica más baja que la materia mineral, mientras que las diferencias en la capacidad calorífica son bajas porque dependen del contenido de humedad. Al tener una conductividad térmica baja, la materia orgánica mantiene temperaturas constantes en el tiempo, reduciéndose las oscilaciones térmicas y al tener un color más oscuro que el suelo mineral disminuye la radiación reflejada, calentándose más.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

- Tiene un papel importante en la mejora de la disponibilidad de micronutrientes (principalmente hierro, manganeso, zinc y cobre) para las plantas como en la reducción de los efectos tóxicos de los cationes libres. Muchos metales que precipitarían en suelos en condiciones normales, se encuentran mantenidos en la solución del suelo en forma quelatada.
- Contribuye a aumentar la porosidad del suelo, es decir, aumenta el número de poros que son capaces de retener agua o aire sin aumentar el volumen total de suelo, pudiendo contribuir al aumento de la conductividad hidráulica del suelo. Debido al efecto físico del tamaño de las partículas, la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos y aumenta la capacidad de aireación de suelos arcillosos.
- Tolera mejor los efectos mecánicos del paso de maquinaria por tener una mayor elasticidad que la materia mineral.
- Mejora la nutrición en fósforo, posiblemente sea por favorecer el desarrollo de microorganismos que actúan sobre los fosfatos; Aumentan la liberación de potasio fijado en las arcillas y debido a que la mayor parte de nitrógeno almacenado en el suelo se encuentra en forma orgánica, la disponibilidad de materia orgánica influye directamente en la disponibilidad de nitrógeno.
- Al contener un número elevado de grupos funcionales (carboxílicos, hidroxílicos, aminoácidos, amidas, cetonas y aldehidos), la materia orgánica contribuye en mayor grado a la adsorción de moléculas de agua en forma de puentes de hidrógeno o enlaces coordinados, al aumento de la capacidad de intercambio catiónico en suelos con bajo contenido en arcilla, proporcionan una mayor capacidad tampón, etc.
- Suele acidificar el medio, favoreciendo así indirectamente la absorción de nutrientes por las plantas.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS:

- Sirve de fuente de energía para los microorganismos del suelo. Favorece la presencia de lombrices que contribuyen en la estructura del suelo.



Fotografía 2.- lombriz de tierra.

Fuente: <http://www.engormix.com/images/excretas6.jpg>

- Algunos materiales orgánicos presentan actividades supresoras frente a hongos y se pueden utilizar para combatir hongos patógenos. Puede llegar a proporcionar actividad enzimática, contribuyendo a hidrolizar moléculas de cadena larga, haciendo disponibles para las plantas algunos elementos resultantes de la hidrólisis.
- Ciertos productos derivados de su descomposición, como los derivados fenólicos, afectan al balance hormonal inhibiendo o favoreciendo la actividad de las hormonas vegetales: las auxinas o el etileno, ligados a la materia orgánica, se liberan en condiciones reductoras, la materia orgánica puede adsorber reguladores de crecimiento que se pueden añadir de forma externa, etc.

Toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sistematizada en dos grupos fundamentales: las materias orgánicas de naturaleza individual y las sustancias húmicas propiamente dichas. (Kononova, 1982).

El primer grupo está formado por restos orgánicos, y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo y resíntesis) de la población viva (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). En suma los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15 % de la reserva total de materia orgánica.

El segundo grupo constituye la porción principal de la parte orgánica del suelo, es decir, hasta el 85-95 % de la reserva total de humus.

C.4.3.- MATERIA ORGÁNICA FRESCA O LÁBIL:

Constituida por residuos orgánicos poco transformados, se considera como material originario de las sustancias húmicas propiamente dichas y llamadas por algunos autores encargados de su investigación, sustancias orgánicas del suelo de naturaleza individual (Kononova, 1982; Shmuk, 1930; Maiwald, 1931). Esta materia orgánica estaría formada por una serie de componentes químicos, sometidos a ataque continuo por parte de los microorganismos del suelo, que obtienen de ellos energía y elementos plásticos y a su vez, la transforman en humus estable.

Al mismo tiempo, como consecuencia de la actividad microbiana, aparecen

productos finales del metabolismo microbiano que, al morir, se incorporan a la materia orgánica del suelo. En consecuencia, los productos finales serán una mezcla del material originario más o menos descompuesto, restos de estas descomposiciones, productos de síntesis y cuerpos microbianos (Urbano, 2001).

La diversidad de representantes del grupo de compuestos orgánicos de naturaleza individual, en cierto modo, confirmaba la opinión de muchos investigadores, ya bastante extendida a principios del siglo XX, que consideraban el humus del suelo como una mezcla de estos compuestos.

En la actualidad se nota un evidente interés hacia el estudio de este tipo de sustancias gracias sobre todo a la aplicación de nuevos métodos de investigación, que permiten descubrir e identificar sustancias en pequeñas cantidades, ya que sus funciones se presentan esencialmente a pequeñas dosis (Kononova, 1982).

C.4.4.- SUSTANCIAS HÚMICAS PROPIAMENTE DICHAS:

Formada por productos resultantes de una descomposición avanzada de los residuos orgánicos y de síntesis microbiana. Incluye 2 subgrupos, (Fuentes, J. L., 1999):

- Sustancias no húmicas. Son compuestos orgánicos que no forman parte integral del suelo (no se unen a su fracción mineral). Además de ser fuente de elementos nutritivos, estos compuestos participan en una gran cantidad de procesos relacionados con las propiedades físico- químicas del suelo. Estas sustancias incluyen materiales cuyas características químicas son todavía identificables, tales como proteínas, aminoácidos, glúcidos, grasas, ceras y ácidos biodegradables de bajo peso molecular (Schnitzer y Khan, 1978). La mayor parte de estos compuestos tiene una vida corta en el suelo, debido a que se biodegradan con facilidad.

Estos compuestos pueden estar libres formando parte de la materia orgánica no humificada, de los compuestos hidrosolubles, que de no separarse previamente pasarán a las sustancias húmicas, o estar formando parte de la estructura de las sustancias húmicas (Porta, 2003).

- Sustancias húmicas. Forman parte integral del suelo, del que no se pueden separar por medios mecánicos. Todas las sustancias que se agrupan bajo este concepto o bajo el término restringido de humus son compuestos muy polimerizados, de peso molecular alto, color oscuro, con propiedades coloidales e hidrófilas muy marcadas, que tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y con una gran resistencia a la biodegradación, debido a su complejidad y a que están unidos, de diversas formas, a la fracción mineral del suelo.

Se caracterizan por no presentar características físicas y químicas específicas, tales como una composición elemental definida o un punto de fusión entre otros. Son compuestos relativamente oxidados (Porta, 2003).

La mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas

formas con la parte mineral del suelo, quedando tan sólo una pequeña fracción en estado libre, por tanto, para pasar a estado soluble es preciso destruir esta unión.

La extracción del suelo de las sustancias húmicas en la actualidad se lleva a cabo con el empleo de diversos disolventes. Las sales neutras de los ácidos minerales, en particular el pirofosfato de sodio, al igual que algunas sales neutras de los ácidos orgánicos, se utilizan con este fin en base a la capacidad que tienen para formar precipitados insolubles o complejos solubles con el calcio, hierro, aluminio y otros cationes polivalentes, con los cuáles están unidas en el suelo. Así, como resultado de dichas reacciones, éstas pasan a estado soluble. Pero a pesar de este hecho, con las soluciones citadas se extrae menos materia orgánica que con soluciones álcalis (Kononova, 1982).

C.4.5.- NATURALEZA DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS:

El humus, definido por Urbano, (2001) como *un conjunto de sustancias orgánicas de colores pardos y negruzco que resultan de la descomposición de materias de origen vegetal y animal y de la que resultan productos muy polimerizados, de estructura amorfa y propiedades coloidales e hidrofílicas*, se compone de una mezcla de materiales orgánicos. De forma empírica, se han establecido tres fracciones predominantes: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, y otras en menor proporción, como son las sustancias mucilaginosas y gomosas, segregadas por los microorganismos, y hormonas y antibióticos, que ejercen un efecto esencial pero poco conocido sobre el crecimiento de las plantas y sobre su resistencia al parasitismo (Porta, 2003; Fuentes, J. L., 1999).

A continuación se describen de forma individual.

C.4.5.1.- Huminas:

Fracción insoluble obtenida a partir del tratamiento de la muestra con pirofosfato sódico. Representa una fracción de escaso interés por el bajo contenido del humus en humina y por su reducida capacidad de reacción (Porta, 2001).

Considerada como producto de envejecimiento de los ácidos húmicos (Fuentes, J. L., 1999), se puede encontrar en el suelo en diferentes estadios como: Humina microbiana, que está formada por metabolitos microbianos y por compuestos alifáticos que derivan de ellos; huminas heredadas, próxima a la materia orgánica fresca; humina neoformada, que es el resultado de procesos de inmovilización por los cationes y no es extraíble por reactivos alcalinos; y finalmente la humina estabilizada, que resulta de la evolución lenta de los ácidos húmicos que provoca la polimerización de los núcleos aromáticos y un descenso de su solubilidad ante los reactivos de extracción (Duchaufour, 1984; Labrador, 1996).

Al estudio de la naturaleza de las huminas del suelo están dedicadas detalladas investigaciones de Tyurin y Gutkina (1940), Jan (1945) (1946) (1950), Zyrin (1948), Naydenova (1951). Ellos han demostrado que, si el residuo del suelo, después de la extracción de los ácidos húmicos solubles en álcali, se trata con H_2SO_4 , HNO_3 o HF , para romper los enlaces de las sustancias húmicas con silicatos, después de este residuo,

que contiene huminas, al tratar con soluciones alcalinas se extraen de nuevo ácidos húmicos.

Los ácidos húmicos extraídos de huminas tienen un porcentaje de carbono algo menor, y mayor el de oxígeno e hidrógeno, en comparación con los ácidos húmicos extraídos del suelo descalcificado; poseen también menor capacidad de absorción. Probablemente, los ácidos húmicos extraídos de huminas son por su naturaleza menos complejos (Kononova, 1982).

C.4.5.2.- Ácidos húmicos:

Fracción que precipita en medio ácido a partir de las soluciones obtenidas tras el tratamiento con pirofosfato sódico. Por su importancia cuantitativa, representan la fracción más interesante del humus del suelo ya que pueden suponer hasta el 80 % de él. Se combinan con elementos metálicos formando humatos que pueden precipitar (humatos de calcio, de magnesio, hierro, etc.) o permanecer en dispersión coloidal (humatos de sodio, potasio, amonio, etc.) (Urbano, 2001).

En el grupo de los ácidos húmicos están englobadas las materias que se extraen del suelo por disolventes (NaOH, KOH, NH₄OH, Na₂HCO₃, Na₄P₂O₇, NaF, oxalato sódico, urea, y otros), y que al acidificar con ácidos minerales, se precipitan de las soluciones obtenidas en forma de gel oscuro (Kononova, 1982).

La estructura de la macromolécula húmica corresponde a la de las sustancias húmicas en general. Es decir, nos encontramos ante macromoléculas complejas formadas por estructuras de carácter aromático, a las que se unen aminoácidos, péptidos, ácidos alifáticos y otros compuestos orgánicos, dando la impresión, al visualizarlas al microscopio electrónico, de estar formadas por partículas planas y redondeadas que se unen entre sí, formando un retículo esponjoso (Almendros y Polo, 1983; Stevenson y Schnitzer, 1982).

Dada la importancia de esta estructura, es interesante hacer algunas reflexiones sobre la misma.

La forma de las moléculas húmicas, juega un papel muy importante en la formación de la estructura del suelo. El hecho de que las moléculas de ácidos húmicos posean una estructura flexible y ramificada con multitud de cavidades internas determina, de forma significativa, su capacidad de absorción frente al agua.

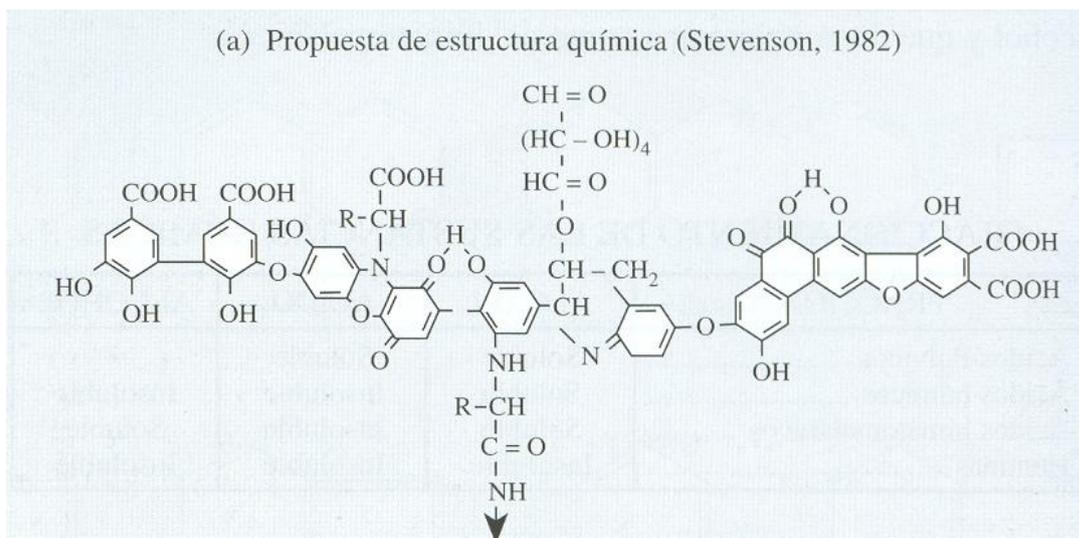


Figura 5.- Propuesta de estructura química de molécula de ácido húmico. (Stevenson, 1982).

De los grupos ácidos de carácter hidroxifenólico o carboxílico (-OH, -COOH) que encontremos en los radicales externos resultarán las propiedades ácidas de los ácidos húmicos y la posibilidad de formar complejos, intervenir en la génesis del suelo, en la formación de una buena estructura, en la disponibilidad y movilidad de determinados nutrientes, especialmente micronutrientes (Schnitzer, 1991), así como en la persistencia y degradación de plaguicidas en el suelo, etc. (Labrador, 1996).

Respecto al nitrógeno, éste se considera parte integral de las moléculas de los ácidos húmicos, variando su contenido del 3 al 5%. Una parte del nitrógeno, aproximadamente la mitad, pasa a la solución en el caso de producirse la hidrólisis ácida; esta parte está representada por amidas, mono y diaminoácidos, cuya relación resultó ser característica para las proteínas de origen animal y vegetal.

C.4.5.3.- Ácidos fúlvicos:

Fracción que permanece en solución en medio ácido tras el tratamiento con pirofosfato. Está compuesta por polisacáridos, ácidos urónicos, aminoácidos, compuestos fenólicos, etc. Se originan en los casos en que la humificación se realiza con poca actividad biológica. Se diferencian de los ácidos húmicos por su menor peso molecular (Urbano, 2001).

Poseen unidades estructurales similares a la de los ácidos húmicos, sin embargo, presentan una unidad nuclear poco pronunciada habiendo un predominio mayor de cadenas laterales. Este predominio, representado por una relación estructuras aromáticas/cadenas laterales, inferior en los ácidos fúlvicos, explicaría una mayor solubilidad de éstos con respecto a los húmicos y un menor grado de policondensación, incluso aunque los tamaños moleculares puedan ser parecidos.

Los ácidos fúlvicos, por otra parte, se distinguen por su contenido superior en grupos funcionales ácidos carboxílico e hidroxifenólico y por tanto por su mayor capacidad para actuar destructivamente sobre los minerales (Labrador, 1996).

Son muy ricos en polisacáridos, en osaninas y en aniones minerales como fosfatos (Sequi y col., 1972). Su elevado contenido en cargas aniónicas les confiere una gran aptitud para formar complejos estables con cationes polivalentes (Fe^{+++} , Al^{+++} , Cu^{++} , etc.) con la importancia agronómica que esto supone. La abundancia de estos complejos en parte es responsable de su floculación a pH moderadamente ácidos o neutros (Holzclaw y col., 1976).

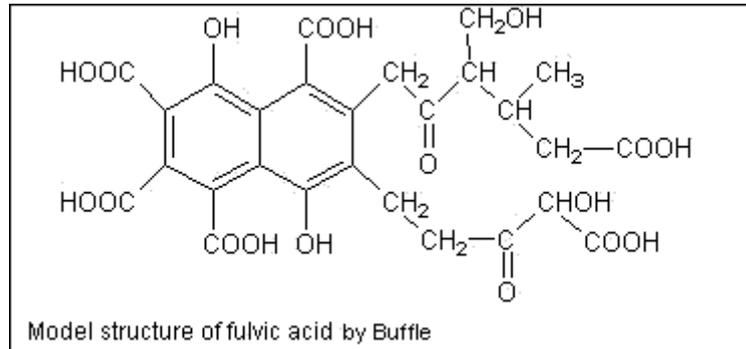


Figura 6.- Propuesta de estructura de una molécula de ácido fúlvico.
Fuente: <http://www.ar.wroc.pl/~weber/kwasy2.htm>

A continuación se resumen las propiedades más importantes de las sustancias húmicas descritas anteriormente, según Labrador (1996):

PROPIEDADES	ÁCIDOS FÚLVICOS	ÁCIDOS HÚMICOS	HUMINAS
Color	Amarillo a pardo	Pardo a negro	Negro
Peso molecular	Bajo	Medio	Alto
% de carbono	40-50	55-60	>55
% de nitrógeno	<4	3-4	>4
% de oxígeno	44-48	33-36	32-34
Grupos funcionales (meq/g)			
Acidez total	10-14	6-10	5-6
Grupos carboxílicos (COOH)	8-9	2-5	3-4
Grupos metoxílicos (OCH ₃)	<0,5	<0,5	<0,5
Grupos alcohólicos (OH)	3-6	<1-4	-
Grupos fenólicos (OH)	3-6	2-6	2
Grupos carbonil (C=O)	1-3	1-5	5-6

Tabla 4.- Propiedades generales de las sustancias húmicas (Labrador, 1996).

Como se ha podido observar, a la hora de describir cada una de las sustancias húmicas se ha utilizado su capacidad de reacción a diferentes medios ácidos o básicos. Estas distintas fracciones, que pueden obtenerse a partir de diferentes tratamientos de las sustancias orgánicas del suelo, se recogen en la siguiente figura propuesta por Hénin y col. (1972):

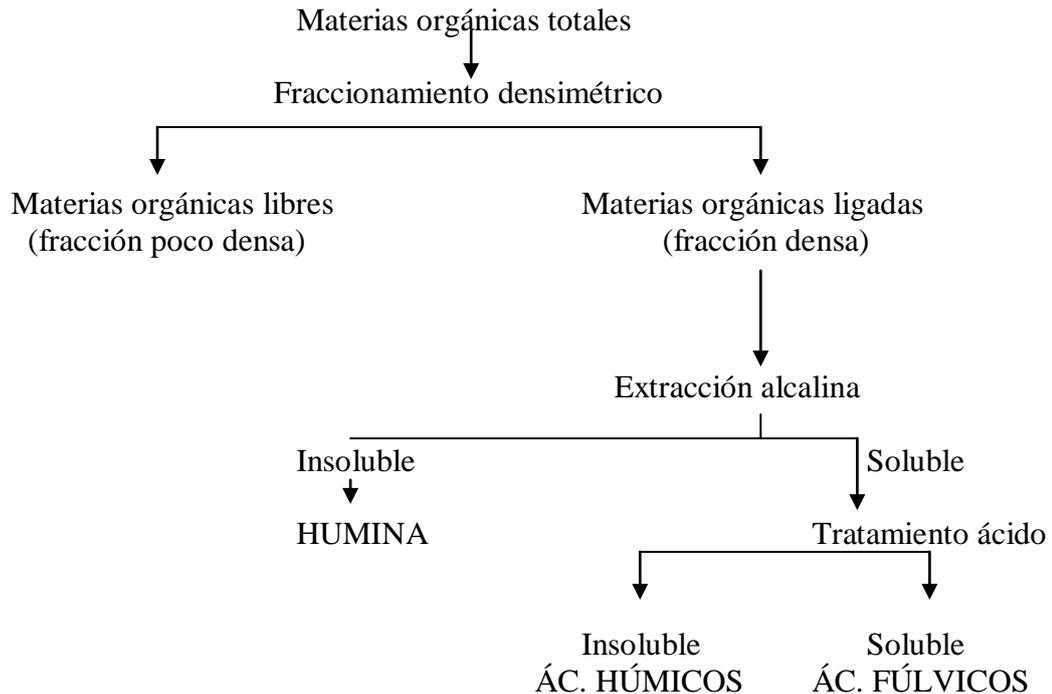


Figura 7.- Fraccionamiento de las sustancias orgánicas del suelo. Hénin et al (1972).

C.4.6.- EFECTOS DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS:

El crecimiento y producción de las plantas depende de su nutrición mineral, de agua, de aire y de otros parámetros medioambientales como luz y temperatura. Sin embargo, el efecto positivo de la materia orgánica sobre el desarrollo vegetal también está sobradamente demostrado (Csicsor y col., 1994; Galli y col., 1994; Barón y col., 1995; Varanini y col., 1995, entre otros).

Sin duda, la genética es el principal artífice de la enorme mejora productiva de muchas especies. Sin embargo, esta ciencia no puede ser considerada como la única responsable de los éxitos alcanzados. Resulta obvio que la creciente capacidad de control de los parásitos y el mayor conocimiento de la fisiología vegetal, sobre todo desde el punto de vista nutricional, han contribuido de manera muy significativa, a dichos avances.

Y es aquí donde entran a jugar un papel decisivo productos tales como las sustancias húmicas, que exaltan la capacidad de absorción y translocación de nutrientes por las plantas, de manera que cada proceso de biosíntesis se ve optimizado con beneficios productivos y cualitativos (Dubini, 1995). Hasta ahora, las sustancias húmicas se han venido empleando mayoritariamente como mejoradores de las condiciones de fertilidad de los suelos, es decir, para optimizar la estructura, permeabilidad, niveles de materia orgánica, etc. O sea, se han aprovechado sus efectos indirectos sobre los cultivos. Pero con las dosis empleadas, la incidencia sobre las propiedades del suelo es muy escasa. Debido a los altos precios que han regido en el mercado para estos productos, se han venido realizando aplicaciones en dosis que podríamos denominar “comerciales”. Es decir, son criterios económicos y no científicos los que dictaminan la dosificación de estas sustancias.

En los últimos años, en cambio, el desarrollo de los cultivos sobre sustrato inerte y la fertirrigación, a ocasionado el cambio del rol de las sustancias húmicas comerciales, dando un nuevo giro. En la actualidad se pretende explorar los efectos directos de estos compuestos sobre las plantas, es decir los efectos hormonales que puedan tener.

Como es sabido, los suelos agrícolas mediterráneos poseen, generalmente, bajos contenidos en materia orgánica que tienden a disminuir debido a las pérdidas que se producen por mineralización de la misma, a las labores agrícolas, a la relativa poca importancia actual del estercolado, así como al empleo preferente de abonos minerales de origen industrial. Esta disminución de la materia orgánica de los suelos se traduce en un deterioro de las propiedades físico-químicas de los mismos, así como en su mayor erosionabilidad, con la consiguiente pérdida de productividad a medio y largo plazo (Barón y col., 1995). Estas prácticas están convirtiendo paulatinamente la agricultura tradicional en un ejercicio de tendencias claramente insostenibles. Por ello, la utilización de materia orgánica está sobradamente justificada.

Pero, desde el punto de vista de las plantas, conviene distinguir entre los efectos indirectos y directos de las sustancias húmicas. Centrándonos en los indirectos, la materia orgánica humificada puede mejorar la fertilidad del suelo a través de su efecto sobre diversas propiedades del mismo, como ya se expuso anteriormente:

- Aporte de nutrientes (N, P, K, etc.) a las raíces (Varanini, 1995).
- Mejora de la estructura del suelo, incidiendo de ese modo en la relación agua-aire en la rizosfera (Piccolo y col., 1997).
- Incrementa en el suelo la actividad microbiana (Ocio y col., 1990).
- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico y de la capacidad tampón-pH del suelo (Barón y col., 1995).
- Formación de complejos estables con Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y otros cationes polivalentes y aumento así de la disponibilidad de micronutrientes para las plantas (Albuzio y col., 1994).
- Aporte de sustancias húmicas que actúan como transportadoras de nutrientes (Varanini, 1995).
- Oscurecimiento del suelo, de manera que facilite su calentamiento (Gallardo, 1980).
- A través de su combinación con plaguicidas puede afectar a su bioactividad, persistencia y biodegradabilidad (Hunchak-kaiouk y col., 1994; Deschaver y col., 1994; Carlsen y col., 1994).

Respecto a los efectos directos, de carácter bioestimulante, que derivan del empleo de las sustancias húmicas como productos de acción fisiológica, sobre las plantas, han sido objetivo de muchos estudios, principalmente su forma de absorción y el lugar de transporte de dichas sustancias

(<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>).

Así pues se demuestra que solo una pequeña fracción de material absorbido es transportado hasta la parte aérea de la planta, correspondiente básicamente a los ácidos fúlvicos, y los húmicos tienden a ser almacenados en las raíces (Fürth et al., 1967).

De estos estudios se saca como conclusiones que las sustancias húmicas (<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>):

- Muestran mayores efectos sobre las raíces que sobre la parte aérea, pero aún así influyen también a un mejor desarrollo de dicha parte.
- El efecto estimulante de dichas sustancias ha estado relacionado con el aumento de la absorción de macronutrientes.
- La formación de compuestos con los metales de transición, como el Zn, Cu, Fe y Mn entre otros, facilita la absorción de ciertos microelementos en suelos alcalinos, como los de la cuenca mediterránea, supliendo así los problemas de microdéficits.
- El estímulo mostrado en la absorción iónica por tratamientos húmicos ha provocado que muchos investigadores propongan, que, estos productos, afectan a la permeabilidad de la membrana, favoreciendo procesos naturales como la selectividad de algunas plantas a la hora de la asimilación de Na⁺, confiriendo a las sustancias húmicas propiedades de bioprotector frente a efectos nocivos, como son la salinidad.
- Tanto la respiración celular, como la fotosíntesis pueden verse aumentadas por las sustancias húmicas.
- Las hipótesis de que las sustancias húmicas puedan favorecer la síntesis de ácidos nucleicos, de proteínas, y en general, actuar como estimulante de la capacidad enzimática ha sido objeto de numerosos estudios.

C.4.6.1.- Utilización de las sustancias húmicas en olivar.

En general, cuando más avanzada es la humificación mayores son los efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, salvo en el caso de la actividad microbiana, que actúa de forma más intensa con la materia orgánica lábil, ya que le proporciona más cantidad de energía y nutrientes.

Existe cierta confusión en cuanto a la eficacia de las sustancias húmicas en la fertilización de los cultivos, existiendo en el mercado de agroquímicos una amplia oferta de estos productos, así como una gran confusión sobre las posibilidades reales y forma de utilización.

Los ácidos húmicos ejercen una acción directa sobre las plantas, presentando un efecto hormonal parecido al que produce la auxina, siendo posible su aplicación al suelo para su absorción radicular, o en aplicaciones foliares, que parecen mucho más eficaces, posibilitando su empleo junto con plaguicidas y abonos minerales.

Los ácidos húmicos de cadena corta parecen los más eficaces, dependiendo ello del origen de la sustancia húmica, de la relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos, de su

peso molecular y del cultivo en el que se aplican, habiéndose demostrado que en aplicación foliar existe una influencia directa en el crecimiento de la planta (afectando mecanismos enzimáticos y estimulando la síntesis de proteínas) y en la absorción de N, P, K, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, y Mo, facilitando el paso de las membranas al aumentar su permeabilidad, mejorando por tanto la absorción y el transporte de iones dentro de la planta. Se recomienda emplear dosis moderadas de estos productos.

Aunque en las aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos al suelo proporciona resultado más errático que las aplicaciones foliares, estas sustancias pueden liberar el potasio fijado en las arcillas, recubriendo las superficies capaces de inmovilizar y bloquear el fósforo en el suelo.

En olivar aplicaciones foliares de un extracto de Leonardita a una concentración comprendida entre 0,5 y 1,0% aumentaron el crecimiento de los brotes y el tamaño del fruto, sin que afectaran a la producción final de los árboles, desconociéndose la producción al año siguiente. Estas aplicaciones aumentaron también los niveles de potasio y boro en las hojas, no afectando a los contenidos en los restantes nutrientes (Pastor, M. y col., 1998).

C.4.7.- FORMACIÓN DE HUMUS. TIPOS DE HUMUS:

En la descomposición y transformación de la materia orgánica se pueden diferenciar varias etapas. En una primera etapa se produce un fuerte ataque microbiano a las sustancias de fácil descomposición, que sirven fundamentalmente de elementos energéticos y plásticos a los microorganismos desintegradores.

Como consecuencia de ello, las moléculas orgánicas se descomponen en otras más sencillas y se libera una gran cantidad de energía en forma de calor, a la vez que se produce una gran proliferación de la flora microbiana. En una segunda etapa de descomposición se produce una disminución del crecimiento microbiano y de liberación de productos descompuestos, procedentes tanto de la transformación de la materia orgánica original como de la descomposición de los microorganismos muertos. Posteriormente, una parte de los productos descompuestos se reagrupan y polimerizan de nuevo, formando unas moléculas muy complejas que constituyen el humus (Fuentes, J. L., 1999).

Con un enfoque ecológico, el término humus se utiliza para referirse a la totalidad de las sustancias orgánicas que, bajo las condiciones de biodegradación predominantes, se ha comportado como difícilmente descomponibles y por ello han sufrido una acumulación de un modo característico (Kubierna, 1952) y a aquellas que son estables tras la humificación.

En este sentido, el estudio de la materia orgánica de los horizontes de superficie, denominados O y A en suelos minerales y H en suelos orgánicos, ha llevado a definir diferentes tipos de humus.

Las bases para la clasificación de los mismos parten de criterios morfológicos sencillos como aspecto, color, macro y microestructura, espesor, grado de incorporación a la materia mineral, existencia de un horizonte O además del A, grado de

descomposición de la materia orgánica en el horizonte O, etc.

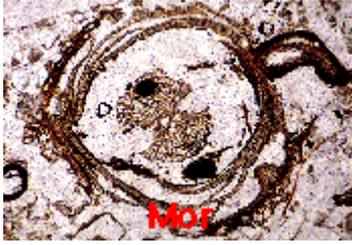
Todo lo anterior se completa con la determinación de parámetros químicos como el pH, el grado de saturación, la relación C/N, el tanto por ciento de mineralización anual o de extracción de carbono extraíble o de polimerización, etc. unido a criterios biológicos como la actividad enzimática (Labrador, 1995).

En un principio, los criterios de clasificación eran básicamente morfológicos, actualmente también se tienen en cuenta aspectos físico-químicos y microbiológicos con el objetivo de caracterizar la actividad biológica global, la intensidad de la mineralización y la importancia de la humificación, como resultado de unas condiciones ecológicas determinadas (Duchaufour, 1984). Dichos criterios, recogidos por Porta (2003), son los siguientes:

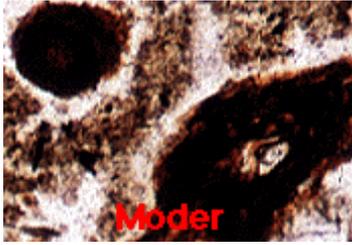
CRITERIOS MORFOLÓGICOS	- Aspecto/color.
	- Contextura macro y microscópica.
	- Espesor.
	- Grado de incorporación con la materia mineral.
	- Existencia de un horizonte O, además de un A.
	- Grado de descomposición de la m.o. en el horizonte O.
CRITERIOS FÍSICO-QUÍMICOS:	Ph y % saturación de bases.
	C/N
	% mineralización anual.
	% extracción con álcalis.
	% de humificación.
	% de polimerización: AF/AH.
CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS	Actividades enzimáticas

Tabla 5.- Criterios de clasificación del humus. Porta (2003).

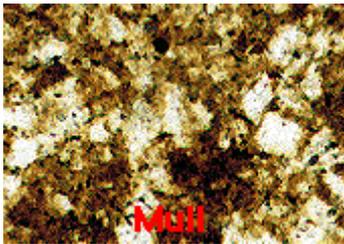
Desde un punto de vista global, el humus se clasifica en (edafología.ugr.es):



▪ Mor: Materia orgánica muy poco transformada con una elevada movilidad de ácidos fúlvicos.



▪ Moder: Mayor transformación de la materia orgánica y con una movilidad media de ácidos fúlvicos.



▪ Mull: Materia orgánica muy evolucionada, característica por su color oscuro y por el elevado contenido en ácidos húmicos.

Fotografías 3, 4 y 5.- Mor, molder y mull (edafología.ugr.es).

Entre algunas fracciones del humus y algunas partículas inorgánicas se producen unas interacciones que condicionan la estructura del suelo y la movilidad de ciertos elementos, lo que repercute en la nutrición de las plantas y la eliminación de contaminantes del suelo.

En una primera etapa se produce un contacto entre las partes orgánica e inorgánica, lo que favorece el posterior establecimiento de uniones entre ellas por medio de enlaces químicos, formándose unos complejos órgano-minerales. Los más comunes de éstos son (Fuentes, J. L., 1999):

- Complejo órgano-metálico: formado por un ión metálico unido a un grupo funcional orgánico. El humus puede originar complejos órgano-metálicos, que pueden ocupar los espacios interlaminares de las arcillas expansivas, lo que dificulta el ataque de los microorganismos encargados de su mineralización. Los quelatos están formados por dos o más grupos funcionales orgánicos unidos a un ión metálico.
- Complejo arcillo-húmico: formado por un grupo funcional del humus que se une a la superficie de los minerales arcillosos. Los ácidos húmicos forman un complejo menos estable que en el caso anterior. Los ácidos fúlvicos no

forman complejos con la arcilla.

La formación de complejos órgano-minerales se ve favorecida cuanto mayor sea el grado de humificación.

C.4.8.- FACTORES QUE CONDICIONAN LA TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:

El contenido de materia orgánica oxidable, que se determina con dicromato potásico en medio sulfúrico, es la diferencia entre la biomasa total recibida en el suelo y la biomasa mineralizada. Pero no es el contenido en materia orgánica lo que más interesa, sino la velocidad con que ésta evoluciona y el equilibrio entre los procesos de mineralización y humificación. El buen suelo agrícola es aquel en donde ambos procesos se desarrollan a una velocidad relativamente rápida, lo que exige aportaciones continuas de restos orgánicos. Una velocidad de transformación lenta ocasiona la acumulación de materia orgánica, que cuando es excesiva hace al suelo poco apto para el cultivo (Fuentes, J. L., 1999).

Muchos son los autores que coinciden en que la velocidad con la que se produce la humificación de los residuos orgánicos depende de los siguientes factores (Porta, 2003; Urbano, 2001; Fuentes, J. L., 1999; Labrador, 1996):

- Naturaleza de los residuos: la composición de los vegetales es enormemente variada lo que hace, por una parte, que la secuencia en la degradación de sus constituyentes no sea uniforme y por otra, que algunos de sus componentes ejerzan por sí acciones positivas o negativas sobre la actividad microbiana responsable de la transformación. Las plantas jóvenes contienen una gran cantidad de sustancias hidrosolubles, fácilmente descomponibles; a medida que avanza su ciclo vegetativo disminuyen estos compuestos y aumentan el contenido de sustancias resistentes a la descomposición, como son las ligninas, taninos, resinas, quitina, queratina, etc. En consecuencia, cuanto más lignificados estén los residuos que se aporten al suelo, más lenta y difícil será la humificación.

- Contenido en humedad: la multiplicación microbiana exige la presencia de agua que debe encontrarse en el propio residuo o en el suelo. Es bien sabido por ejemplo, que las comunidades microbianas de suelos de zonas semiáridas, se activan con una rapidez enorme, en el momento en que las condiciones ambientales, especialmente la humedad, les son favorables (Badia, 1991). El contenido de agua más favorable para el funcionamiento correcto de la dinámica de la transformación de los restos orgánicos, se sitúa en un 60% de la humedad equivalente.

- Aireación: la mayor parte de los microorganismos que transforman la materia orgánica son aerobios; siendo además los que mayor actividad presentan en el curso del proceso. Se comprueba fácilmente como el laboreo del suelo o su drenaje, así como la disgregación de los montones de estiércol, activan la descomposición de las materias orgánicas. Fassbender (1972) enunció que bajo condiciones de mala aireación, como son la saturación de agua, degradación de la estructura, etc., sólo contribuyen a la acumulación de los restos vegetales, siendo muy lenta su transformación y posterior mineralización.

- Temperatura: la temperatura es un factor prioritario en la transformación de la materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica es más rápida en climas cálidos, debido a que los microorganismos desintegrados proliferan con mayor rapidez con temperaturas altas.

- Contenido en elementos minerales: la multiplicación microbiana exige la utilización de elementos minerales: nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, etc. De todos ellos, el nitrógeno es el que juega un papel más importante en el proceso de humificación de los residuos orgánicos.

- Condiciones del suelo: pH y salinidad: la reacción del suelo que permite una adecuada evolución de la materia orgánica es la que corresponde a una banda de pH variable entre 6 y 7,2. Las condiciones son sensiblemente desfavorables si el pH baja a 5,5 o se eleva a 7,8. finalmente, si el pH va alejándose de estos factores, la acción microbiana se debilita enormemente pues queda reducida a la actuación de las microfloras acidófila o basófila, según sea el caso. Los encalados mejoran notablemente la actividad de los suelos ácidos, así como los tratamientos que se hacen para recuperar suelos salinos y alcalinos.

C.4.9.- LA IMPORTANCIA DEL NITRÓGENO Y LA RELACIÓN C/N:

Como se cito anteriormente, los microorganismos necesitan de ciertos elementos minerales para poder llevar a cabo la multiplicación microbiana; y a su vez, el nitrógeno juega un papel importante en la humificación.

Los residuos ricos en nitrógeno se descomponen con mayor rapidez que aquellos otros con menor cantidad, debido a que los microorganismos necesitan este elemento para sintetizar sus proteínas.

El contenido de nitrógeno en el residuo orgánico tiene las siguientes repercusiones prácticas:

- Contenido superior al 2,4 % de la materia seca. Existe la suficiente cantidad para cubrir las demandas de los microorganismos y, además, se produce liberación de nitrógeno mineral, que enriquece el suelo.
- Contenido comprendido entre 1,2 y 2,4 % de la materia seca. Se cubren las necesidades de los microorganismos, pero no se incrementa el contenido de nitrógeno mineral del suelo.
- Contenido inferior al 1,2 % de la materia seca. No se cubren las necesidades de los microorganismos, por lo que éstos tienen que tomar nitrógeno mineral del suelo, con lo cual se resiente el suministro de este elemento a las plantas cultivadas. Este descenso de la fertilidad del suelo es sólo temporal, ya que cuando mueren los microorganismos, su nitrógeno orgánico se mineraliza y se recupera de nuevo la fertilidad.

Los microorganismos desintegradores de la materia orgánica se multiplican muy activamente cuando tienen a su disposición energía y nutrientes asimilables, especialmente nitrógeno, necesario para sintetizar sus proteínas. Los residuos vegetales, muy ricos en carbono, son una fuente importante de energía, pero no siempre de nitrógeno. La rapidez con que proliferan los microorganismos descomponedores, y por tanto, la rapidez con que se descompone la materia orgánica depende de la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Fuentes, J. L., 1999).

Los microorganismos del suelo no utilizan directamente el N orgánico sino después de sufrir el proceso de la nitrificación, ahora bien, de la misma manera que los microorganismos utilizan el nitrógeno mineral que va apareciendo, éste también puede ser absorbido por los vegetales superiores y, además, puede perderse por lixiviación. Si todo el nitrógeno mineral que aparece en el suelo fuera utilizado por los microorganismos, no se produciría variación alguna en el contenido de nitrógeno total del suelo. Sin embargo, el nitrógeno que es absorbido por los vegetales o lixiviado, representa una pérdida de nitrógeno del suelo que hace subir su relación C/N.

La relación carbono/nitrógeno expresa el cociente entre el carbono orgánico y el nitrógeno total contenidos en las materias orgánicas o en las muestras del suelo. Esta relación sirve de índice para caracterizar el estado más o menos avanzado de su humificación.

En consecuencia, actúan dos procesos, que Urbano (2001) resume de la siguiente forma:

- Oxidación de compuestos carbonados, con obtención de energía y desprendimiento de CO₂. La relación de C/N desciende.
- Nitrificación del nitrógeno orgánico, con posibles pérdidas por la absorción realizada por los vegetales y lixiviación. La relación C/N aumenta.

Los materiales con relación C/N elevada son muy ricos en energía y permiten gran actividad microbiana con fuerte desprendimiento de CO₂. A medida que se va consumiendo esta energía, la actividad microbiana va siendo menor y llega un momento en que tiende a estabilizarse.

Los valores de la relación C/N de los suelos están estrechamente

relacionados con el clima. Está comprobado que la relación tiende a ser más elevada en los suelos de climas áridos y fríos y menor, en los cálidos y húmedos.

La relación C/N de los diferentes horizontes suele disminuir con la profundidad. La razón parece obvia: por una parte, el carbono orgánico es menor a medida que profundizamos y, por otra, el NH_4^+ absorbido puede mantenerse constante o aumentar como consecuencia de la menor absorción radicular y/o nitrificación.

El interés que presenta la relación C/N para el mundo agrícola queda reflejada en las siguientes consideraciones (Urbano, 2001):

- Cuando la relación C/N de las materias orgánicas aportadas al suelo es alta, la actividad de los microorganismos es intensa y sus necesidades de nitrógeno son elevadas. Las plantas cultivadas sufren competencia muy fuerte por parte de los microorganismos, para proveerse del nitrógeno necesario, lo que origina un descenso temporal de la fertilidad nitrogenada del suelo obligando a aplicar dosis mayores de fertilizantes minerales. Solamente cuando descienda la relación C/N y disminuya la actividad microbiana, podrá aparecer nitrógeno mineral que no es utilizado por los microorganismos y queda a disposición de la planta.

- Los buenos suelos agrícolas son aquellos que permiten elevada actividad microbiana y las materias orgánicas evolucionan con rapidez. Por el contrario, cuando por condiciones del clima o del suelo, las materias orgánicas permanecen sin descomponerse o lo hacen muy despacio, manteniendo la relación C/N elevada, se comprueba que los suelos presentan escasa fertilidad y los rendimientos de los cultivos suelen ser bajos. En estos casos, se debe buscar las causas que originan esta falta de actividad, como son sequía, encharcamiento, apelmazamiento, salinidad, alcalinidad, etc. y corregirlas, si es posible.

C.4.10.- INFLUENCIA DEL HUMUS SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO:

Como se citó anteriormente, la materia orgánica es muy importante porque participa en procesos tan trascendentes para el comportamiento del suelo y crecimiento de las plantas y organismos del suelo como son: la formación y estabilidad de la estructura, el intercambio iónico, el suministro de energía y nutrientes, la capacidad de retención de humedad, la protección contra la degradación del suelo por erosión y la implicación en ciertos procesos edafogénicos.

Si la función de la materia orgánica fuese únicamente aportar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno tendría poco interés, ya que la fertilización mineral actúa en este sentido cuantitativamente con mayor rapidez. Sin embargo, el papel de la materia orgánica en la complejidad del suelo es mucho más importante (Labrador 1996).

La influencia que sobre las características del suelo ejerce la materia orgánica,

preferentemente humificada, queda recogida por autores como Urbano (2001), Fuentes, J. L. (1999), etc.:

- Efecto sobre las propiedades físicas:
 - Debido a su cohesión, la materia orgánica tiene un efecto positivo sobre la estructura de los suelos: da compacidad a los arenosos y hace más esponjosos a los arcillosos, lo que se traduce en una mayor permeabilidad al agua y al aire. Además, los agregados se hacen más estables, debido a su naturaleza coloidal, con lo que se reduce el riesgo de erosión.
 - La gran capacidad del humus para retener el agua permite almacenar más agua durante la estación húmeda y reducir las pérdidas durante la estación seca.
 - El color oscuro del humus permite captar mayor radiación solar, con lo cual hay mayor calentamiento del suelo durante la primavera.
 - No basta con que un suelo tenga una buena estructura. Es necesario, además que la conserve. Sobre este punto, la materia orgánica tiene dos efectos:
 - Un efecto a corto plazo, muy intenso, en el cual interviene principalmente la materia orgánica lábil. Este efecto se produce con mayor intensidad cuando se entierran materias que se descomponen con rapidez, como son los abonos verdes.
 - Un efecto a largo plazo, menos intenso pero más resistente que en el caso anterior, en el cual interviene, sobre todo, el humus. Las estercoladuras y el enterramiento de pajas, que dan lugar a una apreciable cantidad de este humus, producen este efecto.

- Efecto sobre las propiedades químicas:
 - Aumenta elementos nutritivos.
 - Aumento del poder tampón del suelo y, en consecuencia, reducción de las oscilaciones de pH.
 - El humus junto con la arcilla constituye el complejo de cambio, que regula la nutrición de la planta.
 - Los ácidos húmicos estimulan el desarrollo del sistema radical, y con ello se hace más efectiva la asimilación de nutrientes.
 - Con algunos cationes forma quelatos, lo que favorece la absorción de cationes por los cultivos.
 - Los ácidos húmicos forman con los aniones fosfato unos compuestos (fosfohumatos) que impiden la retrogradación del fósforo, lo que favorece su asimilación.

- Efecto sobre las propiedades biológicas:
 - En condiciones adecuadas de temperatura, humedad y aireación se favorece la proliferación de microorganismos aerobios, ya que no debemos olvidar que la materia orgánica les proporciona: carbono para la formación de las estructuras orgánicas y para su oxidación como fuente de energía, nitrógeno para la síntesis de las proteínas, y otros elementos nutritivos especiales para la vida.



Fotografía 6 y 7.- Detalle de una muestra de actividad biológica.

Reduce los riesgos de encharcamiento, favoreciendo el enraizamiento, la germinación, etc.

- Un aporte adecuado de materia orgánica provoca el aumento de la fauna del suelo (lombrices, larvas, insectos, etc.). Esta fauna es causa de efectos favorables como la circulación del agua y del aire a través del suelo, pero la proliferación desmesurada puede provocar daños de consideración a los cultivos.

- Como efecto derivado de la buena estructura conseguida por el aporte de materia orgánica humificada en el suelo, se favorece la respiración de las raíces, la germinación de las semillas y el buen estado sanitario de los órganos subterráneos. A su vez, también puede ser perjudicial para la planta, por modificar la sensibilidad de las plantas frente a las enfermedades.

C.5.- ENMIENDAS ORGÁNICAS.

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes está ligado a la agricultura desde sus inicios.

Ya en el año 900 a. de C., Homero cita en la Odisea que el padre de Ulises añadía estiércol a sus viñas; Jenofonte, en el año 400 a. de C. menciona el uso de abonos verdes y estercolados; Teofrasto s. III-IV a. de C. recomendaba estercolar las tierra poco productivas y mencionaba también como los agricultores de Tesalia y Macedonia enterraban cultivos de leguminosas con el fin de enriquecer sus tierras; Columela en el s. I d. de C. en su extensa obra sobre agronomía, nos explica cómo utilizar el estiércol, los abonos verdes, la técnica del compostaje, etc. (Labrador, 1996).

A través de los tiempos, el aporte orgánico y el mineral como complemento, se consideró como la base de una adecuada fertilización, sin embargo, los conceptos actuales de fertilización corren paralelos con un modelo de agricultura industrializada, que compara al suelo con un “soporte” del vegetal capaz de digerir cantidades ingentes de agroquímicos. Esta “forma” de hacer agricultura tiene su definición paralela de fertilización, entendiéndola por ella, el aporte desde el exterior, de los elementos químicos de naturaleza mineral, que interviene en la constitución de los vegetales (Bellapart Vilá, 1988).

Las condiciones climáticas de determinados medios y las actuaciones antrópicas inducen una importante disminución de la biomasa y contenido de materia orgánica de los suelos con importantes repercusiones en su erosividad, propiedades filtrantes y depuradoras y capacidad productiva.

De acuerdo con un gran número de autores (Robert, 1996) se ha producido un descenso importante en el contenido de materia orgánica de los suelos que se agravará si las condiciones de temperatura previstas en los modelos de cambio climático por efecto invernadero tienen lugar. El descenso del contenido en materia orgánica de los suelos de las praderas de EE.UU. puestos en cultivo hace aproximadamente un siglo se estima en un 50%. En Europa la Agencia Europea de Medio Ambiente (1998) estima que unos 115 millones de ha están sufriendo erosión por agua y otras 42 por aire, siendo el problema especialmente grave en el área mediterránea donde procesos de degradación de suelos por desertificación y salinización ya son lamentablemente frecuentes. La pérdida de materia orgánica del suelo uno de los principales factores desencadenantes de estos procesos e incluso en las zonas húmedas de Europa la pérdida de Carbono es importante. Así en Inglaterra y Gales el porcentaje de suelos cultivados con contenidos de Carbono superiores al 4% ha descendido significativamente (más del 50%) en los últimos 15 años mientras que ha aumentado el porcentaje de los suelos con valores inferiores al 2%. En la provincia de La Coruña (Galicia), una zona con pluviometría media en torno a los 1300 mm donde los suelos no cultivados presentan contenidos de carbono entre 4 y 2%, se ha visto que los suelos cultivados presentan un descenso del orden del 30 al 40% (Macías y Calvo de Anta, 2000) señalando que además de la extracción de biomasa influyen en este cambio la elevación del pH por los aportes fertilizantes y enmendantes y el incremento de la disponibilidad de N, factores ambos que incrementan la actividad biológica y, por lo tanto los procesos de mineralización de la materia orgánica. Algunos suelos cultivados presenta ya valores inferiores

al 1% que se considera como un valor bajo para la conservación de la calidad del suelo (Boixadera, J. y Teira, M.R., 2001).

Existe pues una necesidad de aporte de materia orgánica a los suelos, principalmente a los suelos cultivados, pues es donde más materia orgánica se pierde y donde el proceso erosivo es más pronunciado y desde el punto de vista económico es donde más barato nos resulta aporta la materia orgánica, pues, además que nos da un beneficio productivo es fácil realizarlo mecánicamente con maquinaria apropiada.

En la actualidad el aprovechamiento agrícola de residuos orgánicos de distintos orígenes es una práctica habitual en nuestra Comunidad debido a las elevadas cantidades generadas de estos materiales, al intento de buscar la manera más económica de gestionarlos y a las nuevas tendencias legislativas europeas. Es obvio que un uso racional de este tipo de materiales en agricultura no es la novedad (Saguer y Garrabou, 1996) y en principio no tendría porque ser problemático; pero puede serlo si las condiciones técnicas de aplicación no son satisfactorias. Las aplicaciones han de ser establecidas según las necesidades de suelos y cultivos no por las de los generadores de los residuos. El objetivo prioritario de su uso debe ser el de mantener y mejorar la fertilidad del suelo, a la vez que conseguir una producción agrícola de calidad y con una rentabilidad aceptable. (Martínez, 1995, Boixadera, 2000).

C.5.1. RESIDUO:

C.5.1.1.- Concepto.

Podemos definir como residuo: “aquella materias de actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico” según la legislación española (ley 42/75) y por otra parte la directiva de la CEE 75/442 lo define como “cualquier sustancia u objeto del cual se desprende su poseedor o tiene obligación de desprenderse”. Estas definiciones son muy amplias y abarcan a la totalidad de los productos residuales que origina nuestro sistema de vida.

Sin lugar a dudas, en los países desarrollados es donde existe el mayor índice de consumo y por tanto el de mayor producción de residuos. Estos pueden acarrear problemas importantes, sobre todo para el medio ambiente. A esta situación debemos unir el agotamiento de los recursos naturales no renovables, que puede conducir a una escasez de muchos de ellos a medio o corto plazo. Por tanto, deben ser estudiados, analizados y transformados, en la medida de lo posible, los residuos originados por nuestro modo de vida, lo que permitiría una disminución de los daños sobre el medio ambiente y su consideración como recursos. No olvidemos que en este empeño está el mantenimiento de nuestra calidad de vida y nuestra salud, (Navarro, J. y col. 1995).

Es indudable que, tanto desde el punto de vista agrícola como del de recuperación de suelos, hay tres conceptos básicos que incitan a la utilización de residuos orgánicos y derivados (Parr y col., 1983). Éstos son:

- Mejorar las propiedades del suelo, tanto físicas, como químicas y biológicas.
- Favorecer la vida, especialmente el desarrollo de la cubierta vegetal y el

- mantenimiento de la productividad de los suelos.
- Evitar la pérdida de recursos y energía.

Los residuos pueden ser utilizados como acondicionador de los suelos cuando son susceptibles de mejorar alguna o algunas propiedades de los mismos, o como fertilizante, lo que implica como finalidad el aporte de nutrientes para el sostenimiento de la cubierta vegetal. La definición de fertilizante, dada por la Soil Conservation Society de América, es “cualquier material orgánico o inorgánico de origen natural o sintético que añadido al suelo aporta ciertos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas” (Follet y col., 1987). El término acondicionador es más amplio, y engloba la acción sobre cualquiera de las propiedades del suelo que podamos considerar. Encontramos un término medio que en muchas ocasiones define los dos comentados anteriormente, el de enmendante o enmienda para los suelos (Navarro, J. y col. 1995).

C.5.1.2.- Clasificación.

En base a los diferentes sectores generadores de residuos orgánicos, se pueden distinguir tres grupos: el sector primario, productor de alimentos y materias primas, que produce los residuos agrícolas, ganaderos y forestales; el secundario, de transformación, que genera los residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.), y el terciario, de servicios, que originan los residuos urbanos (residuos sólidos urbanos y lodos de estaciones de aguas residuales).

De todos estos grupos de residuos, cerca del 60% de ellos están formados por materiales que se pueden considerar como *residuos orgánicos*. Entendemos como tal aquel cuyo origen es fundamentalmente biológico (la materia orgánica representa del 95 al 99% del total de la materia seca de los seres vivos, Mustin, 1987) y participan mayoritariamente en su composición sustancias orgánicas (con elevada presencia de C, H y O, y en menor medida N, P y S así como otros elementos en menor concentración).

En general, se pueden considerar como materiales orgánicos aquellos procedentes de actividades como la agricultura, ganadería, mataderos, residuos forestales, domésticos, lodos de depuradoras de aguas residuales, englobando también a los originados en las industrias agroalimentarias y afines (cárnicas, conserveras, etc.). Como se aprecia, el abanico de actividades que generan materiales con mayor o menor carácter orgánico es grande, lo que provocará que también sea amplia la variedad de residuos y las características que presentan. (Navarro, J. y col. 1995).

C.5.1.2.1. -. Residuos del sector primario:

- Residuos ganaderos:

Están formados por la acumulación de deyecciones sólidas y líquidas producidas en las explotaciones ganaderas y subproductos animales (Bernal y Roig, 1993).

- Gallinaza:

Se entiende por gallinaza las deyecciones de aves de corral junto con

el material usado en la cama, en los casos que corresponda.

La gallinaza puede aplicarse directamente al suelo, sin tratamiento previo, aunque esta opción presenta inconvenientes. La materia orgánica que se incorpora al suelo no está estabilizada, se produce volatilización del amoníaco (malos olores, contribución al efecto invernadero...) y se altera la composición orgánica del suelo, consumiéndose oxígeno para la degradación de la materia orgánica aportada. Por todo ello se elegirá siempre un tratamiento previo a la aplicación de la gallinaza, para estabilizarla, mejorar su calidad como abono y, si es posible, fijar el nitrógeno amoniacal (Solé, F. y Flotats, X. 2004).

La mejor opción de valoración para la gallinaza es el compostaje. Este proceso será tratado más adelante.

○ Purines y “lisieres”:

Están formados por la unión de los excrementos sólidos y líquidos, con restos de cama, alimentos y agua en cantidades variables, que resultan del sistema productivo de los animales y que presentan consistencia fluida, con un contenido aproximado de sólidos menor al 12% (Solé, F. y Flotats, X. 2004).

La aplicación de estos residuos líquidos suele ir acompañada de procesos previos de compostaje para mejorar sus condiciones agronómicas.

Los “lisieres” más usados son los porcinos, cuya composición nitrogenada es elevada y considerable. Según el tipo de explotación (engorde, ciclo cerrado o maternidad) estos tienen diferentes características. De todos ellos, los de engorde muestran un elevado contenido de N y materia orgánica, destacando notablemente sobre los demás (Navarro, P. y col.; 1995).

La aplicación en el suelo de las dosis adecuadas a cada cultivo es la mejor vía de valoración. Estas dosis se han de calcular basándose en el contenido de nutrientes de los purines, y las aplicaciones deben hacerse en unas épocas determinadas del año, que depende de cada cultivo.

Las emisiones de amoníaco causadas por la aplicación al suelo de los purines pueden reducirse mediante la utilización del equipo adecuado. Estas técnicas reducen a su vez los malos olores.

No existe una técnica sin limitaciones y aplicable en todas las circunstancias y tipos de suelos. Las técnicas de inyección son las de mayor reducción en las emisiones, aunque técnicas de aplicación en superficie e incorporación inmediata pueden conseguir la misma reducción (Solé, F. y Flotats, X. 2004).

○ Estiércol artificial:

En la elaboración del estiércol artificial se emplea como materia prima la paja de cereales. Se trata de provocar su descomposición y transformación en estiércol, para lo cual hay que activar el proceso

mediante humedecimiento, siembra microbiana y enriquecimiento en nitrógeno. Se puede enriquecer el producto en fósforo y potasio mediante aportaciones de fertilizantes minerales.

○ Deyecciones de lombrices (Vemicompost):

Una actividad que ha crecido en los últimos años es la puesta en funcionamiento de “granjas de lombrices” para la obtención comercial de este fertilizante orgánico también denominado vermicompost y “humus” de lombriz.

Este producto es el resultado de la transformación de materiales orgánicos por una lombriz común en los estercoleros, *Eisenia foetida*, *Lumbricus rubellus* o híbridos próximos, hoy denominada comercialmente “lombriz roja de California”.



Fotografía 8.-lombriz compostando.

Fuente.- www.compostadores.com/.../lombriz.jpg

La transformación del material orgánico se produce al paso del mismo por el tubo digestivo, y a su mezcla con compuestos minerales, microorganismos y fermentos, que provocan una transformación bioquímica inicial de la materia orgánica, siendo por lo tanto, más rápida la mineralización y la humificación posterior en el suelo, y la activación del metabolismo microbiano y vegetal (por su contenido en fitohormonas).

Las cantidades de elementos minerales del producto resultante son muy variables, dependiendo de la composición de los materiales de partida y del manejo de las camas que se les dé (Tabla 6).

ELEMENTO	RIQUEZA %
N. total	1,5
N. orgánico	1,3
Potasio total (K ₂ O)	1,6
Fósforo total (P ₂ O ₅)	2,2
Calcio (Ca)	6,4
Magnesio (Mg)	0,8
Sodio (Na)	0,2
Hierro (Fe)	0,9
M. orgánica s.m.s.	31,0
Ác. Húmicos	2,3
Ác. Fúlvicos	1,2
Humedad máxima	38,0

Tabla 6.- Riqueza media de compost de lombriz. Fuente.- Lombrimur, S.A. en Labrador, J., 1996).

○ Subproductos animales:

Según el reglamento (CE) 1774/2002 se consideran subproductos animales los cuerpos enteros o partes de animales o productos de origen animal no destinados al consumo humano. Según la categoría de cada subproducto se le da un tratamiento u otro, como puede ser incineración, compostaje, etc. (Solé, F. y Flotats, X. 2004).

C.5.1.2.2.- Residuos de industrias agroalimentarias y afines:

Existen una gran cantidad de industrias de transformación agrícola que generan residuos derivados de su proceso productivo, procedentes del producto inicial de transformación y que, en bastantes casos, incluye productos utilizados en la transformación. A continuación se relacionan algunos de estos residuos indicando su posible uso y/o tratamiento a realizar.

○ Mataderos industriales:

Estas instalaciones generan dos tipos de residuos con carga orgánica importante. Unos sólidos provenientes básicamente del despiece de los animales y formado por los restos no comerciales de los mismos, y otros líquidos que proceden fundamentalmente del lavado de los animales y las instalaciones. Como conjunto, en base a su origen biológico y su carga orgánica, puede existir la posibilidad de su empleo como enmendantes orgánicos de los suelos (Navarro, P. y col.; 1995).

Según Alcántara (1993) residuos de matadero utilizados como abono son: sangre en polvo, cuernos y pezuñas, cueros en polvo y huesos en polvo.

Estudios realizados en el aprovechamiento de los efluentes de industrias cárnicas indican que el vertido sobre los suelos de estos residuos los enriquece en nutrientes, mejoran su fertilidad y sobre todo las propiedades físicas (Balks y Allbrook, 1991). Además de ello, no se han apreciado efectos negativos a largo plazo, y se ha observado en lugares de descarga un incremento de la población y actividad de organismos como las lombrices de tierra.

○ Arroceras

El residuo básico de esta industria es la cascarilla de arroz, que puede ser utilizada como combustible o como sustrato de cultivo, sola o mezclada con otros sustratos. Para este uso, y para evitar su posible fitotoxicidad, es conveniente que se haya sometido a un proceso previo de descomposición o de tostación en horno.

○ Cerveceras

Los lodos procedentes de las industrias cerveceras son depositados en vertedero en su mayor parte, aunque en algunos casos se utilizan como abono orgánico y en la alimentación animal. Los residuos de lúpulo y malta pueden ser también compostados con otros materiales orgánicos para ser utilizados en la formulación de sustratos.

○ Frutos secos

Los restos de cáscaras rotas, trituradas o tostadas se utilizan principalmente como combustible. Estos materiales, previa reducción de su tamaño si este es excesivo, pueden ser compostados o co-compostados con otros materiales orgánicos con mayor contenido en nitrógeno y más degradables. El compost obtenido puede utilizarse como abono, enmienda orgánica o en la formulación de sustratos.

○ Harineras

Los residuos generados en estas industrias son el salvado y polvo y paja de trigo y en menor proporción grano. Estos productos se destinan principalmente a la alimentación animal y lecho de ganadería. En algunos casos pueden volver al suelo como componente de abonos orgánicos e ingredientes de compost.

○ Industria del café

Los tostaderos de café generan cascarilla que generalmente se incinera como combustible en la propia planta. Una pequeña parte se lleva a vertedero o se incorpora al suelo de forma directa o tras un proceso de compostaje.

Las empresas productoras de café soluble generan un residuo tras la extracción de los granos de café tostado y molido. Este producto se utiliza como combustible, como componente de piensos para animales, para el cultivo de setas o como abono orgánico o también como componente de sustrato de cultivo. Para este último uso es conveniente su compostaje previo con otros materiales orgánicos, como la corteza de pino.

- Oleícola

Del proceso de extracción del aceite de soja y de girasol se obtiene un residuo consistente en restos de semillas y harinas. Estos productos se usan como abono en agricultura y en la alimentación animal o bien son depositados en vertedero.

De la extracción del aceite de oliva y según el procedimiento utilizado se genera el orujo, el alpechín, el lodo de alpechín o el alperujo. El orujo se ha utilizado tradicionalmente como combustible o componente de pienso para la alimentación animal. Tras su compostaje o co-compostaje puede ser aplicado al suelo o utilizado para la formulación de sustratos de cultivo, mezclado con materiales aireantes.

Los lodos de alpechín, obtenidos tras la evaporación en balsas del alpechín, y el alperujo, producto resultante del nuevo sistema de centrifugación en dos fases, tienen diversas utilidades: cogeneración de energía eléctrica, secado para obtener el aceite de orujo, combustible en la propia almazara tras su secado en balsas y elaboración de abonos orgánicos mediante co-compostaje con otros productos que aumenten la porosidad y la aireación, como residuos de maíz, algodón, raspajo de uva, etc.

- Textil

Los residuos textiles principales proceden del algodón o del lino. El subproducto del algodón consiste en fibras cortas, semillas y restos de hoja. El residuo del lino genera el polvo de telar que se obtiene del tallo en el proceso de fabricación de las fibras. La mayor parte de estos residuos se destinan a vertedero o son quemados en la propia industria para la obtención de energía. Si se someten a un proceso de compostaje, estos materiales pueden ser utilizados en la formulación de sustratos de cultivo.

- Transformación de hortalizas

Las industrias de conservas, congelación y cuarta gama de hortalizas generan un conjunto de residuos de alta degradabilidad y ricos en nutrientes. Estos materiales tras su compostaje pueden ser utilizados en la fabricación de abonos orgánicos, de enmiendas orgánicas y para

formular sustratos.

Este apartado (C.5.1.2.2.) se ha sacado la información de Martínez, F. X, 2002.

(http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm).

C.5.1.2.3.- Residuos de origen urbano:

- Residuos sólidos urbanos.

La eliminación de las basuras o residuos sólidos urbanos (RSU) es uno de los problemas más importantes que tienen las administraciones Municipales en la actualidad, ya que a la elevada cantidad producida (aprox. 1 kg de basura por habitante y día) se le une la dificultad de encontrar municipios dispuestos a ceder parte de su territorio para vertedero de basuras. Como vía alternativa al vertedero cabe destacar el tratamiento de estos residuos urbanos en plantas de reciclado en las que se separan distintos componentes de las basuras como son los plásticos, los envases de vidrio, los componentes metálicos, el cartón y papel; sometido la fracción orgánica resultante a un proceso de compostaje (Pomares, F. y Canet, R., 2001).

De esta fracción orgánica se obtiene el compost de residuos urbanos que tiene aplicaciones como abono e incluso como componente de sustratos de cultivo.

El compost de residuos urbanos que no procede de separación selectiva suele contener gran cantidad de metales pesados (níquel, plomo, cinc, cadmio y cromo) y el compost fresco resulta fitotóxico en ensayos de germinación, dependiendo la toxicidad por metales pesados. La conductividad eléctrica es elevada y suele contener además proporciones considerables de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cloro o sodio. Su pH varía entre 5,9 y 8,5. Su conductividad eléctrica varía entre 1,5 y 2,4. El contenido en materia orgánica varía entre el 20 y el 70% (Burés, S., 1997).

- Lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales.

La depuración de las aguas residuales en las zonas urbanas antes de su vertido a los cauces receptores es una exigencia imperativa como medio para prevenir la contaminación del medio hídrico, bien continental o marítimo. El proceso de depuración que se suele utilizar es el de la digestión anaerobia, que permite recuperar energía por medio del biogás. En este proceso de depuración de las aguas residuales, además de obtenerse agua depurada de posible uso para el riego agrícola, se generan enormes cantidades de residuos orgánicos (aprox. 70-100 g de materia seca/persona/día) denominados lodos o fangos de estaciones depuradoras de aguas residuales (lodos de

EDAR). En función del grado de estabilización se distinguen varios tipos de lodos: frescos y digeridos. Los lodos frescos son aquellos que han recibido ningún tratamiento de fermentación, se caracterizan por un olor muy desagradable y por su alto grado de contaminación por gérmenes patógenos de los cultivos o del suelo. Los lodos digeridos se originan al someter los lodos frescos a un proceso de digestión aerobia o anaerobia. Este tipo de lodos tienen un olor menos desagradable y un menor contenido en gérmenes patógenos. Los lodos residuales, tanto los frescos como los digeridos, suelen someterse a una deshidratación mediante eras de secado o mediante distintos sistemas mecánicos (filtro de bandas, centrifugación, secado térmico, etc.), obteniéndose un producto más o menos pastoso que puede distribuirse directamente a los campos agrícolas o tras su secado y/o compostaje (Pomares, F. y Canet, R., 2001).

C.5.1.2.4 - Residuos de plantas acuáticas:

Existe la posibilidad del uso de residuos de plantas acuáticas puesto que éstas en definitiva, siguen siendo materia orgánica conteniendo importantes cantidades de nutrientes que pudieran ser aprovechables si se incluyen como enmendantes en el sistema suelo-planta.

Las algas marinas son susceptibles de ser empleadas como abonos orgánicos de los suelos si se procede a un proceso de secado apropiado; además suelen descomponerse con relativa rapidez. Su composición en agua es elevada así como de contenido en sales. Respecto a su contenido de N, P y K es respectivamente: 1,34- 3.60; 0,08-0,17; 0,06-0,69, en porcentaje de peso seco de algas (Parr y Colacicco, 1987).

C.5.1.2.5 - Restos forestales:

Los restos forestales están compuestos fundamentalmente por materiales leñosos y de lenta mineralización, originados de forma natural y artificial en su mayor parte. Son obtenidos por procesos de poda y aclareo, como de otras labores que se practican en silvicultura. Además, a estos residuos se le puede asociar los derivados de las actividades de la industria de la madera, con características comunes a los restos de podas forestales en su mayor parte.

Su conversión en humus puede ser viable atendiendo a los plazos biológicos de formación de suelos en bosques, sin importar que para ello se precise el transcurso de muchos años. Sin embargo, con el fin de aprovechar su potencial como acondicionador del suelo, se suele proceder a la producción de materiales compostados y materiales finos como el serrín. Este material es utilizado normalmente como mezcla con otros productos para los procesos de fermentación (Navarro, P. y col.; 1995).

El serrín puede ser utilizado como sustrato de cultivos, con poca intervención en la nutrición de la planta pero con una interesante capacidad de retención hídrica. Además es de destacar los buenos resultados que su compost

proporciona en cultivos bajo cubierta. Pudelski (1985) indica la importancia del uso de restos forestales como medio de crecimiento de vegetales en invernadero, especialmente en los meses de verano o empleando técnicas de calentamiento del sustrato. Con ello se consigue incrementar considerablemente el nivel de CO₂ de la atmósfera e intensificar la fotosíntesis. Todo ello se traduce en un incremento notable de la biomasa.

C.5.1.2.6. - Restos de cosechas:

La producción de residuos vegetales derivados de la propia actividad agrícola es considerable. Una práctica que podría contribuir a paliar el déficit húmico de nuestros suelos es la incorporación de estos subproductos, que podrían aumentar el nivel de materia orgánica del suelo y su fertilidad (Cegarra y col., 1983).

En este apartado se tratará una visión general de esta aplicación, pues en otro apartado sucesivo ya se tratará en concreto experiencias aplicadas al olivar.

- Procedencia y potencialidad de los residuos de cosecha:

La producción agrícola en el estado español, se destina por orden de importancia a:

Cereales, oleaginosos, fruta dulce y viñedo, cultivo forrajero y frutos secos. La prioridad de los cereales es una característica común tanto a nivel mundial como de la Unión Europea. La segunda posición a nivel español y mundial la ocupa los oleaginosos, mientras que en la Unión Europea este lugar se destina a los cultivos forrajeros.

En España, la cebada tiene prioridad sobre el trigo, la avena y el maíz. En la Unión Europea y a nivel mundial el primer lugar es ocupado por el trigo.

La mayor parte de la superficie destinada a oleaginosos corresponde a olivares seguido del girasol.

El olivo es el cultivo que predomina en la Unión Europea mientras que a escala mundial se encuentra la soja.

La vid es el principal cultivo de la superficie ocupada por fruta dulce y viñedo, ocupando el segundo lugar, los cítricos. El viñedo también ocupa la primera posición a escala europea y mundial.

Las praderas policitas y las gramíneas forrajeras ocupan la misma superficie en los cultivos forrajeros, quedando en tercer lugar la alfalfa. Las praderas polifitas también son el principal cultivo de este grupo a escala mundial y europea.

Una gran parte del la superficie destinada a frutos secos, la ocupa el almendro. Es también el principal cultivo de este grupo en la Unión

Europea, pero no a escala mundial.

Se puede hacer una estimación global de la cantidad de residuo de cosecha generado y del rendimiento en humus de los mismos, a partir de los datos existentes sobre superficie de cultivo y producción de los principales cultivos en España, y teniendo en cuenta la cantidad de residuos que presumiblemente pueden generar.

Las estimaciones realizadas para los cereales indican que, si se incorporan todos los residuos de cosecha al suelo, como raíces+rastrojos+paja o equivalente, la materia seca total disponible sería entre 5.5 y 11 Tm/ha. El valor húmico de esta materia seca oscilaría entre 550 y 1100 Kg de humus/ha, según cultivos.

El maíz presenta los valores mayores, mientras que la cebada da el menor rendimiento en humus. Los aportes producidos por las raíces y rastrojos representan entre el 37% para el maíz y el 47% para el trigo del total generado. Puesto que en la mayor parte de la superficie destinada a cereal solo se incorporan al suelo las raíces y rastrojos, se pierde más de la mitad del potencial húmico del total de residuo de cosecha producido.

Los residuos de poda producidos por los principales cultivos leñosos generan entre 1.3 y 3 Tm de materia seca por hectárea, con un valor húmico potencial de 333 a 750 Kg/ha. Los valores máximos se presentan en el manzano mientras que el almendro da el menor rendimiento.

Las pérdidas de humus por mineralización en los suelos españoles varían entre 200 y 2000 Kg por hectárea y año, con valores medios cercanos o inferiores a 700. Las cifras menores corresponden a suelos con bajo contenido en materia orgánica y débil velocidad de mineralización como son las zonas áridas, suelos calizos, cultivo en secano, zonas frías, laboreo reducido, etc. Las más altas a suelos profundos, con alto contenido en materia orgánica y elevada mineralización, como son las zonas cálidas, húmedas, regadío, laboreo frecuente, etc.

En España, la mayor parte de la superficie de cultivos es en suelo calizo en secano o con limitación hídrica, si se incorporara al suelo el total residuo, el humus generado cubriría en muchos casos las pérdidas por mineralización y en determinadas rotaciones o cultivos sería excedentario (Quiñones, F. 2007) <http://www.articulos.es/arte-y-cultura/gestion-y-tratamiento-de-los-residuos-agricolas.html>

- Características y usos de los principales residuos agrícolas:

Residuos de cereales.

El principal residuo de los cultivos cerealísticos es la paja y los rastrojos, que presentan baja humedad, alto contenido en celulosa y alrededor de un

10% de lignina. La relación C/N es muy elevada, entre 80 y 100.

La mayor parte de la paja producida se destina a la ganadería, donde se utiliza para la alimentación o como lecho. Antes de establecerse las medidas contraincendios en los ámbitos rurales, la quema de la paja junto con los rastrojos en el campo era un procedimiento bastante frecuente en el campo español. Aunque con poca frecuencia, lamentablemente, la paja, tras su acondicionamiento físico, es incorporada al suelo con los rastrojos.

Otros posibles usos de la paja, aunque minoritarios son los siguientes: obtención de papel paja, obtención de glucosa y furfural, componente en la fabricación de tableros, aislante y material de relleno en materiales de construcción, cultivo del champiñón, empleo como combustible, obtención de estiércol artificial, agente de aireación y/o fuente de carbono para el compostaje de residuos pastosos o excesivamente ricos en nitrógeno.

La quema de rastrojos y de paja es una actividad poco defendible desde la óptica técnico-científica pero que ha sido bastante usual en el campo español. Como aspectos favorables de la quema se han citado los siguientes: destrucción de propágulos de malas hierbas, reducción de parásitos y patógenos, restitución de minerales al suelo, eliminación rápida del residuo, etc.

La incorporación al suelo o enterrado de pajas comporta un aporte importante de materia orgánica al suelo y su posterior humificación, mejorando el balance de humus tal y como se ha comentado anteriormente, con los numerosos efectos positivos que ello conlleva, y recicla de forma natural los nutrientes asimilados por los cultivos. Antes de su incorporación al suelo la paja debe ser picada o troceada mecánicamente, con lo que se favorecerá su posterior ataque microbiano y se facilitaran las labores del siguiente cultivo. La incorporación al suelo, para su compostaje en el suelo debe ser superficial.

Dada la alta relación C/N de la paja, el enterrado conlleva inmovilización del nitrógeno del suelo, fenómeno que puede provocar “hambre de nitrógeno” en el siguiente cultivo, como se ha comentado anteriormente. Este efecto negativo puede evitarse fácilmente aportando nitrógeno (de 6 a 12 kg por Tm de paja) a la paja en el momento de enterrarla. Los purines pueden ser un material muy interesante para esta finalidad, puesto que además de nitrógeno y otros nutrientes incorpora agua al suelo aumentando la humedad del residuo y del suelo y facilitando la descomposición de la paja.

Residuos de vegetales verdes.

Se trata de residuos de cultivos que se cosechan antes de la senescencia vegetal. Por este motivo los residuos presentan alto contenido en

humedad y generalmente son fácilmente degradables. Comprende, entre otros, los residuos de los cultivos forrajeros y raíces o tubérculos extensivos y los que provienen de la mayoría de los cultivos hortícolas comestibles y de las producciones de flor cortada.

La mayoría de los residuos forrajeros recolectables se reciclan para la alimentación del ganado por lo que en la práctica no constituyen un residuo propiamente dicho.

Los residuos de la horticultura comestible pueden ser incorporados en el suelo para facilitar su posterior descomposición si existe tiempo suficiente antes de iniciar el próximo cultivo. El elevado contenido hídrico de estos residuos y su baja relación C/N (15 a 30) promueve una descomposición bastante rápida y, generalmente, su incorporación al suelo no conlleva el riesgo de “hambre de nitrógeno” en el siguiente cultivo.

En las explotaciones muy intensivas, y especialmente en cultivo protegido, los residuos de la cosecha de la horticultura comestible y también de la floricultura deben ser retirados del suelo o de los sustratos de cultivo antes de iniciar el cultivo siguiente, al no existir tiempo suficiente y/o para evitar los riesgos fitosanitarios. En estos casos los residuos vegetales se amontonan al aire libre para facilitar su desecación, disminuyendo así su volumen. Posteriormente estos residuos pueden tener cuatro destinos principales: transporte e incorporación al suelo de otras fincas menos intensivas; quema “in situ”; deposición en vertederos; o traslado a plantas de compostaje para la fabricación de compost. Este último destino se muestra de especial interés puesto que permite una importante reducción del volumen (minimización del residuo) y su valorización mediante la estabilización de su la materia orgánica y la higienización del producto, eliminando o disminuyendo drásticamente la posible existencia de patógenos y parásitos en el residuo inicial. El compost obtenido puede ser utilizado para su aplicación al suelo como enmienda o abono orgánicos o como sustrato o componente de un sustrato en cultivo sin suelo. (Martínez, F., X., 2002 en http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm)

Residuos de poda de viña y frutales.

Los sarmientos y la madera proveniente de la poda de la vid y de los árboles frutales presentan un contenido medio-bajo de humedad y un alto contenido en celulosa y lignina. La relación C/N de estos materiales es muy elevada, entre 150 y 250.

La mayor parte de estos residuos se quema en la propia explotación tras ser retirados del campo y en mucha menor proporción se utiliza como combustible (troncos o ramas gruesas de frutales) o para el asado de carne en barbacoas (sarmientos de vid). De forma alternativa, y con mucho mayor interés, estos materiales pueden ser aplicados al suelo para

su posterior descomposición y humificación. Esta alternativa, que hace unos años era muy poco frecuente, se va implantando lentamente en la arboricultura española. La aplicación al suelo exige un tratamiento mecánico previo de troceado o picado y, si se considera necesario, de desfibrado. Este último tratamiento es especialmente interesante en troncos y ramas de mediano y gran calibre. Atendiendo a la elevada relación C/N de estos residuos es preciso aportar una fuente nitrogenada, ya sea de naturaleza orgánica (estiércol, abonos orgánicos, purines, abonado en verde) o inorgánica (abonos amoniacales o ureicos), que aceleren su descomposición. El residuo triturado puede dejarse sobre el suelo, a modo de acolchado orgánico de lenta descomposición, o proceder a su incorporación superficial en el suelo, mediante la realización la labor adecuada. (Martínez, F., X., 2002 en http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm)

Acolchado:

El acolchado o mulching es una práctica agrícola que consiste en cubrir el suelo con un material, generalmente orgánico, destinado tanto a proteger como a fertilizar. Se practica en horticultura y arboricultura, ya sea en periodos de reposo del suelo, como en periodos de cultivo y también en sistemas cerealistas, actuando como acolchado el propio rastrojo.

Los efectos beneficiosos del acolchado son enormes y tienen incidencia sobre todos los parámetros edáficos: físicos debido a cubierta protectora, químicos al transformarse ese material orgánico y biológicos al conseguir mejorar las condiciones físicas del suelo, la cantidad de nutrientes disponibles y favorecer fenómenos de antibiosis (Labrador, J., 1996).

C.5.2.- TRATAMIENTOS:

Hay que distinguir dos tipos de tratamientos. Los primeros son mecánicos y se realizan para preparar el material para un posterior tratamiento orgánico.

Como se ha comentado anteriormente la aplicación al suelo de las pajas y otros residuos equivalentes de los cereales requiere trituración o picado y incorporación superficial. Estas dos operaciones se pueden realizar de forma separada o conjunta según disponibilidad de maquinaria y características del residuo.

La rotura de la paja se realiza generalmente en el momento de la cosecha, incorporando un dispositivo picador a la cosechadora. De esta forma la paja picada queda sobre el suelo a medida que avanza la cosechadora. Posteriormente se debe realizar una labor de incorporación superficial mediante pasa de grada de discos o labor de chisel. Una única labor de grada de discos (utilizando discos escotados) permite la rotura e incorporación de la paja en una sola labor.

La aplicación de residuos tales como los procedentes del maíz, girasol, colza, etc. se realiza generalmente utilizando gradas rotativas de eje vertical las cuales, aprovechando el movimiento transmitido por la toma de fuerza, rompen e

incorporan en una sola labor el residuo, garantizando un buen contacto con el suelo. Este mismo tratamiento es adecuado para los residuos hortícolas.

Los restos de poda requieren siempre un tratamiento de fragmentación o rotura. Para esta labor se suele utilizar trituradora de restos de poda, de funcionamiento similar a una desbrozadora de martillos o mayales pesada, de reciente aparición en el mercado y muy bien adaptada para la zona olivarera del sur de España. Acoplada al tractor, el tamaño y el diámetro medio del producto obtenido es función de la velocidad de avance y del régimen de giro de los martillos. El producto resultante queda en el centro de la calle y puede ser posteriormente incorporado al suelo con grada rotativa de eje vertical o, más frecuentemente, dejado en superficie como acolchado orgánico (Martínez, F. Xavier., 2002, en http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm).

Como se ha dicho en el apartado anterior, la aplicación de muchos de los residuos orgánicos no es posible de una forma directa. Según el documento de trabajo "*Biological treatment of biodregadable waste*" ("Tratamiento biológico de los residuos biodegradables"; DGE; 2000) establece como objetivos promover el tratamiento de residuos biodegradables con el fin de evitar o reducir cualquier impacto ambiental, así como proteger los suelos y mejorar su calidad. Los procesos de tratamiento contemplados, en el documento anterior, son el compostaje, la digestión anaerobia y la combinación de los dos (Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J. y Bonmatí, A.; 2001).

No existe un tratamiento estandarizable, aplicable de forma universal a cualquier tipo de residuo orgánico. La adopción de un sistema determinado depende de multitud de factores (Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J. y Bonmatí, A.; 2001):

- características del residuo,
- balance de nutrientes en la zona geográfica en que se han generado,
- necesidades de fertilización a cubrir: enmiendas orgánicas, substratos para horticultura, sustitución de fertilizantes minerales, etc.,
- capacidad de almacenamiento de las granjas,
- impacto ambiental,
- costes de transportes,
- estructura de precios de la energía,
- economías de escala,
- políticas legislativas, fiscales, sectoriales, etc.

Para ordenar la toma de decisiones, es necesario partir de un plan de gestión de residuos orgánicos y fertilizantes en la zona objeto de trabajo, incorporando en el mismo plan los residuos orgánicos de diferentes orígenes:

- fracción orgánica de residuos municipales,
- lodos de plantas depuradoras de aguas residuales,
- residuos ganaderos,
- residuos orgánicos de la industria alimentaria.

Uno de los tratamientos más extendidos para la utilización de estos residuos orgánicos en la agricultura es el compostaje, el cual lo desarrollaremos en el siguiente

apartado debido a su gran importancia.

C.5.3. - EL COMPOSTAJE:

El compostaje, como comenta Labrador, J., 1996, ha sido empleado por los agricultores desde hace siglos, como un medio de aporte complementario de suplementos orgánicos baratos, de buena calidad y fácilmente accesibles para sus tierras. En la actualidad, son minoría los agricultores que todavía comportan en sus fincas, sin embargo ha crecido el compostaje industrial fundamentalmente de residuos sólidos urbanos, con el fin de recuperar la materia orgánica que desechamos con grandes costes económicos y ecológicos y obligados por los problemas de contaminación y de impacto ambiental que la eliminación de los residuos urbanos comporta.

Los objetivos del compostaje son:

- Supresión de olores desagradables.
- Mejora de las condiciones higiénicas de los residuos.
- Reducción de la capacidad de germinación de las semillas.
- Mejora y mantenimiento del valor fertilizante.
- Incremento de las poblaciones microbianas beneficiosas.
- Incremento de la actividad biológica del suelo.
- Influencia positiva sobre la calidad del vegetal.
- Mínimas pérdidas de nutrientes durante su aplicación.
- Minimización de gastos para el agricultor.
- Condiciones mejores de trabajo.
- Minimización de gastos energéticos en el proceso y uso.

El compostaje es un proceso de descomposición incompleta de una mezcla de materiales orgánicos heterogéneos, realizado por microorganismos y acelerado artificialmente bajo unas condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y elementos nutritivos. Es un proceso bastante complejo, resultado de unas transformaciones que vienen condicionadas por el medio en donde se desarrollan. El producto final obtenido, el compost, es una materia orgánica más estable, más seca que el producto original, puesto que durante el proceso se produce mineralización, evaporación del agua sobrante y un cierto grado de humificación (Fuentes, J. L., 1999).

El tratamiento aerobio de los residuos agrícolas, que se efectuaba en la agricultura tradicional de una forma artesanal, ha pasado a ser, en muchos casos, un proceso industrial en donde se tratan importantes cantidades de residuos agrícolas, ganaderos, domésticos (residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora de aguas residuales) e industriales. Se le llama mantillo al resultado de las transformaciones que se producen de forma natural en un material heterogéneo, procedente preferentemente de residuos agrícolas y ganaderos, reservando el término compost al producto resultante de transformaciones aceleradas de residuos orgánicos heterogéneos, procedentes generalmente de actividades domésticas e industriales, ejecutando las operaciones de manejo a gran escala y de forma mecánica.

Haug (1993) describe el compost como: “materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas”.

Los factores ambientales a tener en cuenta para una adecuada evolución del compostaje son los siguientes (Fuentes, J. L., 1999):

1. Temperatura. El carbono contenido en el material original sirve a los microorganismos para obtener la energía necesaria para su actividad. La energía sobrante del metabolismo se libera en forma de calor, que eleva la temperatura del medio. Cada especie de microorganismos que interviene en el proceso desarrolla su actividad máxima a una determinada temperatura. Desde este punto de vista, el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas:
 - En la primera etapa actúan las bacterias y hongos que descomponen las sustancias fácilmente degradables, a una temperatura comprendida entre 15 y 40 °C.
 - En la segunda etapa actúan las bacterias, hongos y actinomicetos que descomponen las sustancias más complejas, a una temperatura comprendida entre 40 y 70 °C.
 - Una vez alcanzada la temperatura máxima disminuye la actividad microbiana y se produce un enfriamiento de la masa hasta una temperatura de unos 20 °C.
 - La cuarta etapa, de maduración, se desarrolla a una temperatura de unos 20 °C, y en ella se degrada la lignina, que contiene una gran resistencia al ataque microbiano.

Las tres primeras etapas son bastante rápidas, mientras que la cuarta requiere normalmente un periodo de varios meses. Durante esta última etapa pueden aparecer reacciones de condensación y polimerización que dan lugar al humus.

En el proceso se destruyen los organismos patógenos si la masa adquiere una temperatura de 65 °C durante varias horas, o 70 °C durante 30 minutos.

2. pH. Las bacterias proliferan mejor a un pH neutro (de 6 a 7,5), mientras que los hongos lo hacen con pH comprendido entre 5 y 8. Al comienzo del proceso se puede producir un aumento de la acidez, debido a la formación de ácidos libres.
3. Aireación. El proceso de compostaje es aerobio, por lo que necesita un aporte de oxígeno, que puede realizarse por simple volteo de los montones o mediante sistemas mecánicos de ventilación forzada. Cuando la aireación se hace mediante volteos, la periodicidad de los mismos viene en función de la temperatura alcanzada. Serán más frecuentes al principio del proceso, que coincide con una actividad más intensa y también cuando se detectan malos olores o aparecen líquidos que escurren de los montones, síntomas de que el proceso deriva a la anaerobiosis.
4. Humedad. La humedad de la masa está muy relacionada con la aireación. El 50% de humedad es adecuado para las pilas con volteo, mientras

que en sistemas de ventilación forzada el contenido de humedad puede elevarse al 60-65%. Valores más altos impiden una buena aireación, mientras que valores más bajos dificultan el proceso, ya que la humedad es el medio de transporte de los elementos nutritivos y de los productos de desecho. Los materiales más rígidos permiten mayor humedad que los menos rígidos.

C.5.4. - RESTOS DE COSECHA DE OLIVAR:

El olivar en Andalucía, con sus 1.400.000 ha de extensión, ocupa el 16% de la superficie de la región y el 32% del total de la agrícola. Destaca la provincia de Jaén, donde el olivar se ha convertido en un monocultivo, ocupando el 85% de la superficie agrícola. Mayoritariamente el olivar está dedicado a la producción de aceituna para obtención de aceite y en menor proporción para aceituna de mesa.

Los productos obtenidos son:

- Aceituna de mesa con 260.000 t·año⁻¹
- Aceituna de almazara con 4.000.000 t·año⁻¹
- Aceite de oliva con 800.000 t·año⁻¹
- Aceite de orujo con 75.000 t·año⁻¹

Los subproductos generados son los provenientes de la poda de olivar y el orujo generado en la obtención de aceite de oliva.

Los subproductos obtenidos son:

- Poda de olivar:
 - Leña.....382.880 t·año⁻¹
 - Ramón.....905.000 t·año⁻¹
 - Hoja.....452.485 t·año⁻¹
- Hueso de aceituna de almazara:
 - Hueso.....6800 t·año⁻¹
- Orujo de aceituna:
 - Orujillo.....925.000 t·año⁻¹
 - Orujo desgrasado 40% H.....300.000 t·año⁻¹
 - Orujo graso húmedo.....100.000 t·año⁻¹
 - Orujo desgrasado húmedo.....290.000 t·año⁻¹
 - Hueso.....50.000 t·año⁻¹
- Alpechín.
- Alperujo.

(Datos obtenidos de la Comisión Europea en el proyecto: “Potencial y aprovechamiento

energético de la biomasa del olivar en Andalucía”)

El problema de la contaminación del alpechín, generalizado hace unos años, se ha solucionado con la implantación en la mayoría de las almazaras del sistema de extracción por centrifugación de dos fases. Este sistema, genera un único residuo, el alperujo, el cual presenta una serie de características muy distintas al orujo obtenido por el sistema de tres fases, entre ellas mayor humedad, como consecuencia del propio proceso, y mayor contenido en azúcares, lo que dificulta tanto su almacenamiento, transporte y secado previo a la extracción. Entre tanto la proliferación del repaso en las almazaras y la extracción de hueso antes o después de dicho repaso, está provocando que el residuo obtenido adquiera humedades cercanas al 70% y un contenido graso entre el 1-2%. Los costes de deshidratación y el bajo rendimiento de aceite de orujo obtenido, hace que su aprovechamiento no sea rentable para las extractoras. Si además tenemos en cuenta que la producción de alperujo, en las últimas campañas, viene oscilando entre 3.500.000 y 4.000.000 t/año, cada día es mayor el volumen de dicho residuo almacenado en balsas sin un destino concreto, con el consiguiente peligro medioambiental.

La aplicación al suelo del alperujo, bien fresco o bien compostado permitiría resolver los problemas de su acumulación en las almazaras y aprovechar sus cualidades como enmendante orgánico (Benítez, C. y col., 2000).

○ Compostado del alperujo:

Ya se ha hablado en apartados anteriores del proceso del compostado. No voy a entrar de nuevo en los procesos del mismo, pero sí evaluar las razones por las cuales es conveniente compostar el alperujo (Proyecto Equal-Adaptagro. 2004):

- Es desequilibrado en su composición nutritiva, siendo muy rico en K.
- Es muy poco manejable por su alto contenido en humedad
- Su relación C:N es relativamente alta y puede provocar “hambre de nitrógeno” en el olivar
- Contiene polifenoles
- El compost aporta materia orgánica humificada
- El compostaje provoca la muerte de hongos y bacterias fitopatógenas
- El compostaje evita los problemas medioambientales de la acumulación de residuos orgánicos
- El uso del compost del alperujo elimina los costes de almacenamiento o traslado.

El alperujo es el 80% de toda la aceituna molturada y contiene la mayor parte de los nutrientes presentes en la aceituna. Este material tiene a su favor para el compostaje el poseer una gran riqueza en materia orgánica, un pH moderadamente ácido, un contenido salino relativamente bajo y valores de la relación C:N no demasiado altos, con un valor medio de 38 (Cegarra, 1998).

Pasado todo el proceso de compostaje se obtiene un compost caracterizado por presentar pH alcalinos, alto contenido en materia orgánica y nutrientes, entre otros,

como se indica en la Tabla 7.

	Guzmán, 2003	Sánchez, 1999
pH 1/25	9,52	9,09
Humedad (% p/p)	25,5	34
M.O. (% p/p)	66,4	49,1
N total (%p/p)	1,96	1,64
C/N	10,38	15
P total P ₂ O ₅ (% p/p)	0,28	0,502
K total K ₂ O (% p/p)	2,15	2,88
Ca (% p/p)	5,21	4,49
Mg (% p/p)	0,46	3,02
Cu (ppm)	44	
Fe (ppm)	3913	
Mn (ppm)	209	
Zn (ppm)	67	
B (ppm)	51	
Conductividad eléctrica 1:5 (ds·m ⁻¹)	3,53	3,38

Tabla 7.-Valores sobre materia seca salvo pH, conductividad y humedad.

En la actualidad existen en el mercado diferentes tipos de maquinaria para la trituración de leñas y ramones de poda. Por un lado se dispone de las máquinas trituradoras de martillos. Se trata esencialmente de martillos de acero de alta resistencia dispuestos alrededor de un eje horizontal, paralelo al suelo y perpendicular al sentido de avance del tractor. Este eje es accionado por la toma de fuerza del tractor, desplazándose la máquina a lo largo de las calles del olivar, zona en la que los operarios previamente van colocando las ramas en forma ordenada, formando un cordón, del que se autoalimenta la máquina. Los martillos golpean la leña, triturándola y desastillándola, produciendo trozos de diferentes tamaños, de forma aleatoria según el diámetro de las ramas. Estas máquinas, en función del ancho de trabajo y del diámetro de las ramas a triturar, necesitan tractores con unos 80-100 CV de potencia, y se desplazan a una velocidad de 0,2 metros por segundo sobre el terreno, por lo que tienen un reducido rendimiento horario.

Existen igualmente máquinas trituradoras alimentadas manualmente a través de una gran boca de alimentación. Estos equipos constan esencialmente de un gran volante de inercia equipado de cuchillas de corte y de unos rodillos dentados de alimentación en los que se embocan, sin trocear, las ramas de poda. El conjunto volante y cuchillas giran a una cierta velocidad accionados por la toma de fuerza del tractor. El material picado es distribuido sobre la superficie del suelo por un rastrillo incorporado a la propia máquina. La potencia del tractor necesario para el trabajo con esta máquina es de unos 70-80 CV, y se necesitan 2-3 operarios para el trabajo con un adecuado rendimiento horario, rendimiento que igualmente resulta demasiado bajo.



Fotografía 9.- Detalle de la boca de expulsión de restos de poda triturada en una trituradora alimentada manualmente.
Fuente.- www.agroinformación.com

Otra fuente de material vegetal de los olivos es la propia hoja que cae al suelo por motivos fisiológicos del árbol, pues aunque es de hoja perenne las hojas caen al cabo de dos años, y por motivos de enfermedades, como puede ser el repilo. Estas hojas son sacadas del ruedo del olivo mediante procedimientos mecánicos, como pueden ser, cepillos manuales, sopladoras personales (Fotografía 10), sopladoras de tractor, cepillos accionados por la toma de fuerza del tractor, etc.



Fotografía 10.- Detalle de una sopladora personal.

En un estudio sobre el aprovechamiento de los restos de poda triturados como cubierta vegetal, realizado por Ordóñez, R. y col en 2002, en una finca de olivar situada en Córdoba, en el C.I.F.A, obtuvieron las siguientes conclusiones:

- “El ensayo pone de manifiesto cómo la incorporación continuada al suelo de los restos de poda en el olivar ha modificado notablemente las características físico-químicas del mismo”.
- “El incremento de materia orgánica observado en los 10 cm superficiales del suelo de la parcela en la que se aplicó restos de poda determina una mejora de su

estructura con respecto a los de las parcelas con suelo desnudo, lo que sin duda se traducirá en una mejora de la infiltración y una previsible reducción de las pérdidas de suelo por erosión”.

C.6.- SECUESTRO DEL CARBONO.

El contenido de C en la Tierra es una cantidad prácticamente constante que se distribuye entre los diferentes compartimentos geoquímicos: Atmósfera, Hidrosfera, Biosfera, Edafosfera y Litosfera, existiendo flujos entre todos ellos regulados por el ciclo del C con sus correspondientes adaptaciones a las variaciones climáticas. Sin embargo, el hombre ha perturbado el ciclo natural por medio de la agricultura, ganadería, minería, silvicultura, las actividades industriales y los modos de vida urbanos, todo lo cual ha sido sintetizado por Lal (2001) en consecuencias de los “cambios de uso del suelo” y de la “utilización de combustibles fósiles”. El primero con un mayor peso en el total de la historia humana y, el segundo, que ha pasado a ser el más importante a partir de la década de los 70-80 del siglo XX. (Macías et al. 2004).

De los cinco compartimentos el suelo tiene una gran importancia por su capacidad (varias veces superior a la de la atmósfera y a la biosfera), la existencia de formas orgánicas e inorgánicas en fase sólida o soluble con una distribución variable según el tipo de suelo; el elevado tiempo de residencia que puede permanecer el C almacenado en algunas de sus formas (siglos a varios milenios en las formas más recalcitantes) y la velocidad con la que pueden producirse algunos de los flujos que regulan el contenido de C de los suelos en ciertas situaciones; especialmente, en las incorporaciones de materiales orgánicos residuales, la recuperación de los horizontes humíferos en suelos degradados en vías de rehabilitación o impulsando la incorporación de biomasa y la humificación mediante técnicas adecuadas. A esto, hay que añadir que los flujos entre biomasa y suelos con la atmósfera son de enorme importancia para la concentración de gases de efecto invernadero, pues cada año se mueven entre ellos del orden de la décima parte del compartimento atmosférico. (Oades, 1989).

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). Globalmente, el C atmosférico está aumentando a una tasa de 3,5 Gt/año, debido sobre todo a la utilización de combustibles fósiles y a los cambios en el uso del suelo. El carbono terrestre, el del suelo y el biótico, han sido una fuente de CO₂ atmosférico desde el nacimiento de la agricultura hace aproximadamente 10 milenios. Los suelos representan a medio y largo plazo un sumidero para el almacenamiento de C y tienen potencial para compensar las emisiones antropogénicas (Swift, 2001). La causa de esta compensación de las emisiones de CO₂ se fundamenta en su captura por los cultivos (raíz, paja y grano) y su almacenamiento (secuestro) bajo forma orgánica en el suelo; siendo el tiempo que el C permanece en el mismo un factor clave (López Bellido. R. J. et al. 2010). Por esta razón, se habla de tiempo de residencia medio, que es el tiempo que el C reside en alguno de los tres sumideros o reservorios de su ciclo global antes de pasar a otro. Por ejemplo, una molécula de CO₂ permanece un promedio de cinco años en la atmósfera antes de incorporarse a la biosfera terrestre o a los océanos; y un átomo de C perdura una media de diez años en la vegetación y de 35 años en la materia orgánica del suelo antes de regresar a la atmósfera como CO₂ (Schlesinger, 2005). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Se

estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial. La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de CO₂ para la atmósfera (Kern y Johnson, 1993, Gifford, 1994, y Reicosky, 2002). Existen prácticas agronómicas que favorecen la captura de C en el suelo (West y Post, 2002). La labranza de conservación (Lal, 1997), que incluye a la cero labranza (FAO, 2001), es un sistema de manejo de suelos que tiene una alta capacidad potencial para secuestrar C en el suelo (Rasmussen y Parton, 1994, Rosell, 1999). El incremento del CO₂ atmosférico y el gran potencial de los suelos agrícolas para secuestrar el C han estimulado el desarrollo de prácticas de manejo que incrementen su secuestro. La ganancia neta o pérdida de C orgánico del suelo depende de la cantidad de éste que se añada con los residuos de las plantas y la biomasa radicular, frente a las pérdidas por la retirada de residuos, la respiración microbiana y la erosión (López Bellido. R. J. et al. 2010). El carbono orgánico del suelo, COS, afecta a la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad (Carter, 2002, Wander y col., 2002), 2) sustentabilidad (Carter, 2002, Acevedo y Martínez, 2003) y 3) capacidad productiva (Sánchez y col., 2004, Bauer y Black, 1994) por lo que en un manejo sostenible, el COS debe mantenerse o aumentarse. Sin embargo, establecer una clara relación de dependencia entre el COS y la productividad del suelo es complejo (Moreno et al., 1999). Pese a la existencia de abundante literatura que documenta los efectos del COS sobre las propiedades del suelo que favorecen el desarrollo de los cultivos, existe poca información sobre la contribución directa de un aumento de COS en la productividad del suelo. (Martínez H, E y col. 2008)

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Swift, 2001, y Aguilera, 2000), erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 Pg C año⁻¹ a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (0,4 Pg C año⁻¹) (FAO, 2001). El CO₂ emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín *et al.*, 1996). La MOS puede ser protegida de descomposición acelerada mediante: 1) estabilización física por la microagregación, 2) estabilización fisico-química mediante asociación con partículas de arcilla, y 3) estabilización bioquímica mediante la formación de compuestos altamente recalcitrantes (Six y col., 2002). (Martínez H, E y col. 2008).

Las prácticas de manejo que alteran el rendimiento de los cultivos y la productividad de los suelos pueden afectar la superficie del suelo con los consiguientes efectos en el secuestro de C y las emisiones de gases de efecto invernadero (West y Marland, 2003). La labranza es una práctica que fue introducida con el fin de facilitar labores agrícolas, entre las que destacan control de malezas, formación de cama de

semillas que lleven a una buena germinación y establecimiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, incorporación de residuos del cultivo anterior y materia orgánica al suelo (Acevedo y Silva, 2003). La labranza consiste comúnmente en la inversión y “mullimiento” de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través del paso de arado y rastra que, cuando se operan con una humedad adecuada, resultan en una disgregación y “mullimiento” del suelo mejorando sus propiedades mecánicas para su posterior intervención (siembra u otro) (Acevedo y Martínez, 2003).

Junto con facilitar las labores de siembra, controlar malezas y generar el “mullimiento” deseado, la labranza expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y facilita el contacto de los organismos heterótrofos del suelo con la presión parcial de oxígeno de la atmósfera (20 kpa), favoreciendo la mineralización de la MOS. Por el contrario, la falta de oxígeno en ambientes mal drenados o con poca aireación disminuye la descomposición de la MOS (Singer y Munns, 1996, y Haraguchi y col., 2002). La perturbación del suelo por labranza es una de las mayores causas de la disminución de la MOS (Balesdent y col., 1990, Six y col., 2004, y Olson y col., 2005) y del tamaño y estabilidad de los agregados del suelo cuando los ecosistemas nativos son convertidos a la agricultura (Six y col., 2000).

Se realizó un experimento llamado “Malagón”, para el secuestro del carbono en vertisoles de secano mediterráneos, donde se estudió los efectos de sistema de laboreo, la rotación de cultivos y las dosis de nitrógeno fertilizante aplicada al trigo en la campiña del Guadalquivir durante 20 años, y a la profundidad de suelo 0-90 cm. Y se llegaron a las siguientes conclusiones: Los cultivos herbáceos de secano en vertisoles mediterráneos tienen un potencial de secuestro de C neto y contribuyen a compensar las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La clave del secuestro del C en los agrosistemas de secano mediterráneos sobre vertisoles, está en la mayor cantidad de almacenamiento de C en los horizontes de suelo de más de 30 cm de profundidad, preservándolo de una mineralización rápida. Tras 20 años de experimento hay que destacar que el no laboreo tiene un efecto extraordinariamente positivo sobre el secuestro de C en la rotación trigo-habas; mientras que en las rotaciones trigo-girasol, trigo-garbanzos y trigo-barbecho su efecto depende más de las condiciones ambientales. Además, la aplicación de nitrógeno fertilizante no parece tener efecto alguno sobre el secuestro de C (López Bellido, R. J. et al. 2010).

Johnson (1995) modeló el comportamiento del COS bajo escenarios de manejos en el tiempo, basado en una relación de producción / descomposición (P/D) de residuos orgánicos (Figura 8). Cuando el cociente P/D es igual a la unidad, el COS se encuentra en estado de régimen estacionario. Si el suelo se perturba, por ejemplo por inclusión a la agricultura convencional, el sistema actúa en forma inestable y la P/D disminuye, debido a que la descomposición es mayor a la producción de C. El estado inestable perdura hasta alcanzar un nuevo nivel basal de COS, produciéndose un nuevo estado de equilibrio o régimen estacionario. En este estado el suelo no pierde más COS debido a la presencia de formas altamente recalcitrantes resistentes a la mineralización. Si en este nivel el suelo es manejado con prácticas conservacionistas se induce a una nueva reacumulación de COS y el cociente P/D crece por sobre la unidad. El nuevo estado inestable perdura hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio (Loveland and Webb, 2003). El nuevo equilibrio puede ser menor, mayor o igual al estado inicial del suelo antes de ser perturbado. (Martínez H, E et col. 2008).

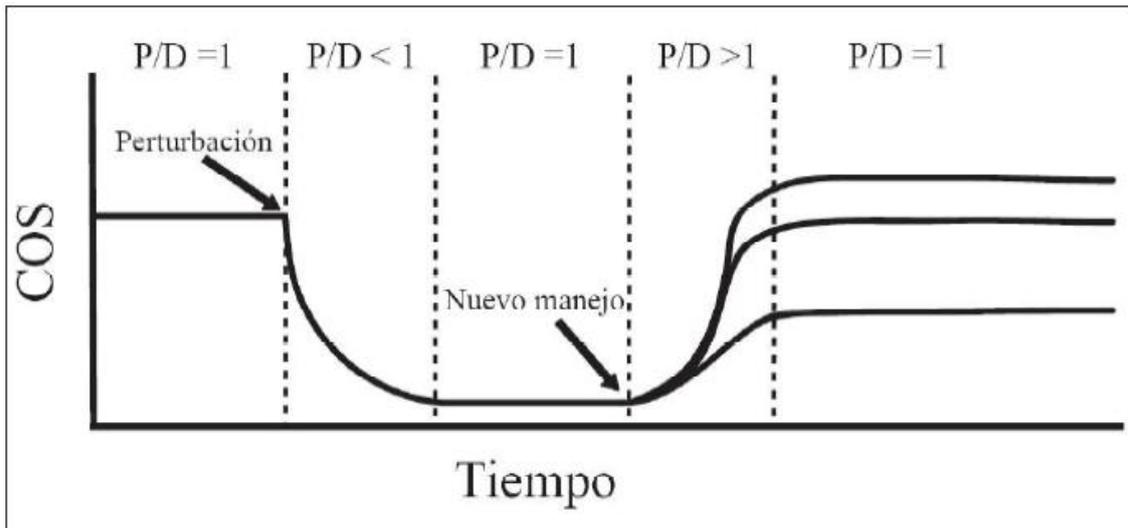


Figura 8: Cambios en el carbono orgánico del suelo inducidos por perturbación y posterior reacumulación por aplicación de manejo de conservación. Modificado de Johnson, 1995.

El punto en el cual la cantidad de C del suelo alcanza un equilibrio relativo bajo un escenario específico de manejo se denomina “capacidad de almacenamiento de COS” (West y Marland, 2003). Sin embargo, la capacidad de almacenamiento de C no es necesariamente el mayor nivel de C que un suelo puede alcanzar. El COS puede alcanzar un nivel máximo de acumulación denominado punto de saturación, en el que la tasa de almacenamiento es igual a cero frente a niveles crecientes de ingreso de residuos orgánicos (Six y col., 2002, West y Six, 2007, Stewart y col., 2007, Stewart y col., 2008). Por esta razón, no es recomendable utilizar el nivel de C orgánico de suelos vírgenes como una medida de referencia del punto de saturación de C en el suelo.

La aplicación de los residuos de cosecha contribuye a la acumulación de COS, los materiales orgánicos de los tejidos de hojas, tallos y raíces aportan polímeros complejos como celulosa y lignina (Wagner y Wolf, 1998). Otra fuente de residuos corresponde a los abonos de origen animal, cuya composición puede generar efectos diferentes con respecto a los residuos vegetales para iguales tasas de incorporación (Krull y col., 2004).

La erosión del suelo, favorecida por la disminución de la MOS y de los residuos orgánicos que cubren el suelo disminuye la capacidad productiva del sistema. La erosión es comúnmente apreciada ya que hay remoción física de suelo perdiéndose parte de la capa superficial. La productividad del suelo baja en función a la magnitud de suelo removida por erosión ya que son las capas más superficiales del suelo las que concentran la mayor concentración de carbono y de nutrientes (Bauer y Black, 1994, y Acevedo y Martínez, 2003). La materia orgánica del suelo es el principal componente del suelo que se ve influenciado por el sistema de labranza (Álvarez y col., 1995).

El contenido de MOS disminuye frecuentemente con la intensidad de labranza incrementando los flujos de CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera (Reicosky y col., 1997). En cero labranza se promueve la acumulación de MOS (Balesdent y col., 1990, y

Martínez y col., 2004), principalmente en los primeros centímetros del perfil de suelo (Havlin y col., 1990, Undurraga, 1990, Salinas-García y col., 1997, Franzluebbbers, 2001, y Reyes y col., 2002).

En un estudio del efecto de diferentes sistemas de labranza (tradicional, cincel y cero labranza) y diferentes cultivos sobre la emisión de CO₂, la labranza tradicional generó los mayores flujos de CO₂ hacia la atmósfera (Reicosky y col., 1997). En el mismo estudio no se encontró relación entre el CO₂ acumulado después de labranza y el contenido de N inorgánico por lo que se concluyó que la respiración microbiana tuvo un efecto menor. La liberación de CO₂ inmediatamente después de efectuada la labranza estuvo más influenciada por cambios inducidos en la porosidad del suelo. Después de tres meses de efectuados los tratamientos de labranza, las pérdidas de CO₂ afectaron mayormente a los suelos manejados con sistemas de labranza convencional (Reicosky, 2002). (Martínez, H. E. y col. 2008).

D. MATERIAL Y MÉTODOS

D.- MATERIAL Y MÉTODOS.

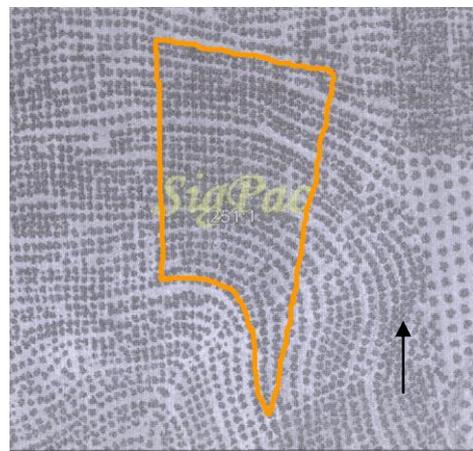
D.1.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PARCELA:

El ensayo se ha realizado en la parcela N° 251, polígono 11, sita en el paraje “Puntal Sabino” del Término Municipal de Íbros (Jaén).

La parcela tiene una extensión de 15.816 m², en pendiente suave hacia el Norte y con cultivo de olivar. El marco de plantación del cultivo es irregular, debido a que se realizó siguiendo las curvas de nivel. Entre olivo y olivo de una misma línea, estos se disponen a razón de unos siete metros en sentido perpendicular a la línea de pendiente.



Fotografía 11.- Perspectiva general de la parcela.



Fotografía 12.- Vista aérea de la parcela.
Fuente.-SigPac, recogido en Herrera, M., 2005.

Para el estudio del ensayo escogimos una parcela delimitada por la copa de los olivos donde se dejó el suelo desnudo. Esto se consigue limpiando el suelo de hoja, mediante una sopladora (Fotografía 13).



Fotografía 13.- Trabajo de limpieza de hoja bajo la copa del olivo.

Este trabajo se realiza para facilitar la recolección de la aceituna, y se realiza a finales de verano.

Tradicionalmente ha sido la costumbre de quemar esta hoja entre filas de olivos (Fotografía 14).



Fotografía 14.- Detalle de la hoja quemada en una parcela cercana.

En nuestro trabajo lo que se pretende es aprovechar esa hoja. Por tanto, en la parcela a estudio esa hoja se ha dejado en la superficie del suelo entre olivos a lo largo de ocho años, junto con los restos de poda triturados a modo de cubierta vegetal inerte (Fotografía 15).



Fotografía 15.- Detalle de la hoja y restos de poda sobre la Superficie.



Fotografía 16.- Detalle del espesor de hoja acumulado a lo largo de los años

Esta zona de cubierta vegetal inerte ha sido la elegida para el estudio comparativo entre los dos sistemas de manejo del suelo.

D.2.-ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LA PARCELA:

El día 14 de febrero, se comenzó el estudio de las características del suelo presente en la finca, el primer paso para poder conocer las propiedades del suelo consiste en el trabajo de campo, el cual se llevó a cabo durante la mañana del mismo día.

Una vez en la finca se aprovechó para tomar datos para distintos ensayos y tomar muestras para analizar posteriormente las distintas características del suelo en el laboratorio.

Entre los datos tomados en campo, se procedió a medir la velocidad de infiltración en los suelos con restos de poda triturados y hoja, y en suelo desnudo. Para esto se utilizó el método del infiltrómetro de doble anillo, que se describe posteriormente.

De estos mismos suelos, se tomaron muestras para calcular la densidad aparente con ayuda de un cilindro de acero indeformable, estas mismas muestras tomadas y guardadas en bolsas, son las que se utilizaron posteriormente para la descripción de las características físico-químicas de los suelos de estas parcelas.

Se realizó una calicata para realizar la descripción del perfil del suelo (Fotografía 17).



Fotografía 17.- Perfil del suelo de la finca.

La calicata tenía una profundidad superior a 1,20 metros, y las paredes verticales, siendo idónea para la observación de los distintos horizontes encontrados, con la ayuda de

una azada, se limpió la cara que iba a ser estudiada y se procedió a la descripción de los horizontes encontrados, utilizando para cada uno de ellos una hoja descriptiva típica, se observó como el suelo tenía una gran cantidad de carbonato cálcico en todos los horizontes, para ello, se utilizó el método de reacción de efervescencia del suelo frente al ácido clorhídrico.

De cada uno de los horizontes observados se tomó una muestra abundante de suelo, que se guardó en una bolsa junto al código dado para cada horizonte. Se describieron un total de 3 horizontes, y se tomaron igual número de muestras, las cuales se llevaron al laboratorio para obtener las características físico-químicas del suelo descrito.

Con las 9 muestras tomadas en campo, 3 procedentes de los horizontes del perfil del suelo, y las otras 6 procedentes de la capa superior del suelo en los sistemas de cultivo, se estudiaron una serie de características físico-químicas. Estas últimas 6 muestras no se tomaron todas el mismo día, sino, se recogieron dos muestras el 14 de febrero (una del suelo desnudo y otra en suelo cubierto), las otras dos el 9 de abril y las dos últimas el 14 de septiembre. Todos esos días correspondientes al año 2005. Para continuar el estudio, se diseñó una segunda campaña de muestreo y se recogieron dos muestras en el año 2009 (abril y septiembre) y otra en septiembre de 2010. Cada muestra se recogía con la suma de 12 submuestras, cogidas aleatoriamente por toda la parcela, sin mezclar nunca una de suelo desnudo con otra con cubierta vegetal inerte, que se almacenaban en una bolsa, formando la muestra.

A continuación se enumeran cada una de las características físicas o químicas evaluadas, y se describen los materiales y métodos necesarios para el estudio de cada una de ellas según Maraños y col., (1998).

D.3.- DENSIDAD APARENTE:

La densidad aparente (D_a) es la razón de la masa de suelo seco al volumen de dicho suelo en su estado natural, considerando el volumen que ocupan las partículas sólidas y los poros.

Para el cálculo de la Densidad aparente, se ha utilizado el método de Borger:

Material:

- Estufa
- Balanza analítica
- Cilindros indeformables
- Desecador

Procedimiento:

Se recogieron las muestras en campo, estando este cercano a la capacidad de campo, tomándose, 12 muestras en los suelos donde se aportó restos de poda triturados y hoja y 12 muestras en los suelos desnudos, que coinciden con el ruedo de cada olivo.

Las muestras se recogieron con un cilindro de acero (Fotografía 18), de diámetro y altura conocidos, procurando enrasar perfectamente el borde superior de éste, con la superficie del suelo, sólo se tomaron de los horizontes superiores.



Fotografía 18.- Cilindro utilizado para la toma de muestras, se golpea con el taco de madera para no deformarlo.

Se pesaron las muestras en húmedo, y se metieron en una estufa a 30 °C hasta peso constante, se volvieron a pesar en seco, y este peso seco es el que utilizamos para la densidad aparente, ya que:

Densidad aparente = Peso seco/ volumen del cilindro.

Cálculo de la densidad aparente en las muestras tomadas del perfil del suelo:

En las muestras tomadas del perfil del suelo, el cálculo de la densidad aparente varía con respecto al utilizado para comparar los sistemas de cultivo, puesto que en la toma de muestras no se utilizaron los cilindros y por tanto no se calculó el volumen de muestra tomado.

Para el cálculo de la densidad aparente de estas muestras se ha utilizado el método de la ecuación de regresión múltiple propuesta por Santos (1979) que se expresa como:

$$D_a \text{ (gr/cm}^3\text{)} = 1,5456 + [(0,0015 \times Ar) - (0,0022 \times A) - (0,1219 \times CO)]$$

Donde Ar, A y CO son los porcentajes de arena, arcilla y carbono orgánico.

D.4.- CÁLCULO DEL CONTENIDO EN HUMEDAD DE UN SUELO:

Determinación del porcentaje de humedad correspondiente a un potencial hídrico determinado (Determinación del agua utilizable por las plantas)

Método de la membrana de Richards

Es un método de presión que consiste en aplicar a la muestra previamente saturada en agua y colocada sobre una membrana porosa, una presión determinada, de tal forma que se extrae de ella toda el agua que esté retenida con un potencial matricial más bajo que la presión aplicada.

Sobre unas arandelas de material plástico, se aportó cierta cantidad de muestra, tomada de los cinco horizontes de la calicata y de los tres tratamientos analizados: laboreo, aplicación de hoja, y cubierta vegetal, la cantidad aplicada por arandela era variable.

Las muestras contenidas en cada arandela, se llevaron a saturación, y se introdujeron en las ollas de presión (foto 19), una tanda en una olla a una presión de 1/3 atmósfera y la otra en una olla a una presión de 15 atmósferas.

La primera presión elimina el agua que excede la capacidad de campo, al pesar esta muestra en húmedo obtenemos la cantidad de agua que retiene el suelo a capacidad de campo, y una vez seca la muestra en la estufa, se obtiene el peso seco de la muestra, por diferencia de pesadas, se saca el agua retenida a capacidad de campo.

En la segunda tanda, la presión ejercida elimina el agua que excede a lo que se considera como punto de marchitez permanente del suelo, al pesar esta muestra en húmedo obtenemos la cantidad de agua que retiene el suelo en el punto de marchitez permanente y una vez seca la muestra en la estufa, se obtiene el peso seco de la muestra, por diferencia de pesadas, se saca el agua retenida en el punto de marchitez permanente.



Fotografía 19.- Equipo de ollas de presión utilizado para la extracción del agua retenida en el suelo a distintas presiones.



Fotografía 20.- Muestra del suelo que se introducen dentro de las ollas.

Conociendo el agua retenida a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente, se saca el agua útil para las plantas.

Material:

- Equipo de presión para la extracción de agua: membranas porosas, arandelas para contener las muestras, ollas de presión regulable, compresor.
- Estufa 105°C
- Balanza analítica
- Pesa-sustancias

D.5.- VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:

El método utilizado para la medición de la velocidad de infiltración en campo es el del “Infiltrómetro de doble anillo”:

La tasa de infiltración se define como la cantidad de agua por unidad de superficie y unidad de tiempo ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \times \text{min} = \text{cm}/\text{min}$) una vez que se alcanza un valor constante.

La infiltración acumulativa es la cantidad de agua que se infiltra en el suelo durante un período específico de tiempo, y se expresa como la unidad de volumen por unidad de superficie (cm^3/cm^2).

Material:

Infiltrómetro de doble anillo.

Consta de:

Dos anillos de distinto diámetro, de grandes dimensiones, fabricados en acero, con tapa especial que permite que queden concéntricos y clavarlos en el suelo con un martillo sin provocarles deformaciones.

Procedimiento:

Las medidas de la infiltración se tomaron sobre tres sistemas de manejo del suelo distintos en olivar, laboreo, cubierta vegetal, e incorporación al suelo de restos de hoja procedentes de almazara.

El trabajo de campo consistió en colocar los anillos en cada una de las parcelas con distintos sistemas de manejo, de forma que ambos anillos queden concéntricos, y clavados en el suelo unos diez centímetros, una vez clavados, se llenó de agua el anillo exterior, para saturar el suelo, y posteriormente el interior (Fotografías 21 y 22).

Las medidas se inician con ayuda de una boya especial diseñada para el caso, anotando la posición inicial (justo cuando termina de llenarse el cilindro interior) junto al tiempo de referencia $t = 0$, y más tarde el descenso del nivel de agua cada 30 segundos. Las medidas se van tomando hasta que el agua infiltrada cada 30 segundos da lecturas constantes.



Fotografía 21.- Montaje del infiltrómetro en la parcela con suelo desnudo.



Fotografía 22.- Detalle de la toma de medidas de la velocidad de infiltración.

D.6.- TEXTURA:

El análisis de la textura de los suelos se realizó en el laboratorio, sólo se determinó la textura de las muestras tomadas en los tres horizontes observados en la calicata realizada en la salida al campo.

Material y reactivos:

- Balanza con precisión de $\pm 0,01$ gr.
- Vasos de precipitado de 1000 ml
- Probetas graduadas de 200 y 1000 ml
- Baño de arena
- Varilla policia
- Embudo grande
- Botellas de plástico de 1000 ml con tapón
- Pipeta de doble enrase de 25 ml
- Agitador mecánico de botellas
- Probetas de 1000 ml con tapón.
- Frascos lavadores
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2) de 110 volúmenes
- Solución de hexametáfosfato sódico al 10 %
- Termómetro
- Pipeta de doble enrase de 20 ml con tubo plástico flexible
- Crisoles tarados de 25 ml
- Cápsulas grandes
- Cronómetro
- Estufa
- Torre de tamices (1000, 500, 250, 100 y 50 μm)

Procedimiento

Lo primero que se hizo fue tamizar las muestras previamente secadas en la estufa, en un tamiz de 2 mm, ya que sólo requerimos la fracción de tierra fina. Las gravas encontradas en las muestras se recogieron y se pesaron para determinar el porcentaje de gravas y elementos gruesos.

Una vez tamizadas, se tomó de cada muestra 30 gramos, los cuales se echaron en un vaso de acero de 1000 ml, y se añadieron unos 200 ml de agua y 50 ml de agua oxigenada (H_2O_2) de 110 volúmenes.

La función del agua oxigenada es destruir la materia orgánica, para individualizar las partículas minerales, una vez añadida se observa como el interior del vaso comienza a efervecer.

La mezcla se llevó a la estufa en baño de arena, a 80 °C, para favorecer la destrucción de la materia orgánica, durante 24 horas, añadiendo agua oxigenada cuando se espesaba mucho la pasta.

Una vez retirados los vasos de la estufa, y evaporada toda el agua, se trasvasó todo el contenido de cada vaso a una botella de 1000 ml de plástico, y se limpiaron los vasos bien para asegurarnos de que todo el suelo estaba en la botella, con ayuda de la varilla de policia, las botellas, se llenan de agua hasta la mitad, asegurándonos de que todas tengan la misma cantidad de agua.

Las 3 botellas más un blanco, tras añadir el agente dispersante se dejaron en un agitador mecánico unas 24 horas (Fotografía 23), tras las cuales se vació el contenido de las botellas en probetas de 1 litro con tapón, de forma que las botellas quedaran bien limpias de todo resto, y estos pasaran íntegramente a las probetas, que se enrasaron a un litro.



Fotografía 23.- Detalle de agitador mecánico.



Fotografía 24.- Detalle de las probetas y de la pipeta de doble enrasc

Se midió la temperatura del agua y por la ley de Stokes se determinó el tiempo al cual había que realizar las extracciones de:

- 1º) Limo grueso + limo fino + arcilla
- 2º) Limo fino + arcilla
- 3º) Arcilla

Para una temperatura de 21°C que fue la que se tomó, se consideró según una tabla basada en la ley de Stokes que la extracción de Limo grueso + limo fino + arcilla había que hacerla a los 44 segundos de haber dejado en reposo la probeta a medir, la cual debía haber estado agitándose previamente, así con cada una de ellas, para limo fino + arcilla, la medición se hizo a los 4 minutos 32 segundos tras agitar, y para las arcillas, la toma de muestra se hizo a las 7 horas, 33 minutos y 11 segundos de la agitación.

Las extracciones de las muestras se hicieron introduciendo una pipeta de doble enrase de 20 ml a 10 cm de profundidad, con la cual se sacaba ese volumen de muestra en cada extracción, el cual se añadía en un crisol previamente tarado que se llevaba a la estufa a 110 °C durante 24 horas, para posteriormente pesar cada uno de los crisoles y obtener así el peso de limo grueso + limo fino + arcilla, limo fino + arcilla y arcilla extraídos en cada alícuota.

Tras esto, el contenido de cada probeta se vaciaba sobre un tamiz de luz 50 µm, de forma que quedaran sobre el todas las partículas consideradas dentro de la fracción arena, se lavaron las probetas bien para que no quedara nada, y el contenido del tamiz se vació en cápsulas que se llevaron a la estufa.

Las arenas procedentes de cada muestra, una vez secas, se pasan por una cascada de tamices de distinta luz de malla y se recoge el contenido de cada tamiz para pesarlo, así, según la luz de cada tamiz clasificamos las arenas en:

- Tamiz luz 1 mm: Arenas muy gruesas = Amg
- Tamiz luz 0,5 mm: Arenas gruesas = Ag
- Tamiz luz 0,25 mm: Arenas medias = Am
- Tamiz luz 0,1 mm: Arenas finas = Af
- Tamiz luz 0,075 mm: Arenas muy finas = Amf
- Tamiz luz < 0,075 mm: Restos

Tras obtener todos estos datos, se realizan los cálculos para obtener el % de cada fracción y poder determinar así que tipo de textura tiene ese suelo.

D.7.- DETERMINACIÓN DE LAS BASES Y DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO:

Se analizaron las muestras tomadas en los tres horizontes descritos en el perfil del suelo, y seis muestras más procedentes de cada uno de los sistemas estudiados.

Material y reactivos:

- Embudos de percolación de 100 ml
- Balanza con $\pm 0,01$ gr de precisión.
- Lana de vidrio
- Varillas de vidrio
- Matraces aforados de 100 ml
- Frascos lavadores
- pHmetro
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Fotómetro de llama
- Soluciones patrón de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}
- Ácido acético
- Solución de hidróxido sódico al 10 %
- Amoniaco
- Acetato amónico 1 N de pH = 7
- Acetato sódico 1 N a pH = 8,2

Procedimiento:

El primer paso consistió en preparar los embudos de percolación (columnas de intercambio) realizando también una prueba en blanco. Los embudos se obturan con lana de vidrio mojada, ligeramente apretada, hasta un total de 9 embudos (fotografía 25).



Fotografía 25.- Detalle de los embudos de percolación.

Sobre cada uno de los embudos excepto el destinado a ser el blanco, se añadieron 5 gramos exactamente pesados de suelo tamizado a 2 mm y secado. Se añadió acetato amónico 1 N a pH = 7,0 hasta los 4/5 de la capacidad del embudo y se cerraron los drenajes de cada embudo dejándose en reposo unas 12 horas para que se produjera el intercambio.

Tras ese tiempo, se abrieron los drenajes y se recogió el lixiviado, enrasándolo en matraces aforados de 100 ml. En este lixiviado es donde luego se miden las bases de cambio: Na^{+} y K^{+} por fotometría de llama (emisión atómica) y Ca^{2+} y Mg^{2+} por absorción atómica.

Después, se volvieron a rellenar los embudos hasta los 4/5 de su capacidad con acetato sódico 1 N a pH 8,2 cerrando los drenajes y dejando en reposo unas 12 horas, tras lo cual se recogió el lixiviado en matraces aforados de 100 ml y se enrasaron. En este lixiviado se mide el Na^+ por fotometría de llama. El resultado corresponde a la capacidad de intercambio catiónico total.

Cuantificación:

En los lixiviados obtenidos se midieron el Na^+ y el K^+ de cambio, así como el Na^+ correspondiente a la capacidad total de cambio, por fotometría de llama (emisión atómica). Este es un método físico-químico óptico por cuanto que medimos la radiación electromagnética de una determinada longitud de onda, emitida por los átomos excitados caloríficamente cuando los electrones regresan a su estado fundamental (Fotografía 26).



Fotografía 26.- Aparato de emisión atómica utilizado para la medida del Sodio y el Potasio.

El Ca^{2+} y el Mg^{2+} de cambio se midieron por absorción atómica, método físico-químico óptico, ya que mide la radiación electromagnética de una longitud de onda determinada, absorbida por los átomos (Fotografía 27).



Fotografía 27.- Aparato de absorción atómica utilizado para la medida del Calcio y el Magnesio.

Tanto emisión como absorción atómica se basan en la Ley de Bourguer-Beer, que se resume como: La absorción o emisión de energía radiante es directamente proporcional a la concentración de la sustancia absorbidora o emisora

Para realizar correctamente la cuantificación de las medidas, se prepararon rectas de calibración para cada uno de los elementos, con objeto de calcular las concentraciones de los átomos a partir de las lecturas obtenidas.

Las muestras procedentes de la extracción, contando con el blanco que nos indicaría posibles errores, se diluyeron a 1:50 para evitar problemas como consecuencia de la alta concentración de los analitos, como paso previo a la determinación de los elementos, en el caso del Na^+ de cambio esta dilución quedaba fuera de los límites de lectura por defecto, así que se tomaron las medidas del concentrado, dando éstas valores dentro del rango de medida del aparato.

D.8.- ANIONES.

Los aniones analizados a partir del extracto saturado fueron *carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos*.

Los CO_3^{2-} y HCO_3^- solubles se determinaron tomando una alícuota del extracto de saturación, y valorando con ácido sulfúrico 0,005N utilizando fenolftaleína y anaranjado de metilo respectivamente como indicadores. No se detectaron carbonatos solubles en ninguna muestra.

Los Cl^- se analizaron después de los CO_3^{2-} y HCO_3^- utilizando como indicador cromato potásico y valorando con nitrato de plata 0,005N.

Los SO_4^{2-} se analizaron mediante determinación turbidimétrica. Para ello primero se realizó una curva de calibrado con concentraciones conocidas del ión. Los extractos se tuvieron que diluir y se analizaron utilizando solución precipitante de Bario, de forma que los iones SO_4^{2-} precipitaran con ión Ba^{2+} formando cristales de tamaño uniforme de BaSO_4 , que se mantuvieron durante un periodo de tiempo suficiente para medir la absorbancia que la

misma produjo. Para su determinación se utilizó un espectrofotómetro ultravioleta Unicam UV/Vis Spectrometer UV2, a una longitud de onda de 425nm.

Los NO_3^- se obtuvieron a través del método por ultravioleta, basado en la absorción de la radiación ultravioleta por el ión nitrato. Para ello se construyó la recta de calibrado a partir de concentraciones conocidas de este anión. Seguidamente se analizaron cada uno de los extractos diluidos, a los que se les añadió un volumen proporcional de ácido clorhídrico 1N según la alícuota de muestra utilizada. Las diluciones se midieron a dos longitudes de onda distintas: a 220 nm para obtener la lectura correspondiente a los nitratos, y a 275 nm para obtener la interferencia debida a la materia orgánica disuelta.

Los NO_3^- se midieron con el mismo espectrofotómetro que el utilizado para los SO_4^{2-} .

Las concentraciones de todos los aniones se han expresado en $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ de suelo.

Todos los aniones, se analizaron siguiendo las directrices de los métodos oficiales de análisis de aguas potables (Ministerio de Agricultura, 1974).

D.9.- DETERMINACIÓN DEL POTASIO ASIMILABLE:

El objetivo de esta técnica consiste en determinar la cantidad de potasio directamente proporcional al que pueden absorber las plantas para su crecimiento, que corresponde al presente en la solución del suelo y en el complejo de cambio.

El potasio asimilable se extrae por percolación utilizando una solución extractora de acetato amónico 1N y de $\text{pH}= 7$, en el mismo proceso en el que se extraen las bases de cambio, puesto que es una de ellas, cuantificándose por fotometría de llama. Este método es adecuado para cualquier tipo de suelo.

D.10.- REACCIÓN DEL SUELO: MEDIDA DEL pH:

Para medir el pH en las distintas muestras, procedentes cinco de la calicata realizada y otras tres de cada uno de los sistemas de manejo de suelo estudiados, se utilizó un pHmetro marca Crisón con sonda de temperatura.

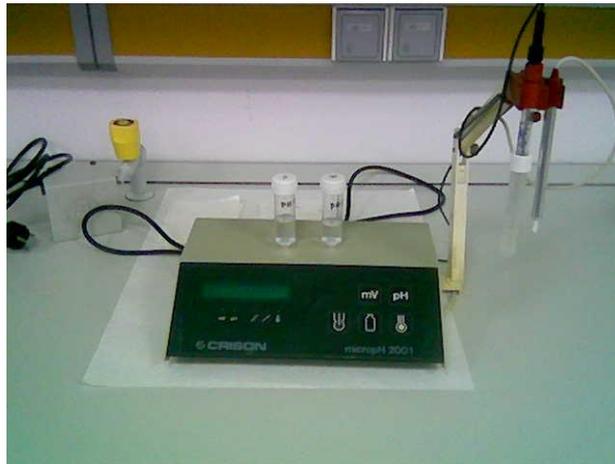
Material y reactivos:

- Balanza con precisión de $\pm 0,01$ gr
- Varillas agitadoras
- pHmetro
- Vasos de precipitado de 50 ml
- Bureta graduada
- Frasco lavador
- Papel secante
- Soluciones tampón de pH 4,00 y 7,02

Procedimiento:

De cada muestra se pesaron 10 gramos exactos de suelo seco y tamizado a 2 mm, y se introdujeron en un vaso de precipitado de 50 ml, y se añadieron 25 ml de agua destilada, agitándose la suspensión durante 5 minutos y dejándose en reposo otros 30 para obtener el equilibrio iónico.

Paso previo a la lectura de las muestras, se procedió a calibrar el instrumento, una vez calibrado se realizaron las lecturas, lo que consiste en introducir el electrodo en el vaso y marcar la tecla de lectura, tomando nota una vez estabilizada la cifra que aparece en pantalla, teniendo la precaución de lavar bien el electrodo entre muestra y muestra.



Fotografía 28.- pH-metro.

D.11.- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL DEL SUELO (MÉTODO DE BOUAR Y CROUZET):

Material:

- Tubos de digestión
- Pipetas aforadas de 10,25 y 1 ml
- Peras de goma para el pipeteo
- Batería de digestión con sistemas de extracción de humos
- Destilador automático
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Embudos de vidrio

Reactivos:

- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución sulfúrica de Se (catalizador)
- Sulfato potásico
- Hidroxido sódico en solución al 30%
- Indicador mixto (Buche)

- H₃BO₃ en solución al 4%
- Ácido sulfúrico 0,005 N.
- Na₂CO₃ anhidro
- Fenolftaleína

Procedimiento:

Se tomaron 2 gramos de suelo seco y tamizado a 2 mm de cada una de las muestras procedentes tanto de la calicata como del suelo desnudo y con cubierta, y se colocaron en un tubo de digestión. Se añadió 1 gr de K₂SO₄, 10 ml de H₂SO₄ concentrado y 1 ml de solución sulfúrica de Se. Se colocaron los tubos en un bloque digestor junto a un blanco que llevaba todos los reactivos menos el suelo.

El bloque digestor se calentó durante 1 hora a 100°C y durante 1 h 30 min a 350°C. Una vez frío el mineralizado, se añadió 25 ml de agua a cada tubo digestor, lo que provocó una fuerte reacción exotérmica al entrar en contacto con el ácido sulfúrico presente en el mineralizado.



Fotografía 29.- Batería de digestión con sistema de extracción de humos.

De este proceso se obtiene en el mineralizado tanto sulfato amónico como nitrógeno (orgánico, nítrico y amoniacal) hubiese en los 2 gr de suelo aportados.

A cada tubo digestor, se añadieron unas gotas de fenolftaleína y se llevó al destilador automático (Foto 30). En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se añaden 25 ml de H₃BO₃ del 4% (con indicador mixto Buchi) y se colocó en el soporte del aparato destilador donde éste vierte el destilado. Se añadió en el matraz NaOH al 30 % hasta el viraje del indicador, y se pone en marcha el destilador, hasta que se recogen unos 200 ml de destilado. Entre dos destilaciones sucesivas se procedía a la limpieza del destilador.



Fotografía 30.- Destilador automático.

Con el destilado recogido en el Erlenmeyer de 250 ml se procedía a su valoración utilizando H_2SO_4 0,005 N y anotando el volumen gastado de éste para posteriormente proceder a los cálculos.

D.12.- DETERMINACIÓN DEL CARBONATO CÁLCICO EQUIVALENTE:

Método de E. Barahona:

Se determinaron los carbonatos para las 5 muestras procedentes de cada uno de los horizontes hallados en la calicata realizada.

Material:

- Calcímetro de dos columnas, una con mercurio y otra con una disolución saturada de CO_2 .
- Biberones con tapones sellados por precinto de silicona
- Tubos de ensayo de pequeño tamaño
- Frasco lavador con HCl 1:1
- Agujas hipodérmicas

Reactivos:

- HCl 1:1
- Carbonato cálcico puro, seco en estufa.

Procedimiento:

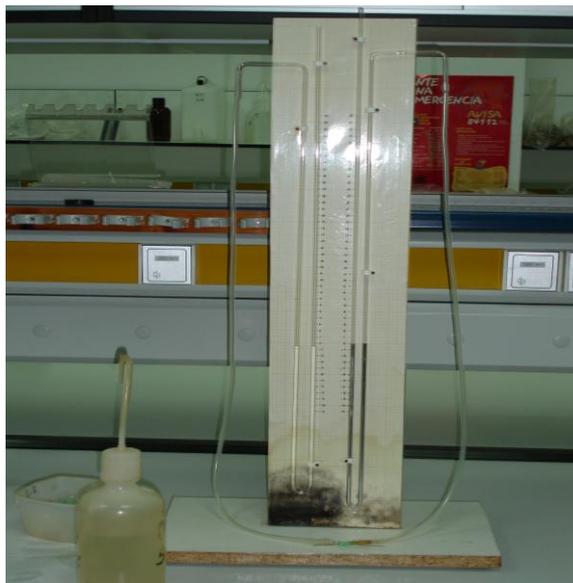
De cada muestra, se tomó una cantidad de suelo finamente molido algo inferior a un gramo y se apuntó exactamente hasta la diezmilésima, esto se introdujo en un biberón para cada muestra.

Se prepararon tres biberones especiales, uno “P 1” al que se añadieron algo más de 0,5 gramos de Carbonato cálcico puro, anotando el peso exacto, otro biberón “P 0,1” al que se añadieron unos 0,05 gramos y se anotó el peso exacto y otro biberón “0” vacío, que es el blanco.

En cada uno de los biberones se introdujo un tubito lleno de HCl, con cuidado de que no se derramase nada aún en el interior. Los biberones se taparon con precaución de apretarlos bien para que quedasen perfectamente sellados y se dejaron unos 15 minutos en reposo para que se equilibrasen las temperaturas.

Pasado el tiempo, se clavó en el tapón de silicona del biberón una aguja hipodérmica y se dejó en reposo 10 min para que se equilibrase la presión interior. Luego se quitaron las agujas y se volcaron los biberones con el fin de vaciar el contenido del tubito sobre el fondo del biberón.

Al reaccionar el HCl con el contenido de cada biberón se produce una efervescencia más acusada en las muestras con más carbonatos, lo que hace aumentar la presión interior del biberón. Aquellas muestras en la que la efervescencia fue poca se midió su presión en el calcímetro de columna de agua, y las de mayor efervescencia, en nuestro caso todos los suelos y el “P1” se midieron en el calcímetro de columna de mercurio.



Fotografía 31.- Calcímetro de dos columnas.

D.13.- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:

La conductividad eléctrica se determinó para las muestras procedentes de los cinco horizontes de la calicata, y para las muestras de los tres sistemas de cultivo.

Material:

-Conductivímetro

- Balanza analítica
- Contenedores de plástico de 500 ml
- Frasco lavador
- Espátula
- Embudos Buchner
- Kitasatos
- Conos de goma
- Papel de filtro recortado para que quepa dentro del embudo Buchner
- Tubos de plástico con tapón de pequeño tamaño.
- Termómetro
- Batería de llaves conectadas a una bomba de vacío

Procedimiento:

Sobre un contenedor de plástico de unos 500 ml se añadieron unos 250 gr de suelo, sin pesar, y se procedió a añadir agua hasta saturarlo de forma que todos los poros estuviesen llenos, a la vez que se movía con una espátula, hasta conseguir un estado de saturación de la pasta que presentaba las siguientes características:

- La superficie de la pasta saturada brilla, pero no se aprecia separación de fases (agua y suelo).

- Al hacer un corte en la pasta con la espátula y dar un suave golpe al contenedor el corte debe cerrarse.

- Al tomar con la espátula parte de la pasta, esta debe estar resbaladiza.

Una vez conseguido el estado de saturación se dejaron los contenedores en reposo unas horas, al cabo de las cuales se revisó si su estado era el adecuado, en caso contrario se añadía algo de agua o de suelo, según necesidades.

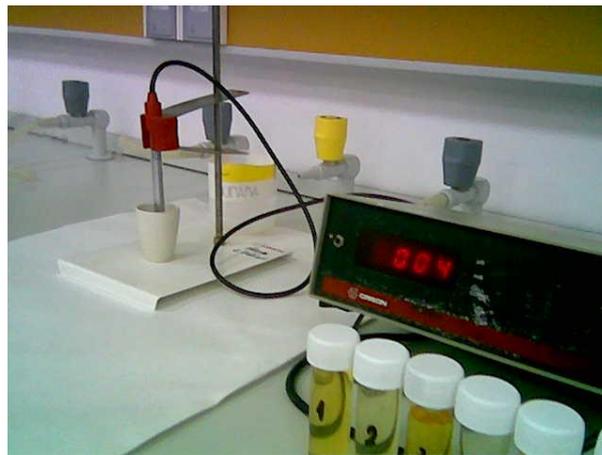
Para obtener el extracto de saturación, se conectaron los Kitasatos a la batería de llaves unida a la bomba de vacío. Sobre cada kitasato, se colocó un embudo Buchner (al que se le colocó un papel de filtro) utilizando un cono de goma para asegurar la estanqueidad de la unión (Fotografía 32).

Cada embudo Buchner se rellenó por completo con la pasta saturada de cada muestra, y se le aplicó el vacío al kitasato, con lo que comenzó a caer agua al interior del kitasato. Esto se mantuvo unas cuatro horas, tiempo en el cual se recogió una cantidad suficiente de extracto.



Fotografía 32.-Detalle de la extracción: Se observan los recipientes con la pasta saturada, los embudos Buchner sobre los Kitasatos conectados a la batería de llaves unida a la bomba de vacío.

Este extracto obtenido en cada muestra, se pasó a tubos de plástico con tapón, en el cual es posible introducir perfectamente el electrodo del conductímetro y se efectuó la medida, teniendo la precaución de limpiar el electrodo entre muestra y muestra. La temperatura ambiente en ese momento estaba rondando los 25 °C, por lo que la temperatura no varió aparentemente la conductividad eléctrica.



Fotografía 33.- Conductímetro.

D.14.- DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO ASIMILABLE:

Esta técnica pretende determinar la cantidad de fósforo o de fosfato que esté directamente relacionada con la que extraen las plantas para su crecimiento: fósforo asimilable o fácilmente soluble, por lo que se trata de un índice de asimilabilidad.

En suelos básicos el fósforo se presenta como fosfatos cálcicos y en suelos alcalinos como fosfato sódico. Las formas inorgánicas o poco solubles no están fácilmente disponibles para las plantas, y el reabastecimiento de fósforo a la solución del suelo tiene lugar a partir de las formas orgánicas a medida que se mineralizan. Las formas inorgánicas de la solución del suelo varían en función del pH de la misma, tratándose casi exclusivamente de ortofosfato y, por lo general, HPO_4^- . El fósforo orgánico soluble no es utilizable por las plantas por hallarse en forma coloidal.

Evaluación del Fósforo extraído por el método Olsen-Watanabe:

Material:

- Vidrio de reloj
- Vasos de precipitado de 500 ml.
- Dos matraces aforados de 1000 ml.
- Pipetas de 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 ml.
- Matraces aforados de 50 y 100 ml.
- Mortero de ágata
- Espectrofotómetro a 882 nm

Reactivos:

- Solución madre de 100 ppm de P. Se pesan, en un vidrio de reloj, del orden de 1 g de KH_2PO_4 ; se seca en la estufa durante una hora a 105 °C y se deja enfriar posteriormente en desecador. Se pesan, en un vaso de precipitado de 500 ml, 0,4392 g de KH_2PO_4 seco; se disuelven en agua y se enrasa en un matraz aforado de 1000 ml. Y se añaden unas gotas de tolueno para frenar la actividad microbiana.
- Solución de 10 ppm de P. Se toma con una pipeta 10 ml de la solución madre y se enrasa en matraz aforado de 100 ml.
- Solución de molibdato amónico. Se disuelven 6 g de $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ en 125 ml de agua. Se disuelven por otro lado 0,1454 de tartrato amónico-potásico en 50 ml de agua. Se mezclan estas dos soluciones con 500 ml de H_2SO_4 5 N y se enrasa con agua en un matraz aforado de 1000 ml.
- Solución de ácido ascórbico. Se disuelven 1,056 g de ácido ascórbico en 200 ml de solución de molibdato amónico.
- Soluciones diluidas de H_2SO_4 .

Procedimiento:

En primer lugar se prepara la escala de patrones de 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 ppm de P del siguiente modo: en seis matraces aforados de 50 ml, se ponen con una pipeta 0; 1; 2; 3; 4 y 5 ml de la solución madre de P. Se añaden 10 ml de solución extractora; y se agregan 8 ml de la solución de ácido ascórbico y se enrasa con agua.

En un matraz aforado de 50 ml, se ponen con una pipeta 1 ml de extracto. Se añaden 8 ml de solución de ácido ascórbico y se enrasa con agua. La lectura fotométrica deberá realizarse a 882 nm, comenzando con los patrones, y pasados 15 minutos y antes de 24 horas de haber añadido el ácido ascórbico (Marañés y col., 1998).

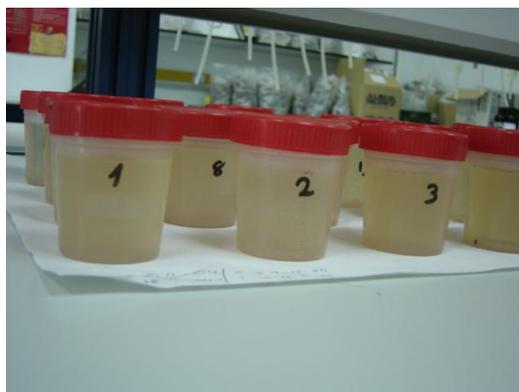


Fotografía 34.- Espectro fotómetro U.V.

D.15.- EXTRACCIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS.

Para estudiar el humus del suelo se precisa de una esmerada preparación de las muestras para el análisis (Kononova, 1982). Se pretende utilizar el método rápido de determinación de la composición del humus de los suelos minerales descrito por Kononova (1982) y Belchikova (1961), basado en el empleo de pirofosfato sódico para extraer del suelo las sustancias húmicas. Así pues, una vez molidas las muestras, se pesan 5 g de suelo finamente molido y se añaden 100 ml de pirofosfato de sodio más sosa 0,1 N. Se tapan con tapones de goma para evitar que interaccione el CO_2 de la atmósfera, se agita y se deja reposar unas 24 horas. Según Kononova (1982), el dejar las muestras más tiempo no implica una mayor extracción de las sustancias húmicas.

Transcurrido dicho período, se vuelven a agitar las muestras y se filtran, en recipientes con embudos provistos de filtros de papel.



Fotografía 35.- Muestras tras el filtrado del suelo con pirofosfato de sodio

D.15.1.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO EN EL EXTRACTO:

Para llevar a cabo esta determinación se toman entre 5 y 15 ml de la solución preparada anteriormente dependiendo del color que tenga. 5 ml para las más oscuras y 10 y 15 para las claras. Se le añade ácido sulfúrico (H_2SO_4) hasta que se forme un precipitado

(fotografías 36 y 37) y se lleva a sequedad mediante calor con la ayuda de una estufa. Secada la muestra se determina el contenido en carbono orgánico según el método de Tyurin, modificación del método de Anné y éste del de Walkey-Black que consiste en un método volumétrico de óxido-reducción por retroceso, en el que se oxida la materia orgánica del suelo con un oxidante en exceso ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$, dicromato potásico), y posteriormente se valora la cantidad de dicromato reducido mediante sal de Mohr $\{\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}\}$ (Marañes y col., 1998).



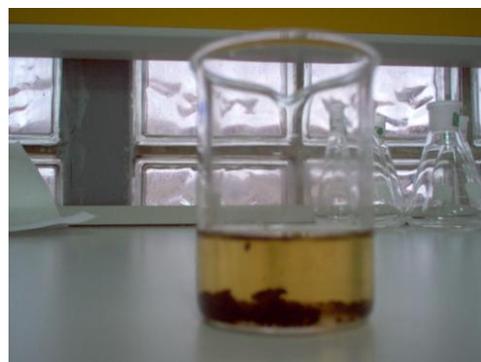
Fotografías 36 y 37.- Precipitado tras adición de H_2SO_4

Mediante esta prueba se obtendrá el valor del extracto húmico total (EHT).

D.15.2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EN EL EXTRACTO (ÁCIDOS HÚMICOS LIBRES + ÁCIDOS HÚMICOS UNIDOS AL CALCIO):

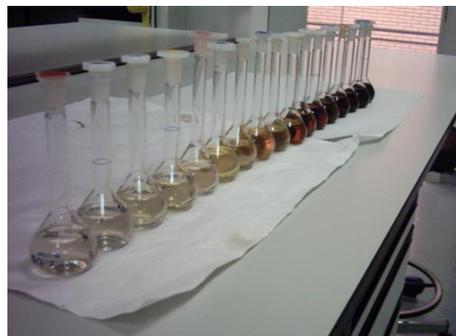
En vasos de precipitado de 100 ml, se añaden 25 ml del extracto obtenido anteriormente, en caso de colores oscuros, o 40 -50 ml para los colores claros. Después de añadir gota a gota ácido sulfúrico concentrado y formado el precipitado, se calienta la muestra durante 30 minutos en un baño maría a $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Una vez reposada se filtra con H_2SO_4 0,05 N hasta obtener un filtrado incoloro que es utilizado para extraer posteriormente los ácidos fúlvicos. El filtro, que contiene el precipitado de los ácidos húmicos se inserta en un matraz aforado de 25 ml y se disolverá con NaOH 0,05 N en caliente, hasta dejar el filtro completamente limpio.



Fotografías 38 y 39.- Baño María y detalle de

Del nuevo extracto obtenido, se toman de 5 a 15 ml, siguiendo el mismo criterio de coloración, y se realizará el mismo procedimiento que para la determinación del EHT anteriormente descrita, incluido el método de Tyurin.



Fotografías 40 y 41.- Extracto obtenido tras lavado con NaOH 0,05 N. Detalle de colores.

Mediante esta prueba se obtendrán los ácidos húmicos (AH).

D.15.3.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO DE LOS ÁCIDOS FÚLVICOS DEL EXTRACTO:

Se procede de la misma forma que para los ácidos húmicos, con la salvedad que utilizamos el extracto obtenido tras el filtrado con H_2SO_4 , y le aplicamos el método de Tyurin, como anteriormente se citó.

Otra forma sería por diferencia, ya que el extracto húmico total corresponde con la sumatoria del contenido de ácidos húmicos y fúlvicos.

Por lo que los ácidos fúlvicos serán igual a $AF = EHT - AH$.

D.15.4.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN EL RESTO DEL SUELO:

La cantidad de carbono en el resto del suelo, se determina por la diferencia entre el contenido del carbono orgánico en el suelo inicial y en el extracto. Esto se realizará después de extraer las sustancias húmicas con la mezcla de pirofosfato sódico (Kononova, 1982).

D.16.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS Y SOLUCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE TYURIN:

El método de Tyurin (1931,1936), descrito en Kononova (1982) representa una de las modificaciones del método volumétrico de determinación del carbono orgánico del suelo mediante la oxidación con dicromato potásico en medio fuertemente ácido. La cantidad de oxígeno utilizado para oxidar el carbono orgánico se determina por la diferencia entre la cantidad de dicromato, tomado para la oxidación, y la que quedó después de esta, usando para este fin la valoración con solución de sal de Mohr.



Fotografía 42.- Valoración de muestras

La tierra preparada para la determinación del contenido en humus, se pesa en una balanza analítica, tomando un volumen de 0,1 g, en un matraz erlenmeyer, aproximadamente y anotando el peso. A continuación se le añaden 10 ml de solución 0,4 N de dicromato potásico, se le añade sulfato de plata y arena de mar y se tapa con un embudo para evitar pérdidas por evaporación. Se lleva a ebullición durante 5 minutos, transcurrido este periodo, se deja enfriar y se valora con la sal de Mohr 0,1 N, utilizando como indicador el ácido fenilantranílico recomendado por Simakov (1957), recogido en Kononova (1982).

D.17.- PREPARACIÓN MUESTRA DE SUELO PARA ESTUDIO POR MICROSCOPIA. LÁMINA DELGADA.

Para este estudio se han recogido muestras de los 10 primeros centímetros del suelo en la “Calle” (C), “Borde de Calle” (BC) y “Bajo Copa de Árbol” (BA). La obtención de la “lámina delgada” (Foto 43) los agregados de suelo se colocan en un recipiente y se incluyen al vacío en una resina de poliéster. Al polimerizar la resina se endurece produciendo un bloque compacto que engloba a la muestra de suelo conservando imperturbable su estructura natural.



Fotografía 43.- Lámina delgada.

Una vez impregnada y endurecida la muestra, se ha realizado el corte del trozo de suelo incluido en el bloque de plástico, con una sierra de borde de diamante para obtener una

superficie plana, con el tamaño de la preparación microscópica que se quiera obtener. Una vez obtenida una superficie plana esta se pulimenta para eliminar las huellas del corte y obtener un plano lo más suave posible.

La superficie pulida se pega sobre un portaobjetos de vidrio con un agente cementante incoloro e isótropo (por ejemplo, la misma resina de poliéster usada para la inclusión). (Figura 8).

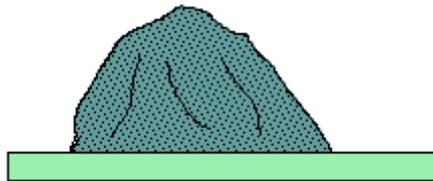


Figura 9.- Trozo de suelo incluído y pegado en el portaobjetos.

Una vez pegado el trozo de suelo al portaobjetos se corta para obtener una rodaja lo más fina posible (Figura 10).



Figura 10.- Trozo de suelo incluído, pegado en el portaobjetos y cortado finamente.

La muestra se desgasta hasta que alcance un espesor de unas 30 micras (Figura 11).



Figura 11.- trozo de suelo incluído, pegado en el portaobjetos, cortado finamente y desgastado a unas 30 micras.

Finalmente, cuando la lámina alcanza su espesor final, se limpia cuidadosamente, la muestra se recubre con un cubreobjetos o añadiendo una laca fijadora para protegerla de posibles abrasiones posteriores a su preparación (Figura 12).

(<http://www.edafologia.net/micgraf/preparac.htm>).

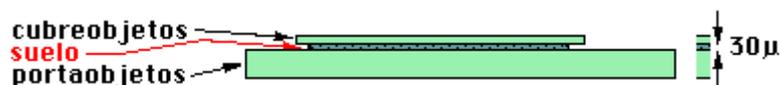


Figura 12.- Lámina de suelo incluído pulida y cubierta con un cubreobjetos.

Una vez preparada las muestras se han estudiado por:

a) Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) en los Servicios Técnicos de la Universidad de Almería.

Las "láminas delgadas" se han montado en portamuestras (stubs) de aluminio con cinta de grafito de doble cara y se han visualizado en un microscopio electrónico de barrido HITACHI modelo S-3500N.

En modo presión variable (VP-SEM) hemos trabajado con electrones retrodispersados (BSE2), a una presión de 40-50 Pa. Para el microanálisis, se ha utilizado una microsonda de rayos X del tipo EDX (espectrómetro de dispersión de energía) marca OXFORD Instruments, modelo INCAx-sight.

En modo alto vacío, las muestras se han recubierto de oro mediante el método del "ión sputtering" con un metalizador (o sputter coater) marca BAL-TEC, modelo SCD 005. El recubrimiento normalmente ha tenido un espesor de entre 15-20 nm.

b) Técnicas micromorfológicas que utiliza las características ópticas de los componentes del suelo y su distribución para hacer interpretaciones, generalmente sobre los procesos de formación de los suelos. Para tal fin hemos utilizado un microscopio petrográfico Carl Zeiss.

E. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

E.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

E.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL PERFIL DEL SUELO:

PERFIL TM Ibros

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Calcisol hipercálcico (WRB, 2006). Calcixerert típico (USDA, 2006)

Fecha de observación: 14/02/05.

Situación: Sabino. 3 Km al E de la estación de Linares-Baeza. Término municipal de Ibros.

Provincia: Jaén.

Coordenadas UTM: 30SVG521150.

Altitud: 316 m.

Posición fisiográfica: Pendiente cóncava.

Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulado.

Pendiente: 12 %. Inclinado.

Orientación: Norte.

Vegetación o uso de la tierra: Olivar en no laboreo.

Material original: Antiguo aluviones de margas y conglomerados.

Drenaje: Bien drenado (clase 4).

Condiciones de humedad: Húmedo desde superficie.

Pedregosidad: Clase 1 Moderadamente pedregoso.

Afloramientos: Clase 0. Ninguna o muy pocas rocas.

Erosión: Hídrica laminar de moderada a severa.

Presencia de sales o álcalis: Clase 0. Libre de exceso.

Influencia humana: Cultivo de olivar. Entre las calles y siguiendo las curvas de nivel se ha aportado restos de hojas de olivo.

Hor.	Profundidad	Descripción
Ap	0-19	Pardo (10YR 5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR 6/3) en seco; textura arcillosa; estructura de moderada a fuerte, en bloques angulares medianos; muy adherente, muy plástico, firme y extremadamente duro; se observan pocas superficies de presión, delgados, discontinuos, de arcilla, entre puentes de agregados y en puentes entre granos minerales; frecuentes poros tubulares muy finos, finos, medianos y gruesos, continuos, inped y exped, caóticos y simples; pocos poros vesiculares muy finos, discontinuos, exped; muy pocas fragmentos rocosos tamaño grava, redondeados, de naturaleza caliza, no alteradas; muy pocos nódulos pequeños de carbonato cálcico, blandos, blancos y esféricos; fuertemente calcáreo; comunes raíces muy finas y finas, alguna gruesa; límite neto y plano.
Bw	19-39	Pardo (10YR 5/3) en húmedo y pardo pálido (10YR 6/3) en seco; textura arcillosa; estructura de moderada a fuerte, en bloques angulares medianos; muy adherente, muy plástico, firme y extremadamente duro; se observan superficies de presión, delgados, discontinuos, de arcilla, entre puentes de agregados y en puentes entre granos minerales; frecuentes poros tubulares muy finos, finos, medianos y gruesos,

continuos, inped y exped, caóticos y simples; pocos poros vesiculares muy finos, discontinuos, exped; muy pocas fragmentos rocosos tamaño grava, redondeados, de naturaleza caliza, no alteradas; muy pocos nódulos pequeños de carbonato cálcico, blandos, blancos y esféricos; fuertemente calcáreo; comunes raíces muy finas y finas, alguna gruesa; límite gradual y plano.

Ab	39-80	Pardo (10YR 4/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; textura arcillosa; estructura de moderada a fuerte, en bloques angulares medianos; muy adherente, muy plástico, firme y extremadamente duro; se observan superficies de presión, delgados, discontinuos, de arcilla, entre puentes de agregados y en puentes entre granos minerales; frecuentes poros tubulares muy finos, finos, medianos y gruesos, continuos, inped y exped, caóticos y simples; pocos poros vesiculares muy finos, discontinuos, exped; muy pocas fragmentos rocosos tamaño grava, redondeados, de naturaleza caliza, no alteradas; muy pocos nódulos pequeños de carbonato cálcico, blandos, blancos y esféricos; fuertemente calcáreo; abundantes raíces finas, medianas y gruesas.
----	-------	--

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH	CEes (dS.m ⁻¹)
Ap	0-19	18,27	11,6	37,6	50,8	56,6	8,35	1,940
Bw	19-39	17,46	15,0	33,1	51,9	52,1	8,38	1,816
Ab	39-80	12,46	15,0	36,4	48,6	44,7	8,40	1,774

FRACCIÓN TIERRA FINA								
HOR.	ARENAS (%)					LIMOS (%)		UNIFIED (%)
	MUY GRUESA	GRUESA	MEDIANA	FINA	MUY FINA	GRUESO	FINO	
Ap	0,6	0,9	1,5	3,6	4,9	7,6	30,0	84,4
Bw	1,1	0,9	1,4	4,7	6,8	4,8	28,3	85,0
Ab	0,8	1,1	1,9	5,1	6,1	12,6	23,7	85,0

HOR.	BASES Y CAPACIDAD DE CAMBIO (cmol+.kg ⁻¹)					V(%)	C.O.(%)	N(%)
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.			
Ap	SAT	4,69	0,19	1,17	18,70	100	1,21	0,13
Bw	SAT	0,66	0,08	0,13	19,10	100	0,66	0,12
Ab	SAT	0,49	0,18	0,27	22,60	94,93	0,81	0,17

HOR.	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)	Dap (g.cm ⁻³)	C/N	HUM. SAT. (%)	A.U. (mm)	HUMEDAD (%)	
							33kPa	1500 kPa
Ap	3,47	55,11	1,30	9,31	53,40	10,54	29,18	18,64
Bw	2,09	6,12	1,37	5,50	50,60	10,30	27,27	16,97
Ab	2,57	12,72	1,36	4,76	53,50	10,39	29,69	19,30

E.1.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO:

Los tres horizontes del suelo se consideran de textura arcillosa, ya que aumenta el porcentaje de arcillas con respecto al porcentaje de limos. La fracción arena, permanece constante en todos los horizontes, disminuyendo ligeramente en el superficial.

El suelo se considera de textura fina, el comportamiento más probable para un suelo de textura fina respecto a sus propiedades es:

- Permeabilidad: Baja
- Superficie específica: Alta
- Compacidad: Alta
- Temperatura Vernal: Fría
- Capacidad de cambio: Alta
- Dificultad de laboreo: Difícil
- Capacidad de retención de agua: Alta
- Energía de retención de agua: Alta.

El olivo prefiere los suelos de texturas de moderadamente finas a medias (francas, franco limosas, franco arcillosas y franco arcillo limosas). Estas texturas permiten una adecuada aireación para el crecimiento radical, son suficientemente permeables y tienen una alta capacidad de retención de agua (Navarro y Parra, 1999). Sin embargo los suelos con texturas tan arcillosas como este, presentan una aireación inadecuada para las raíces, son poco permeables y la capacidad de retención de agua es muy alta, lo cual provoca importantes problemas en el desarrollo del arbolado.

La profundidad útil, del suelo en la finca estudiada, es superior a 80 cm, profundidad más que suficiente para que el olivo desarrolle su sistema radicular sin limitaciones. En el

perfil del suelo, no se han encontrado en esta profundidad horizontes que puedan limitar la penetración de las raíces, como son la aparición de una capa cementada por carbonato cálcico (horizonte petrocálcico) o la presencia de horizontes de arcilla compactada.

El color marrón pálido y pardo, que presenta el suelo en todos los horizontes, es indicador de suelos bien drenados, los suelos imperfectamente drenados muestran capas con tonos entremezclados y manchas de color gris, consecuencia de la actividad anaeróbica.

La siguiente tabla representa los valores de la Densidad aparente (D_a), la densidad real (D_r , que se considera = $2,7 \text{ gr/cm}^3$, en suelos calcáreos), y la porosidad total del suelo:

Horizonte	D_a (gr/cm^3)	D_r (gr/cm^3)	Po %
Ap	1,30	2,7	51,85
Bw	1,37	2,7	49,25
Ab	1,36	2,7	49,63

Los valores de la densidad aparente y la densidad real, nos permiten calcular el valor de la porosidad total del horizonte, dato importante para conocer el comportamiento de las fases líquida y gaseosa en el suelo.

El valor de la porosidad total del horizonte Ap es mayor del 50%, nivel a partir del cual, se considera que la porosidad es "satisfactoria para la capa arable", que es precisamente la ocupada por este horizonte. Para los otros dos horizontes se considera que la porosidad es "escasa para capa arable".

E.1.2.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO:

El pH del suelo está entre 8,35 y 8,40, el olivo se desarrolla bien en suelos que van de moderadamente ácidos ($\text{pH} > 5,5$) a moderadamente básicos ($\text{pH} < 8,5$). El pH del suelo de la finca, se considera básico, está dentro de los límites en los que vegeta bien el olivo, pero presenta valores en los que la planta puede tener problemas de asimilación de nutrientes.

En suelos con un pH básico (7,9 - 8,4) disminuye la disponibilidad de fósforo y de boro para las plantas, y hay una deficiencia creciente de cobalto, cobre, hierro, manganeso y zinc, pueden aparecer síntomas de clorosis férrica (Marañés y col., 1998).

El olivo es un árbol que resiste mucho la salinidad en el suelo, si bien esta comienza a reducir la productividad de los árboles cuando se acerca a valores de CEEs de 4 dS/m. Los valores de conductividad del suelo de la finca, varían entre 1,57 y 1,73 dS/m., considerándose estos valores como salinidad "nula" ($< 2 \text{ dS/m}$). Estos valores permiten un desarrollo óptimo del olivo.

E.1.2.1.- Bases de cambio y capacidad de intercambio catiónico.

Los niveles de C.I.C. del suelo, teniendo en cuenta la textura fina del mismo, están dentro o muy próximos de lo que se consideran niveles "normales" de capacidad de cambio para suelos con este tipo de textura, en un intervalo entre 20 cmol_c/kg y 30 cmol_c/kg . La C.I.C. se puede tomar como un índice de fertilidad de los suelos y estos valores indican una fertilidad elevada.

Los niveles de las bases de cambio, que aparecen en los distintos horizontes del perfil son elevados. El calcio está saturado, es decir que la cantidad de calcio expresado en cmol_c/kg supera la C.I.C. Los niveles de calcio se pueden considerar como altos.

Los niveles de magnesio descienden desde los valores medios del horizonte superficial, hasta niveles muy bajos en el resto de los horizontes.

Los niveles de sodio son similares en todos los horizontes, y se pueden considerar como "muy bajos".

Si nos fijamos en el Porcentaje de Sodio Intercambiable (Tabla 8):

Fecha muestra	14/02/05
Ap	1,02
Bw	0,42
Ab	0,80

Tabla 8.- Cálculos del PSI.

Se puede apreciar como los valores disminuyen en profundidad, habiendo una subida en Ab respecto a Bw, posiblemente al carácter policíclico de este suelo. De todos modos todos los valores aproximadamente son del 1% o menores, por lo que el suelo no presenta problemas de sodio.

Los niveles de potasio, van descendiendo hacia los horizontes inferiores, para clasificarlos, hay que tener en cuenta que la finca está en regadío intensivo y tiene una textura arcillosa. El horizontes superior Ap, presenta un nivel de potasio considerado como "alto" ($0,90-1,21 \text{ cmol}_c/\text{kg}$). El horizonte Bw, presenta una cantidad de K^+ que se puede considerar como "muy bajo" ($<0,26 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) para este tipo de suelos. El horizonte Ab, presenta un nivel de K^+ algo superior, clasificándose como "nivel bajo" (entre $0,26 - 0,58 \text{ cmol}_c/\text{kg}$).

El porcentaje de nitrógeno que presentan los suelos es homogéneo. El % de N, está en torno a 0,15, nivel que está considerado como "normal" (0,10 -0,20).

Los niveles de fósforo asimilable extraído y calculado por el método de Olsen-Watanabe, permanecen prácticamente constantes. Todos ellos se pueden considerar como "muy bajos". Se puede apreciar un ligero descenso unido a la profundidad. Esto es debido a la dinámica del fósforo en el suelo. Este es un elemento poco móvil que se acumula en superficie por el uso de abonos y por la extracción desde zonas más profundas por parte de las raíces, (e.g, MacKay y col. 1987).

La determinación del potasio asimilable, se hace a partir de los valores del potasio extraído en las bases de cambio, se expresa en $\text{mg de K}^+/\text{100 gr de suelo}$ o $\text{mg de K}_2\text{O}/\text{100 gr de suelo}$.

Hor Ap1:.... 55,11 mg de K₂O/100 gr

Hor. Ap2:.... 6,12 mg de K₂O/100 gr

Hor. Bwk:.. 12,72 mg de K₂O/100 gr

Si consideramos la finca como un regadío intensivo, y tenemos en cuenta que tiene una textura arcillosa, se clasifican los niveles de potasio cambiante que presenta cada horizonte como:

Los niveles son "altos" en el horizonte Ap, y "muy bajos" en los otros dos restantes. Esta diferencia en el horizonte Ap es causada por la fertirrigación, debido a que el muestreo se ha podido realizar en la zona de acción de un gotero.

Los niveles de carbonato cálcico, rondan entre 44,7 y 56,6% en todos los horizontes, se puede clasificar el contenido en carbonatos totales del suelo como "muy alto" (> 40%) para los tres horizontes.

E.1.2.2.- Solución del suelo.

E.1.2.2.1.- ANIONES.

E.1.2.2.1.1.- Carbonatos.

Los carbonatos son prácticamente nulos en todos los tres horizontes del suelo.

E.1.2.2.1.2.- Bicarbonatos.

No hay grandes diferencias entre los horizontes en el contenido de bicarbonatos, como se puede apreciar en la tabla 9.

Fecha muestra	14/02/05
Ap	2,8
Bw	1,8
Ab	2

Tabla 9.- Resultados bicarbonatos (mmol_c·l⁻¹).

Se puede apreciar como, en el horizonte Ap, el contenido de bicarbonatos es mayor que en los otros dos horizontes más profundos. Causado por ser el horizonte más superficial y por presentar mayor contenido de materia orgánica, que al mineralizarse, desprende CO₂ que, en condiciones húmedas reacciona formando HCO₃⁻.

E.1.2.2.1.3.- Nitratos.

Como se puede observar en la tabla 10, existen diferencias significativas entre cada horizonte.

Fecha muestra	14/02/05
Ap	13,2
Bw	11,0
Ab	4,5

Tabla 10.- Resultados nitratos ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).

Se aprecia como el contenido en nitratos va en descenso a lo largo del perfil porque su origen depende del contenido en materia orgánica, del abonado y/o del agua de riego.

E.1.2.2.1.4.- Sulfatos.

El análisis reflejado en la tabla 11 muestra que existen diferencias significativas.

Fecha muestra	14/02/05
Ap	11,40
Bw	8,46
Ab	7,36

Tabla 11.- Resultados sulfatos ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$).

Estas diferencias son principalmente causadas por el abonado integrado en el agua de riego, es decir, por la fertirrigación. De ahí esa tendencia descendente de los valores de sulfatos conforme se profundiza en el perfil.

E.1.2.2.1.5.- Cloruros.

Como se puede observar en la tabla 12, existen diferencias significativas aumentando en profundidad.

Fecha muestra	14/02/05
Ap	6,55
Bw	8,95
Ab	12,95

Tabla 12.- Resultados de cloruros ($\text{mmol}_c \cdot \text{l}^{-1}$)

E.1.2.2.2.-CATIONES.

E.1.2.2.2.1.- Potasio.

Los resultados de potasio en la solución del suelo son (tabla 13):

Fecha muestra	14/02/05
Ap	0,82
Bw	0,09
Ab	0,06

Tabla 13.- Resultados de K^+ en $mmol_c \cdot l^{-1}$ en la solución del suelo

La disminución en la concentración de potasio a lo largo del perfil se explica por la absorción de dicho catión por parte del cultivo en los horizontes inferiores y también puede deberse a la fertirrigación.

E.1.2.2.2.2.- Sodio.

Los resultados de potasio en la solución del suelo son (tabla 14):

Fecha muestra	14/02/05
Ap	2,12
Bw	2,65
Ab	2,21

Tabla 14.- Resultados de Na^+ en $mmol_c \cdot l^{-1}$ en la solución del suelo

Como se puede observar, los valores son bastante constantes a lo largo del perfil.

Al calcular el RAS se puede observar (Tabla 15):

fecha muestra	14/02/05
Ap1	0,53
Ap2	0,68
Bwk	0,60

Tabla 15.- Cálculos del RAS.

Se observa como el RAS crece en profundidad, debido al pequeño lavado del suelo por el riego. Según Urbano, T. 2001, es un suelo no sódico al ser el RAS menor de 7.

E.1.2.2.2.3.- Calcio.

Para la concentración de calcio en la solución del suelo no existen diferencias significativas entre los diferentes perfiles del suelo, condicionado por las características químicas del suelo.

E.1.2.2.4.- Magnesio.

Similar a lo ocurrido con el calcio.

E.1.2.3.- Determinación del contenido total de carbono orgánico en suelos y soluciones según el método de Tyurin:

Los valores de Carbono Orgánico que muestra el suelo son bajos para todos los horizontes. El horizonte más superficial, el Ap, muestra un contenido en Carbono orgánico el doble al que muestra el horizonte inmediatamente inferior, Bw, esto es debido sin duda a los restos vegetales que han quedado sobre la superficie del suelo, o en los primeros centímetros del suelo, que dan lugar a este primer horizonte. Sin embargo, el horizonte Ab presenta un valor superior a Bw, debido al origen policíclico del suelo.

Los datos mostrados en la tabla, corresponden al % de Carbono Orgánico, se supone que la materia orgánica tiene un 58% de carbono orgánico. Los contenidos en materia orgánica del suelo, se muestran a continuación:

Ap:....2,09 %

Bw:....1,14 %

Ab:...1,39 %

Si consideramos que la finca está en regadío intensivo, la clasificación de los niveles de materia orgánica en los horizontes es la que sigue:

Los niveles de materia orgánica en el horizonte Ap, se pueden considerar "normal" (1,5 - 2,5 % M.O.), los niveles de los horizontes Bw y Ab, presentan valores "Bajos" (entre 0,5 - 1,5).

Los horizontes sobre los que el olivo desarrolla su sistema radicular, el Bw y el Ab, presentan unos niveles bajos de materia orgánica. Se comprueba que la cantidad de materia orgánica disminuye en los horizontes inferiores, pero se comprueba de nuevo el origen policíclico del suelo, pues los niveles de materia orgánica del Ab son algo superiores a los de Bw.

E.1.2.4. Relación C/N:

Como se puede observar en la tabla 16, existen diferencias significativas entre los horizontes.

fecha muestra	14/02/05
Ap	9,39
Bw	5,34
Ab	4,66

Tabla 16.- Resultados de la relación C/N

Conforme se profundiza en el suelo la relación C/N disminuye debido a que la materia orgánica de los horizontes inferiores está más mineralizada que la de la superficie, que es material fresco en proceso de descomposición

A continuación se comentará los resultados obtenidos en el estudio fraccionado de la materia orgánica del suelo.

E.1.2.5.- Determinación del contenido total de carbono orgánico en el extracto:

Tras la determinación del extracto húmico total (EHT), se obtienen los siguientes resultados (Tabla 17):

Fecha muestra	14/02/05
Ap	0,35050
Bw	0,27921
Ab	0,38317

Tabla 17.- Resultados EHT (%).

Debido al estado del material vegetal, muy fresco, la materia orgánica se encuentra poco transformada y los valores de EHT no encuentran grandes diferencias entre los diferentes horizontes.

E.1.2.6.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos húmicos en el extracto (ácidos húmicos libres + ácidos húmicos unidos al calcio):

En la determinación de los ácidos húmicos (AH), los resultados fueron los siguientes (tabla 18):

Fecha muestra	14/02/05
Ap	0,11323
Bw	0,07677
Ab	0,10747

Tabla 18.- Resultados AH (%).

Se observa como por lo general, el contenido en ácidos húmicos en el suelo se mantiene dentro de unos valores que podríamos considerar constantes, aunque Bw tenga un valor inferior debido al carácter policíclico del tercer horizonte. Según Pujola (1989), valores superiores a 0,15% se consideran valores normales, por tanto, se consideran bajos.

Se puede apreciar, como en Ap los AH son un poco más elevados, debido que es donde se realiza el aporte de los restos de cosecha, y no llega a valores normales como consecuencia de que la materia orgánica es fresca y no ha tenido el suficiente tiempo para descomponerse y mineralizarse.

E.1.2.7.- Determinación del contenido de carbono de los ácidos fúlvicos del extracto:

El estudio de los ácidos fúlvicos (AF) dio lugar a los siguientes resultados (Tabla 19):

muestra \ fecha	14/02/05
Ap	0,27807
Bw	0,27956
Ab	0,26320

Tabla 19.- Resultados AF (%).

Los valores entre 0,10 – 0,30% se consideran normales, por debajo de éstos indican suelos empobrecidos, y por encima indican una mala evolución (Pujola, 1989).

Se puede observar que los tres horizontes se encuentran en el límite superior de normalidad, siendo en los horizontes superiores los resultados un poco más elevados debido a los restos de cosecha en descomposición que hay en la superficie.

E.1.2.8.- Determinación de huminas:

Al conjunto de las formas de humus más evolucionado en el suelo se le denomina huminas (Hum).

Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla (Tabla 20):

muestra \ fecha	14/02/05
Ap	0,82264
Bw	0,30400
Ab	0,43793

Tabla 20.- Resultado Hum (%).

Los valores comprendidos entre 0,5 y 3,0 % se consideran normales, según Pujola, (1989). Tan solo Ap se encuentra dentro de estos valores y se aprecia como los otros dos valores son inferiores, interpretados como señal de un mal manejo del suelo o del reciente aporte de la materia orgánica a éste.

E.1.2.9.- Determinación de materia orgánica soluble en ácidos minerales:

Los resultados obtenidos para el carbono orgánico soluble (COsol), se recogen en la siguiente tabla (Tabla 21):

muestra \ fecha	14/02/05
Ap	0,04138
Bw	0,05912
Ab	0,04582

Tabla 21.- Resultado COsol (%).

Como consecuencia de la intensa polimerización que han sufrido los compuestos orgánicos de este suelo, la materia orgánica soluble es poco significativa, como se pone de manifiesto en los resultados analíticos.

E.1.2.10.- Índice de polimerización (% AH / %AF):

Tras el cálculo del índice de polimerización se obtuvieron los siguientes resultados, recogidos por fechas (Tabla 22):

muestra \ fecha	14/02/05
Ap	0,4430
Bw	0,2746
Ab	0,4210

Tabla 22- Resultados índice de polimerización.

Según Pujola (1989), valores superiores a 1 se pueden considerar normales, mientras que valores inferiores pueden indicar aportes recientes de materia orgánica o una mala evolución debido a razones edáficas y de manejo.

Todos los horizontes se encuentran bastante por debajo de la normalidad, debido a la lenta descomposición de la materia fresca.

E.1.2.11.- Grado de humificación (AH+AF+Hum/CO total):

En este caso, según Pujola (1989), se consideran valores normales los comprendidos entre el 65 y el 92 %. Valores inferiores pueden indicar que los residuos orgánicos aportados no han tenido tiempo de evolucionar o una mala evolución de estos por razones edáficas y de manejo. A su vez, valores muy altos indican suelos empobrecidos, sin aportes orgánicos.

Según esto se presentan los siguientes resultados (Tabla 23):

muestra \ fecha	14/02/05
Ap	32,2668
Bw	53,9737
Ab	45,9810

Tabla 23.- Resultados grado de humificación (%)

Como se puede observar, los valores tienden a ser inferiores a los establecidos como normales por Pujola (1989), siendo señal de no haber transcurrido un periodo de tiempo adecuado para la evolución de la materia orgánica aportada al suelo.

E.2.- RESULTADO DEL ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE DOS SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO.

MESTRAS	FECHA	CE dS m ⁻¹	pH	Solución del suelo mmol/l											RAS
				Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σ Cationes	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Σ Aniones	
Hoja	14/02/2005	1,21	8,38	0,97	0,82	7,67	1,46	10,92	1,55	1,14	1,06	0,50	10,90	15,15	0,45
No hoja		1,00	8,35	0,88	1,46	9,36	2,51	14,21	1,55	1,08	0,44	1,40	5,70	10,17	0,36
Hoja	09/04/2005	1,05	8,40	1,50	0,64	8,28	2,51	12,93	2,96	1,56	1,47	0,60	6,50	13,09	0,65
No hoja		1,26	8,36	0,71	0,87	8,36	2,28	12,22	5,05	1,18	13,49	1,20	4,20	25,12	0,31
Hoja	14/09/2005	1,09	8,40	0,62	1,46	10,87	2,37	15,31	4,65	12,30	0,86	1,00	5,20	24,01	0,24
No hoja		1,62	8,37	1,24	1,46	8,07	2,06	12,83	6,35	11,64	14,55	1,00	3,60	37,14	0,55
Hoja	08/04/2009	3,37	8,29	1,04	2,19	13,16	4,57	20,97	5,07	0,61	0,05	0,90	2,30	8,93	0,35
No hoja		2,55	8,30	2,02	2,10	8,77	6,88	19,77	3,84	0,35	0,04	0,25	1,65	6,13	0,72
Hoja	22/09/2009	3,52	8,28	1,46	1,93	14,00	4,11	21,50	5,07	0,56	0,08	1,50	3,05	10,25	0,49
No hoja		2,05	8,39	1,92	1,89	5,71	4,13	13,65	3,59	0,26	0,13	0,80	1,55	6,34	0,87
Hoja	24/04/2010	3,00	8,13	1,77	1,32	22,96	3,21	29,25	11,57	0,29	0,21	3,10	7,95	23,11	0,49
No hoja		0,95	8,56	1,28	0,88	1,96	1,34	5,46	3,22	0,06	0,06	1,05	3,43	7,80	1,00

Tabla 24.- Analítica de la solución del suelo.

MESTRAS	FECHA	Bases de cambio cmol+/kg						PSI
		C.I.C.	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	V %	
Hoja	14/02/2005	19,10	1,63	SAT	1,65	0,08	100	0,44
No hoja		15,91	1,17	SAT	1,89	0,06	100	0,36
Hoja	09/04/2005	29,00	1,17	SAT	1,89	0,03	100	0,10
No hoja		18,04	1,40	SAT	3,70	0,13	100	0,75
Hoja	14/09/2005	19,80	1,17	SAT	2,22	0,04	100	0,18
No hoja		18,74	1,87	SAT	3,05	0,23	100	1,25
Hoja	08/04/2009	17,44	1,28	SAT	1,85	0,12	100	0,67
No hoja		15,53	1,28	SAT	3,65	0,13	100	0,86
Hoja	22/09/2009	19,57	1,46	SAT	2,01	0,13	100	0,68
No hoja		14,47	1,82	SAT	3,02	0,17	100	1,18
Hoja	24/04/2010	19,15	0,91	SAT	2,43	0,14	100	0,74
No hoja		13,62	1,19	SAT	3,32	0,13	100	0,92

Tabla 25.- Analítica de las bases de cambio.

MESTRAS	FECHA	% CO	% MO	EHT	AH	AF	Huminas	% N total	C/N	P asimilable
Hoja	14/02/2005	2,80	4,83	0,80	0,37	0,48	1,95	0,21	13,25	57,89
No hoja		2,06	3,55	0,53	0,17	0,38	1,51	0,18	11,42	51,19
Hoja	09/04/2005	2,26	3,90	0,70	0,29	0,43	1,55	0,18	12,75	38,80
No hoja		1,70	2,94	0,46	0,17	0,33	1,20	0,21	8,15	39,40
Hoja	14/09/2005	2,55	4,39	0,74	0,33	0,44	1,78	0,21	12,14	48,70
No hoja		1,57	2,70	0,41	0,19	0,32	1,07	0,19	8,39	45,50
Hoja	08/04/2009	1,35	2,33	1,13	1,07	0,07	0,22	0,62	2,16	85,73
No hoja		1,55	2,68	0,56	0,52	0,04	1,00	0,44	3,50	42,23
Hoja	22/09/2009	1,25	2,15	1,46	1,23	0,22	0	0,88	1,42	41,09
No hoja		1,48	2,55	0,66	0,73	0,08	0,82	0,46	3,23	48,32
Hoja	24/04/2010	5,07	8,73	2,02	1,48	0,54	3,04	1,14	4,45	28,66
No hoja		1,41	2,44	0,65	0,54	0,11	0,76	0,44	3,18	54,15

Tabla 26.- Caracterización de la materia orgánica del suelo y contenido en nitrógeno y fósforo.

MESTRAS	FECHA	INDICE DE POLIMERIZACION	GRADO DE HUMIFICACION
Hoja	14/02/2005	0,77	30,38
No hoja		0,45	26,63
Hoja	09/04/2005	0,68	31,56
No hoja		0,51	29,24
Hoja	14/09/2005	0,75	30,34
No hoja		0,59	32,13
Hoja	08/04/2009	15,94	84,03
No hoja		15,99	36,17
Hoja	22/09/2009	5,51	116,66
No hoja		0	44,57
Hoja	24/04/2010	2,74	39,91
No hoja		0	45,93

Tabla 27.- Índice de Polimerización y Grado de Humificación de la materia orgánica del suelo.

MESTRAS	FECHA	% CaCO ₃	%H 33 kPa	%H 1500 kPa	% A.U.
Hoja	14/02/2005	54,10	32,26	19,16	13,11
No hoja		56,05	29,27	17,60	11,66
Hoja	09/04/2005	40,69	31,93	21,23	10,70
No hoja		44,75	30,35	18,96	11,39
Hoja	14/09/2005	25,38	26,83	16,48	10,35
No hoja		27,31	26,80	15,69	11,12
Hoja	08/04/2009	45,81	31,83	20,88	10,95
No hoja		44,96	28,03	18,91	9,12
Hoja	22/09/2009	24,55	34,32	22,87	11,44
No hoja		34,09	29,33	19,69	9,64
Hoja	24/04/2010	36,02	37,94	26,79	11,15
No hoja		42,29	28,55	19,66	8,88

Tabla 28.- Agua útil y contenido en carbonato cálcico.

E.2.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**E.2.1.1.- Densidad aparente:**

Los datos obtenidos de la densidad aparente para los cada uno de los sistemas de manejo son los siguientes:

fecha muestra	14/02/05	09/04/05	14/09/05
Hoja	0,94	1,13	1,29
No hoja	1,16	1,27	1,34

Tabla 29.- Resultados de la Dap.

La densidad aparente (D_a) cambia de un sistema de manejo a otro, en el análisis de la zona donde se acumuló los restos de cosecha de olivo, la densidad aparente, que es la masa de suelo seco al volumen de dicho suelo en su estado natural, es menor que la densidad aparente calculada para la zona con suelo desnudo.

Quiere decir que la cantidad de poros, y la hoja aportada influyen mucho sobre la densidad aparente de la capa superficial del suelo (las muestras se tomaron en los 5 primeros centímetros de suelo). La densidad aparente del suelo con cubierta vegetal inerte es algo menor que la del suelo desnudo, si bien la diferencia es muy escasa.

Para la densidad real, cuyo valor estimado para suelos calcáreos es $2,7 \text{ g/cm}^3$, se propone una modificación en la parcela en la que se ha aportado hoja, en ésta, como el contenido en M.O. es superior al 3%, la densidad real se calcula como $D_r = 2,7 \text{ g/cm}^3 - [0,02 \times (\% \text{M.O.})]$.

fecha muestra	14/02/05	09/04/05	14/09/05
Hoja	2,6	2,62	2,61
No hoja	2,7	2,7	2,7

Tabla 30.- Densidad real.

Con los datos de densidad aparente y densidad real, se calcula la porosidad total del suelo para cada sistema de manejo:

fecha muestra	14/02/05	09/04/05	14/09/05
Hoja	63,85	56,87	50,57
No hoja	57,04	52,96	50,37

Tabla 31.- % porosidad.

Y se comprueba que el % de la porosidad total es, en casi todos, muy superior al 50% cifra a partir de la cual, el comportamiento del suelo se estima que tiene una porosidad "satisfactoria para la capa arable" (% Po 50-55). Es de destacar como la porosidad del suelo con restos de cosecha es mayor que en el otro en todos los muestreos. En febrero y en abril el % de porosidad está por encima de 55 %, en el que el comportamiento de suelo se estima como una porosidad "excelente" (% Po 55-70)

Comparando con los datos de los horizontes del perfil, se observa que el comportamiento del suelo mejora bastante al aumentar los niveles de materia orgánica.

El agua útil en el suelo, no varía con los tratamientos.

Se comprueba que las parcelas en las que se aportó hoja de olivo, y las cultivadas con cubierta vegetal pueden retener mayor cantidad de agua antes de la saturación del suelo.

E.2.1.2.- Velocidad de infiltración:

Los resultados obtenidos para la velocidad de infiltración por el método del infiltrómetro de doble anillo, muestran como los valores de ésta varían notablemente. El suelo en el que se aportó en superficie hoja y restos de poda de los olivos, presenta la mayor tasa de infiltración, con un valor de 120 mm/h y el suelo desnudo presenta una tasa de 60 mm/h, que se mantuvo constante en el siguiente muestreo realizado en el 2010.

El aporte de hoja como enmienda orgánica y su adicción a la superficie del suelo, inciden positivamente sobre las características físicas del suelo estudiado. La incorporación de materia orgánica al suelo, logra disminuir la densidad aparente, aumentar la porosidad del suelo y mejorar la infiltración, disminuye de este modo el efecto que sobre las características físicas del suelo tiene su elevado contenido en arcillas.

También influye en la mayor velocidad de infiltración encontrada en la zona donde se dispone la cubierta de restos de cosecha, el que en décadas anteriores se haya labrado y aun el suelo no esté tan apelmazado como bajo los olivos donde no se labraba.

Otra causa que modifica esta característica es la presencia esporádica de restos de horizontes petrocálcicos, en zonas de menor pendiente.

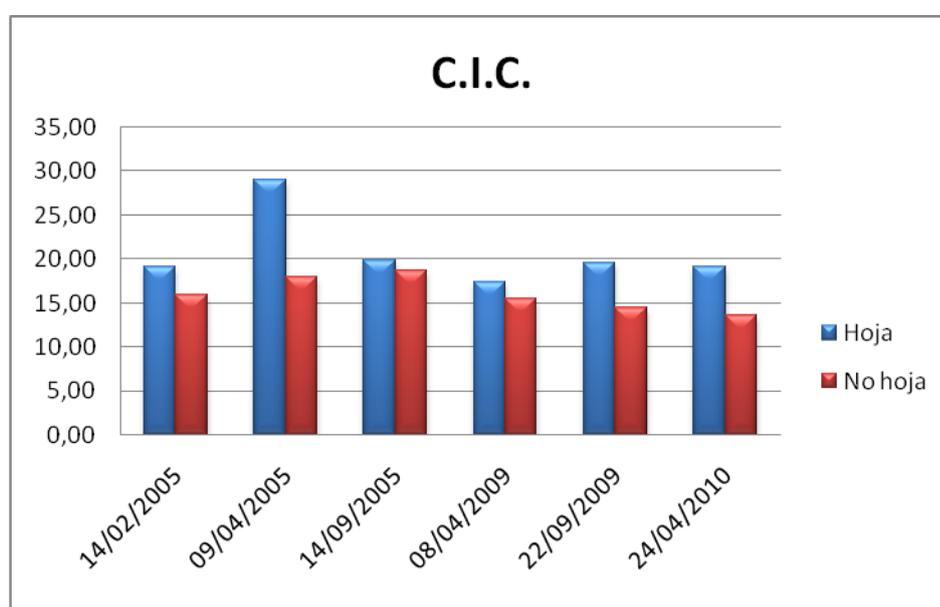
E.2.1.3.- Agua útil.

No existen diferencias significativas entre los dos sistemas de manejo del suelo, debido probablemente al corto periodo de experimentación, aunque en siempre los valores son ligeramente inferiores en el suelo desnudo respecto al cubierto con materia vegetal inerte.

E.2.2.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

E.2.2.1.-Diferencia en las Bases y Capacidad de Cambio Catiónico entre los dos sistemas de manejo a lo largo del periodo de tiempo de estudio.

Los niveles de C.I.C. del suelo, teniendo en cuenta la textura fina del mismo, se aproximan a niveles considerados "normales" de capacidad de cambio para suelos con este tipo de textura, en un intervalo entre 20 cmol_c/kg y 30 cmol_c/kg . Aunque como se puede ver en la gráfica 3, los resultados obtenidos en suelos con hoja o restos de poda son siempre algo mayores que donde el suelo está desnudo. En ambos los valores de la capacidad de intercambio catiónico se consideran "bajos", están en un intervalo entre 15 cmol_c/kg y 20 cmol_c/kg .



Gráfica 3.- Resultado de C.I.C. a lo largo del tiempo.

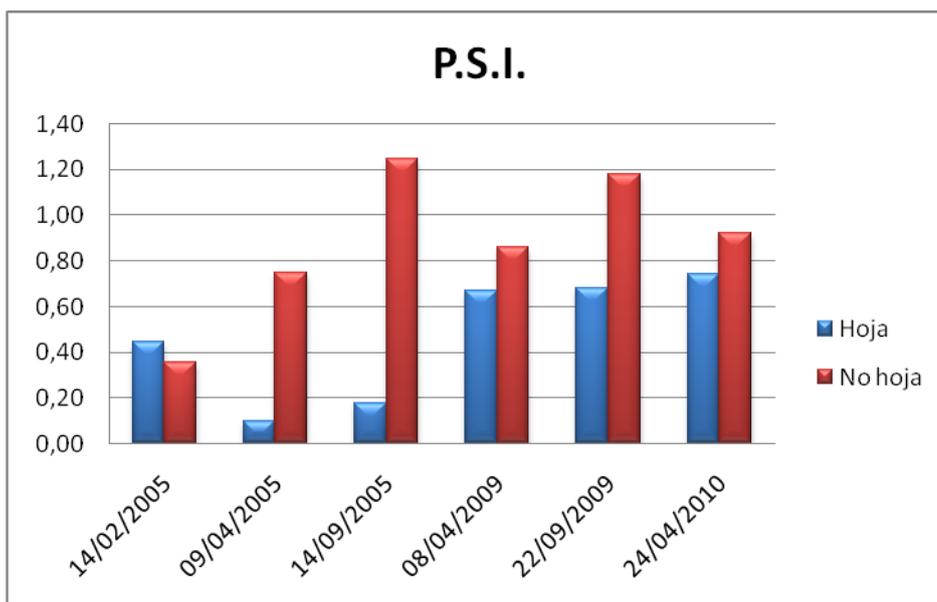
Estos niveles mayores en el suelo con restos de cosecha implica un mayor crecimiento de plantas y más saludables, y una mayor respuesta antiestrés, gracias a su mayor capacidad de retención de agua.

Para los dos tratamientos estudiados, los niveles de calcio, en la zona superficial del suelo, expresados en cmol_c/kg de suelo, están saturados, lo que quiere decir que dan valores por encima del nivel de C.I.C. de cada uno.

Los niveles de Magnesio no presentan diferencias destacables entre los tratamientos, si bien en el laboreo, el nivel es un poco más alto. Se puede considerar que estos suelos presentan niveles "altos" (entre 5,01 y 7,51) de magnesio.

Los niveles de sodio no presentan diferencias significativas entre los sistemas. Estos suelos presentan niveles considerados como "muy bajos" en sodio.

Si tenemos en cuenta el Porcentaje de Sodio Intercambiable:



Gráfica 4.- Evolución del PSI.

Observamos que en el suelo desnudo el PSI crece a lo largo del tiempo, debido, probablemente al agua de riego que aportan sales al suelo. Sin embargo, el suelo con cubierta vegetal inerte esos valores disminuyen debido a que la descomposición de la materia orgánica libera ácidos que disuelven el carbonato cálcico, por lo que el calcio soluble aumenta y el PSI disminuye. Aunque en ningún momento existen problemas por sodio al ser prácticamente todos los valores menores al 1%. En 2009 y 2010 los valores aumentan en el suelo con cubierta probablemente por el lavado del calcio soluble como consecuencia del aumento de las precipitaciones, como podemos apreciar en la figura 9, Aún así los valores son muy bajos.

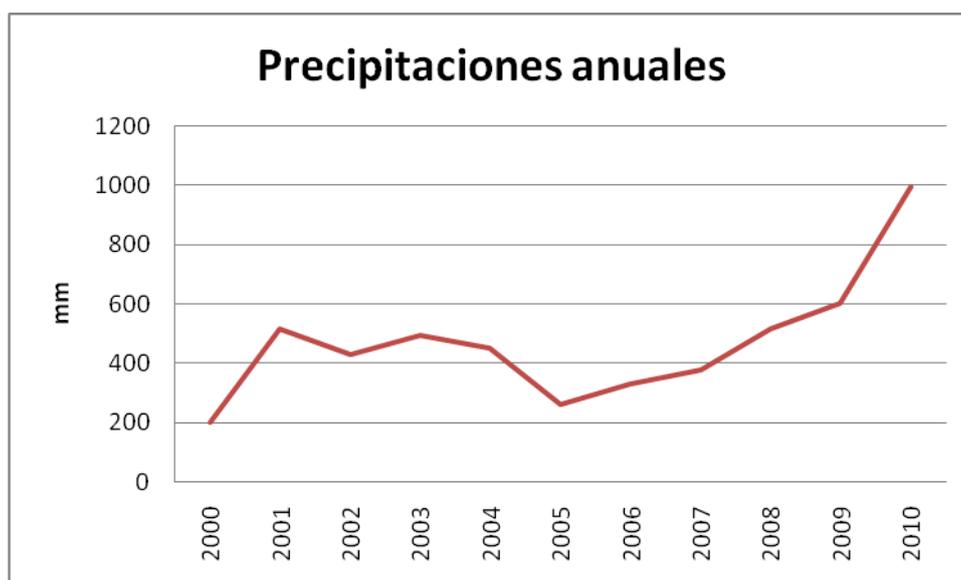


Figura 13.- Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa>. Estación meteorológica de Linares (Jaén)

Los niveles de potasio expresados en cmol_c/kg , no presentan diferencias destacables entre los dos sistemas de manejo. Si es de destacar los niveles “altos” y “muy altos” de potasio. Debido probablemente al abonado del olivar.

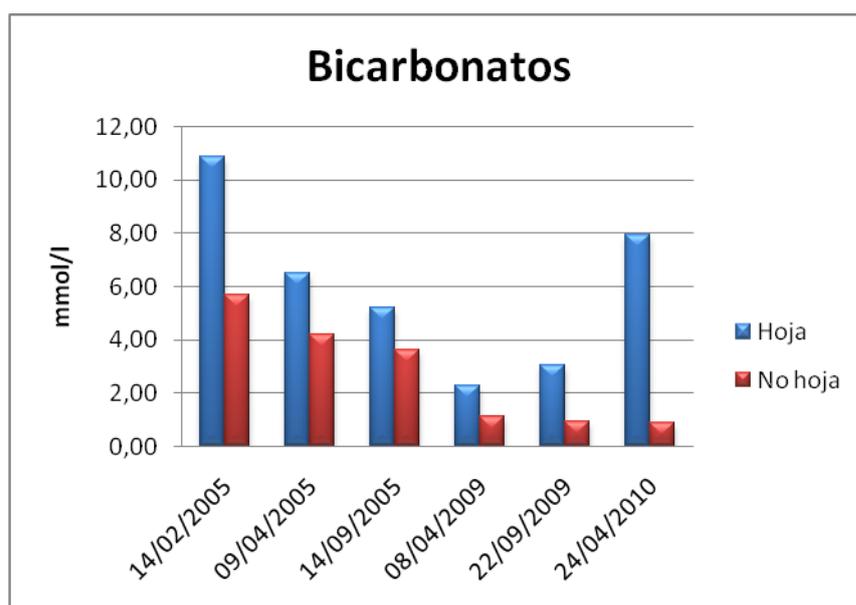
Los niveles de las Bases, presentan valores más o menos similares entre los sistemas de cultivo. Este hecho hace pensar que la materia orgánica aún está poco humificada y no interviene por ello de forma clara en el aumento de la C.I.C. y de las Bases de cambio. Son por tanto las arcillas, las principales responsables de la C.I.C en el suelo, como la textura y tipo de suelo es homogénea en todas las parcelas, los valores de C.I.C y los niveles en las bases, son prácticamente iguales entre los distintos tratamientos. Es de destacar que todos los años se incorpora materia orgánica fresca en las calles por lo que en los primeros centímetros del suelo vamos a tener siempre materia poco descompuesta.

E.2.2.2.-La solución del suelo:

E.2.2.2.1.- ANIONES.

E.2.2.2.1.1.- Bicarbonatos.

Existen diferencias significativas entre los dos diferentes sistemas de manejo del suelo. Evolución de los bicarbonatos en la solución del suelo.



Gráfica 5.- Medidas de bicarbonatos en $\text{mmol}_c \text{ l}^{-1}$.

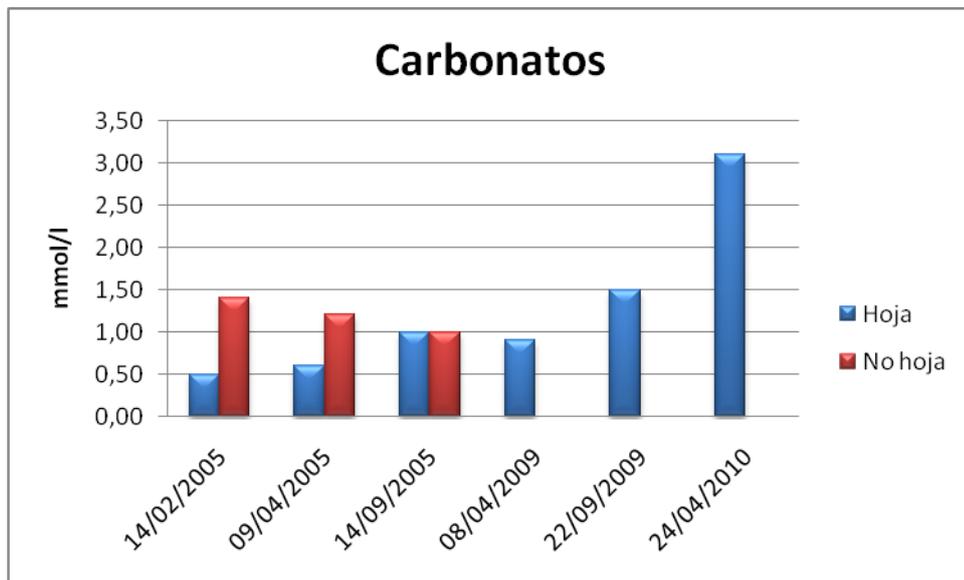
En la gráfica 5 se observa una clara tendencia descendente para ambos tratamientos. Al inicio, la concentración de bicarbonatos es mayor en el sistema con restos de cosecha pero conforme va avanzando el tiempo, esta concentración se va igualando a la del suelo desnudo.

La evolución de los bicarbonatos en la solución del suelo puede estar relacionada con la dinámica de la materia orgánica. La mineralización de ésta es grande al inicio y mayor donde hay restos vegetales, con la consiguiente liberación de CO_2 , parte del cual se solubiliza. El ión bicarbonato actúa de tampón amortiguando los cambios de pH (Alarcón,

1998). Se puede apreciar cómo, tras un periodo de precipitaciones cuantiosas el proceso de mineralización aumenta por lo que el ión bicarbonato también se incrementa por el proceso anteriormente explicado. Como es lógico esa evolución ascendente se produce en el suelo donde existe materia orgánica sin descomponer.

E.2.2.2.1.2.- Carbonatos:

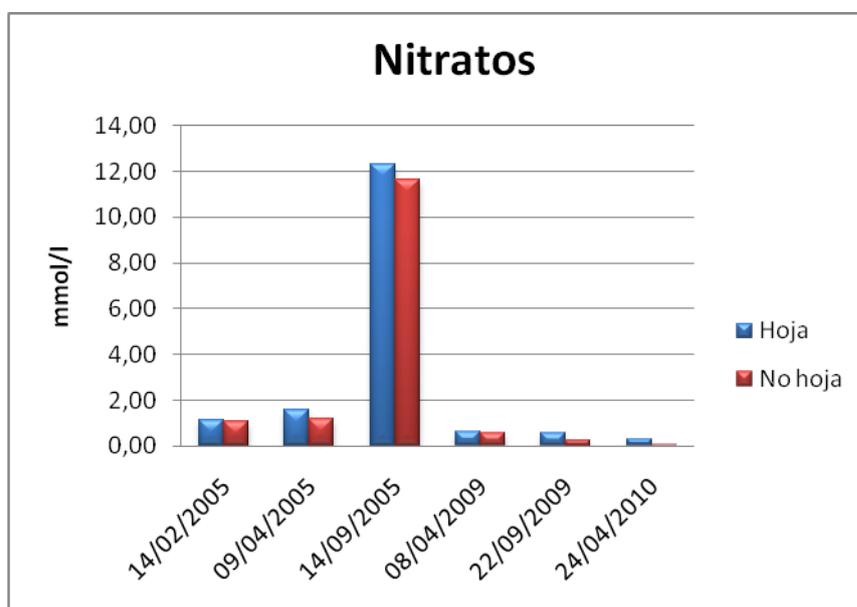
Tienen un comportamiento inverso que los bicarbonatos, probablemente debido a la solubilización de éstos por la acción residual ácida en el proceso de nitratación y por la liberación de compuestos ácidos en el proceso de descomposición de la materia orgánica.



Gráfica 6.- Medidas de carbonatos en $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$

E.2.2.2.1.3.- Nitratos.

Evolución de los nitratos en la solución del suelo.



Gráfica 7.- Evolución de los nitratos en $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$.

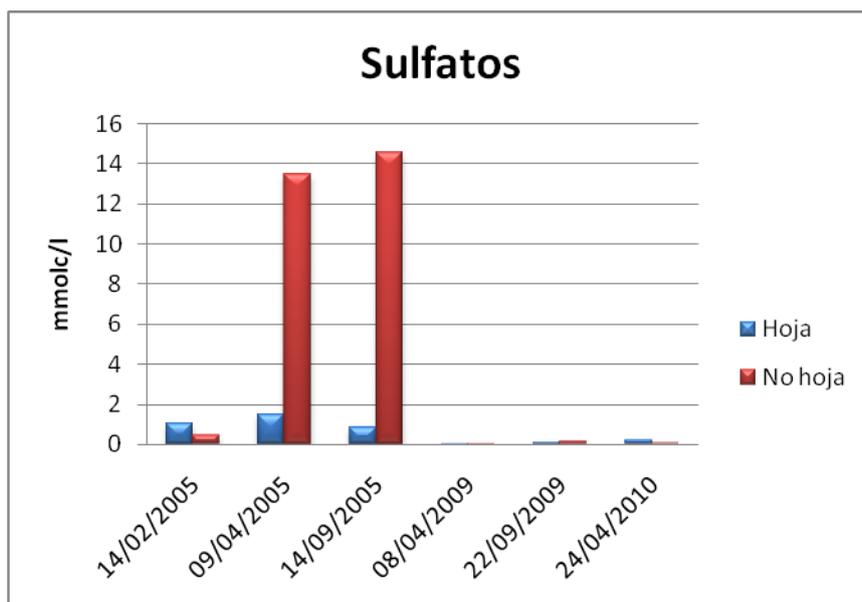
En la gráfica 6 podemos observar que los nitratos, en promedio, tienen una tendencia ascendente conforme avanza el tiempo para los dos tratamientos. En líneas generales, el contenido de nitratos es mayor en el sistema de manejo con restos de cosecha.

El aumento en la concentración de nitratos a lo largo del tiempo es lógico debido a que el NH_4^+ liberado como consecuencia de la mineralización progresiva de la materia orgánica, se transforma en nitratos (Labrador, J. L., 1997; Fuentes Yagüe, 1997; Adeguidi y col., 2003; Jones y col., 2004).

Pero no solo ese aumento repentino en septiembre de 2005 es por la mineralización de la materia orgánica, sino que gran parte de culpa es del abonado del riego y de la evapotranspiración ocurrida durante todos los meses del verano. Entre los dos primeros muestreos hay poca diferencia, aunque se ve un ligero ascenso, debido a que el riego en febrero aún no funcionaba y, aunque en abril sí estaba en pleno rendimiento el riego, había transcurrido poco tiempo y la evapotranspiración no era considerable. En el año 2009 y 2010 los niveles de nitratos vuelven a descender repentinamente como consecuencia del lavado del terreno causado por la lluvia de ese periodo (Figura 13).

E.2.2.2.1.4.- Sulfatos.

Existen diferencias significativas como se puede observar en la gráfica 8:

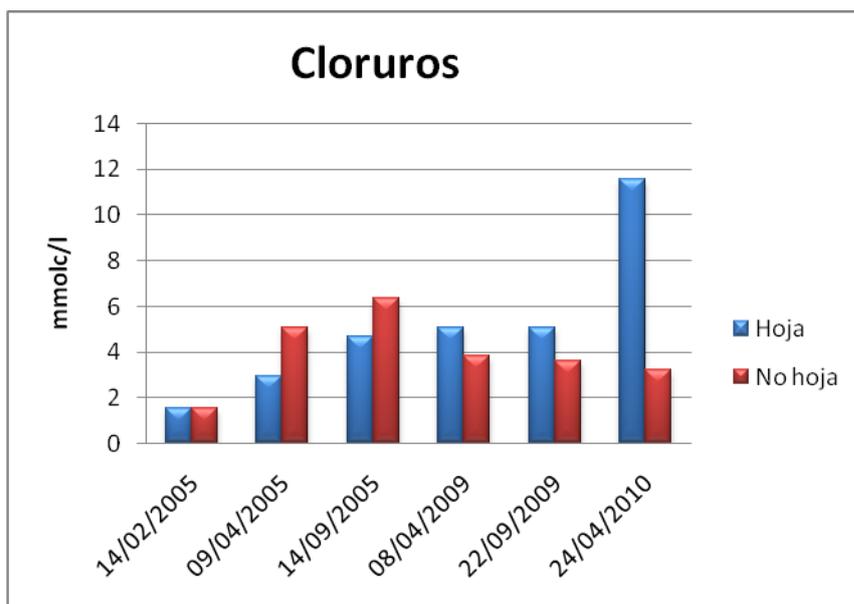


Gráfica 8.- Comparativa entre los dos sistemas de manejo respecto a los sulfatos en $\text{mmol}_c \text{ l}^{-1}$.

Mientras que la concentración de sulfatos es más o menos constante en el suelo cubierto con restos de cosecha, en el suelo desnudo va en un claro ascenso. Esto puede ser debido a que en febrero aún no estaba en funcionamiento la fertirrigación y, en abril y septiembre ya estaba en funcionamiento. Por lo tanto al realizar el muestreo, como la zona del suelo desnudo es donde se riega, se cogieron muestras en la zona de influencia del gotero.

Se puede apreciar como en épocas donde las precipitaciones son escasas el suelo desnudo aumenta sus contenidos en sulfatos mientras que el suelo a comparar actúa como tampón, es decir, la materia orgánica hace del suelo donde se aplica un sistema más equilibrado donde los cambios bruscos ambientales no consiguen modificar de forma considerable la composición de ese suelo. Se puede apreciar que cuando la humedad aumenta las sales son lavadas hasta el punto de desaparecer.

E.2.2.2.1.5.-. Cloruros.



Gráfica 9.- Evolución de los cloruros.

Como se puede apreciar en la gráfica 9, la tendencia de los valores de cloruros, en el año 2005, obtenidos en el análisis analítico de los suelos, es ascendente a lo largo del tiempo. Es de destacar como los la evolución de los niveles en el suelos cubierto con restos vegetales crecen más ralentizados que los del suelo desnudo. Este crecimiento es causado por el abonado del riego y por la evapotranspiración. En el suelo cubierto la evapotranspiración es menor, pues retiene la humedad durante un periodo de tiempo mayor que el suelo desnudo, a causa del acolchado de la cubierta vegetal inerte.

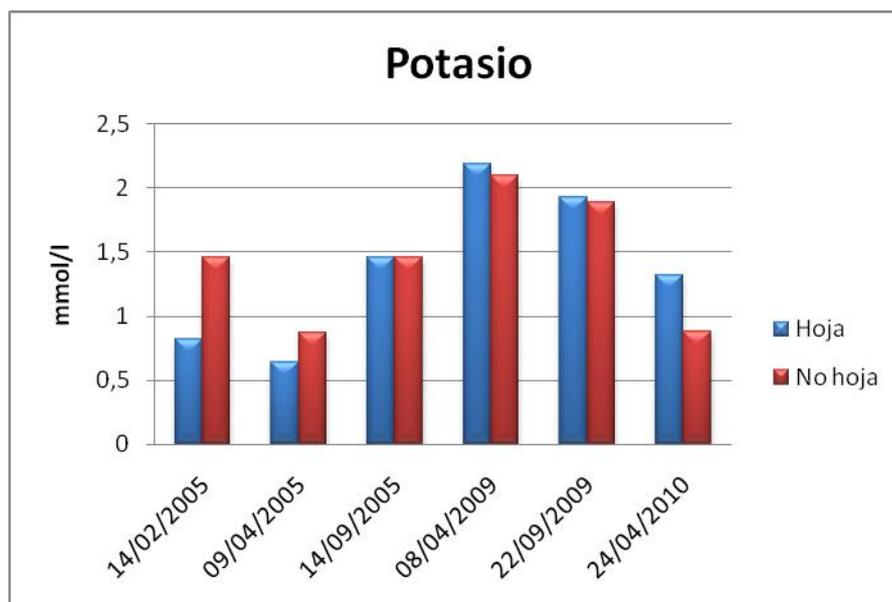
Para los años 2009 y 2010 los resultados obtenidos varían puesto que el suelo con hojarasca actúa de retén para el agua que discurre por el suelo, lavándolo. Puesto que la parcela está de no laboreo, el agua de precipitaciones (Figura 13) lava la superficie del suelo y se acumula en el suelo con hojarasca, por lo que los niveles de sustancias solubles aumentan considerablemente respecto del suelo desnudo.

E.2.2.2.2.- CATIONES.

E.2.2.2.2.1.- Potasio.

Al igual que ocurre para los aniones, existen diferencias significativas entre cada tratamiento.

Evolución del potasio en la solución del suelo.

Gráfica 10.- Evolución del potasio en $\text{mmol}_e \text{l}^{-1}$.

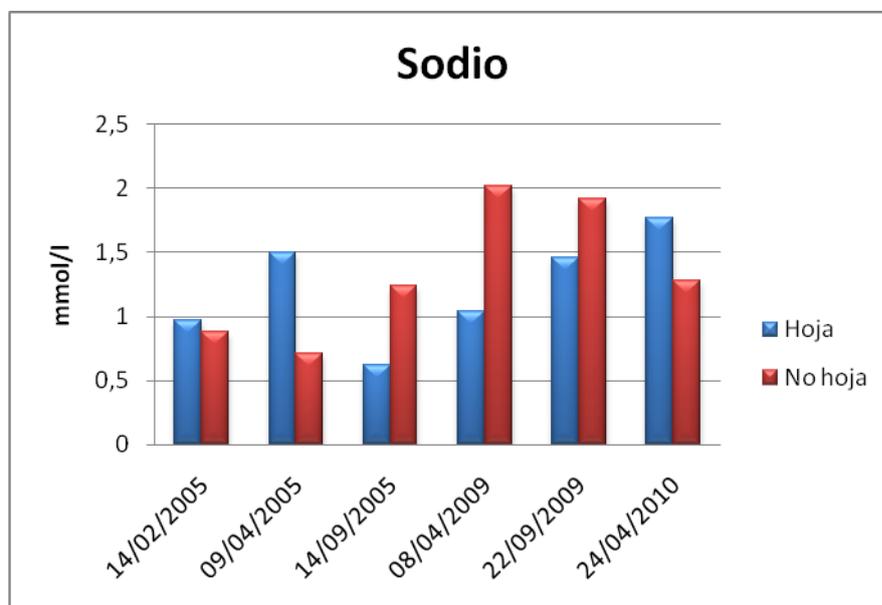
Como se observa en la gráfica 10, la concentración de potasio tiene una evolución descendente en los dos tipos de tratamientos, en los dos primeros muestreos. Eso es debido a que en los primeros muestreos el riego aportaba abonos nitrogenados fundamentalmente, en el muestreo de septiembre se aporta en mayor concentración abonos con contenido en potasio. Se puede decir que en los dos primeros muestreos se ve la evolución natural en los dos sistemas de manejo de suelo. Siempre es mayor en el suelo con aporte de restos de cosecha.

La disminución en la concentración de potasio a lo largo de la duración del ensayo se explica por la absorción de dicho catión por parte del cultivo, también puede deberse a la falta de mineralización al final del ensayo y principalmente por el lixiviado al que el suelo es sometido en los últimos muestreos como consecuencia de la lluvia.

E.2.2.2.2.2.- Sodio.

Observando la gráfica 11 se puede ver que existen diferencias en el comportamiento de sodio de la solución del suelo entre los dos sistemas de manejo del suelo.

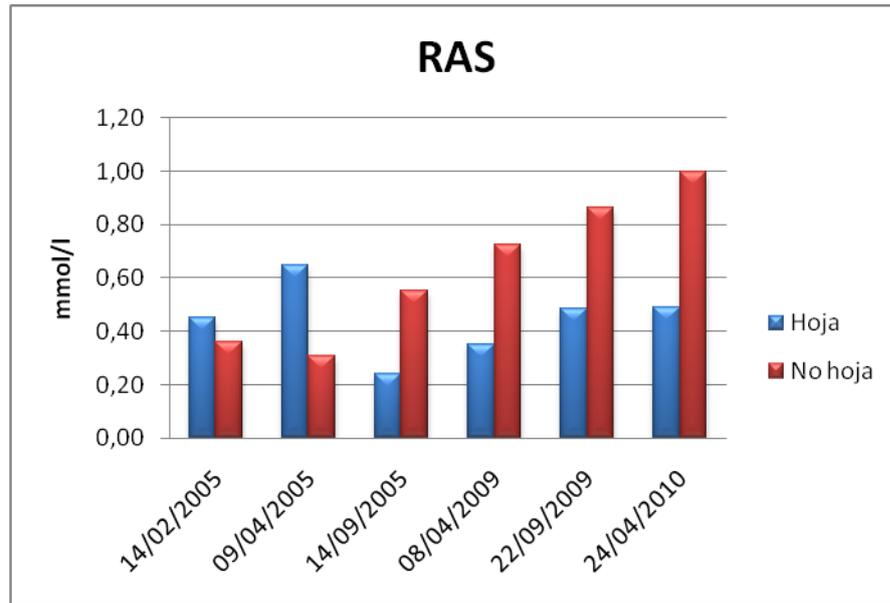
Evolución del sodio en la solución del suelo.



Gráfica 11.- Evolución del sodio en $\text{mmol}_c \text{ l}^{-1}$.

La gráfica 11 muestra que la concentración de sodio tiene una tendencia ligeramente descendente en el tratamiento con hoja y restos de poda triturada, y una tendencia ascendente en el suelo desnudo. Esto es debido a que el sodio del agua de riego se ha asociado con los cloruros y las muestras de no hoja se hayan cogido próximos a la zona de acción del gotero. Aunque en los tres últimos muestreos se invierte la tendencia. Podemos observar de nuevo el poder amortiguador de los restos de cosecha, Con motivo de cuantiosas precipitaciones (Figura 13) el suelo sin hoja se lava mientras que en el suelo con hoja, como también recoge las aguas de escorrentía el sodio aumenta.

Si observamos la Relación de Absorción de Sodio (Gráfica 12):

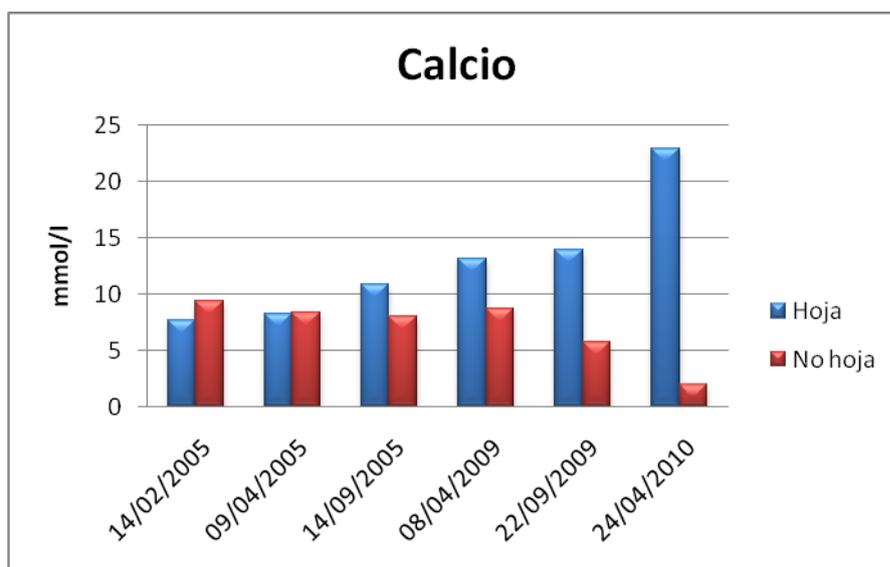


Gráfica 12.- Evolución del RAS.

Son valores muy bajos en ambos casos, aunque se puede apreciar cómo en el suelo con restos de cosecha siempre son valores menores que los del suelo desnudo, a causa del fertirriego. La evolución respecto al tiempo es ligeramente decreciente.

E.2.2.2.2.3.- Calcio.

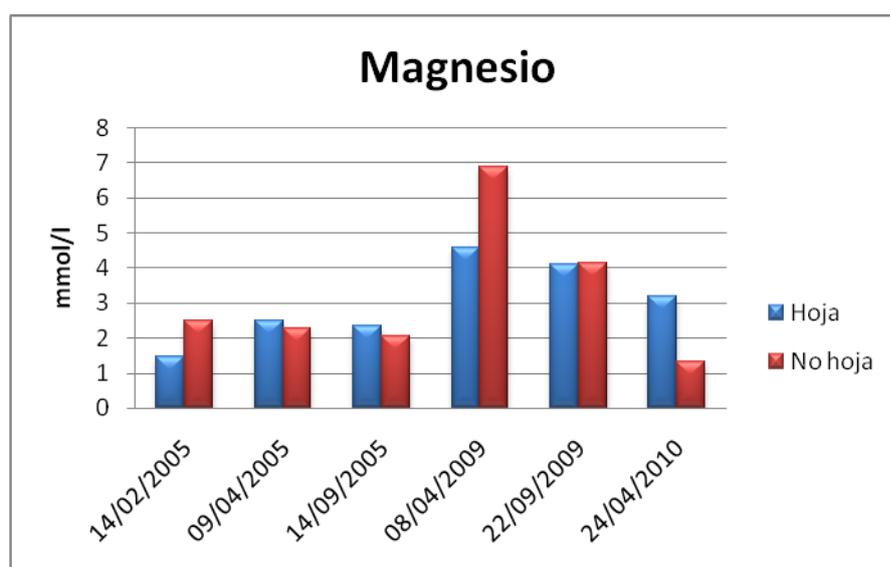
Para la concentración de calcio en la solución del suelo existen diferencias significativas a lo largo del tiempo entre ambos sistemas de manejo del suelo, condicionado por las características químicas del suelo. Según Schroder y Zahng (1997) las enmiendas orgánicas tienen un claro efecto encalante en los suelos, debido a la transformación de la misma por parte de los organismos vivos del suelo (Maradiaga, J. S. 2006).



Gráfica 13.- Evolución del Calcio.

E.2.2.2.2.4.- Magnesio.

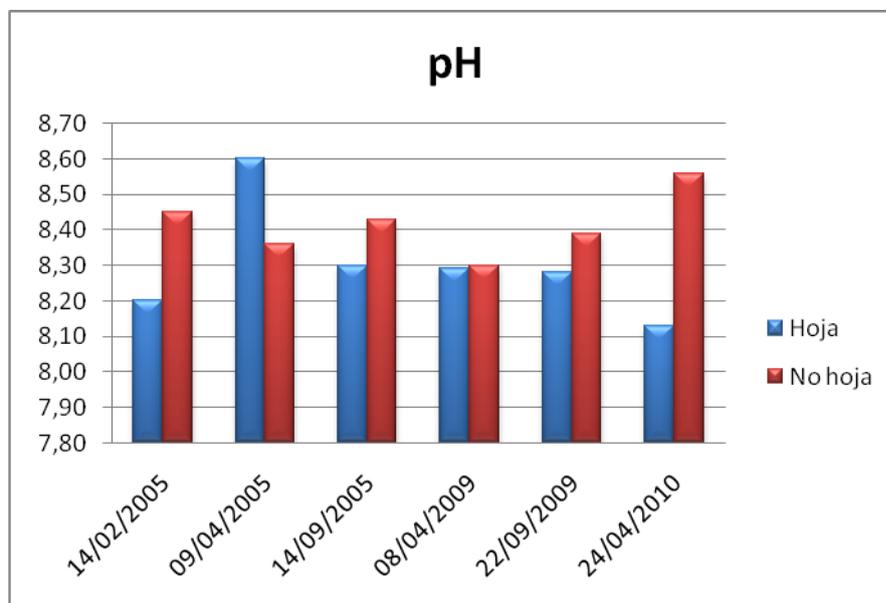
La evolución del magnesio tiene una evolución paralela para ambos tratamientos, por lo que para este elemento no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos.



Gráfica 14.- Evolución del Magnesio.

E.2.2.3.-La reacción del suelo:

El pH varía un poco entre distintos sistemas de manejo estudiados, por lo que no se puede decir que ninguno de los tratamientos tenga una influencia clara en la evolución del pH. Todos son “moderadamente básicos”.



Gráfica 15.- pH a lo largo del tiempo en los dos sistemas de manejo.

Se puede apreciar como a lo largo del tiempo el pH del suelo con cubierta vegetal inerte disminuye, debido probablemente a la liberación de ácidos en el proceso de nitratación dentro de la mineralización de la materia orgánica.

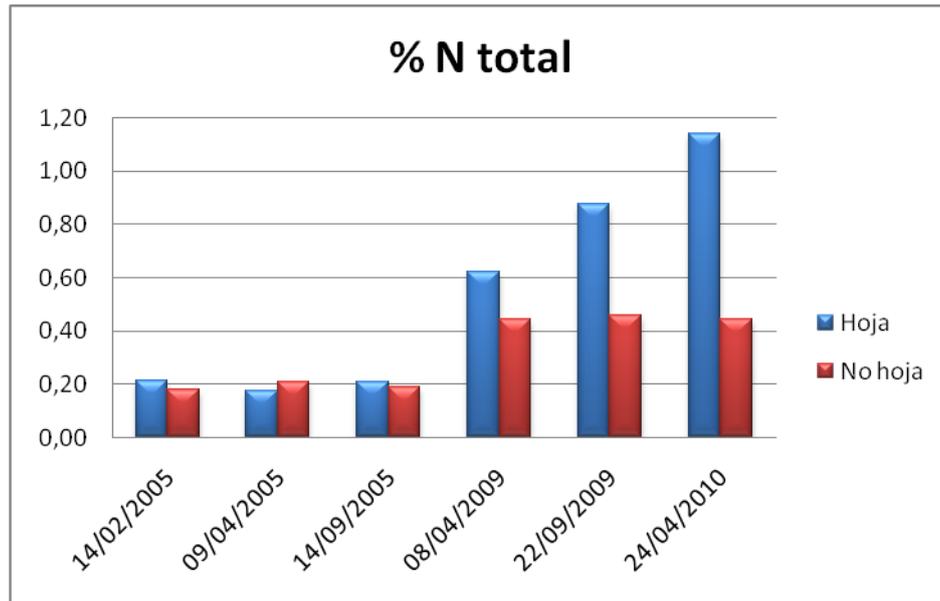
E.2.2.4.-Nitrógeno total en el suelo:

Si observamos lo ocurrido en el año 2005:

El Nitrógeno total expresado en % no varía entre los dos manejos prácticamente. Todos los niveles se consideran "normales" (0,10 - 0,20%).

En un principio se esperaría que la cubierta de hoja y restos de poda, al aumentar el contenido de materia orgánica, aumentaría la cantidad de N en el suelo. Sin embargo, esto no sucede. Esto es debido a que los residuos orgánicos no están aún lo suficientemente mineralizados.

Los niveles de estos sistemas de manejo comparados con los niveles de los horizontes Ap, Bw y Ab del perfil, son mayores, puesto que en ésta, el aporte de materia orgánica es nulo, y la fertilización al suelo, aunque es principalmente a base de abonos nitrogenados, se hace mediante fertirrigación, llegando solo a las zonas de influencia del gotero.



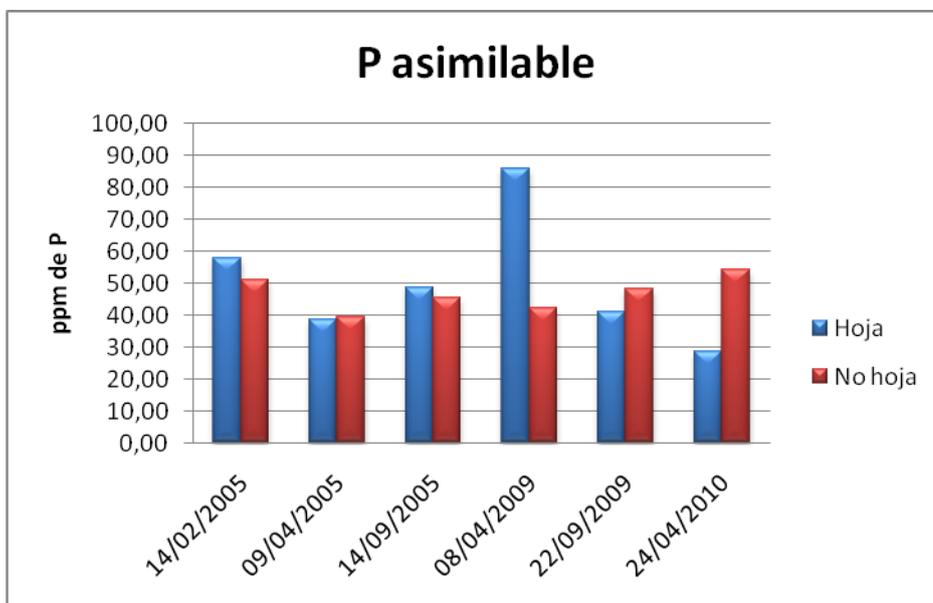
Grafica 16.- Resultados de N (%) para los dos sistemas de manejo del suelo.

Sin embargo lo ocurrido en el año 2009 y 2010 es totalmente diferente:

Se puede observar como los niveles totales de nitrógeno aumentan a valores “muy altos” (> 0.30). Esto es consecuencia del aumento de humedad en el suelo debido a las grandes precipitaciones ocurridas en ese periodo (Figura 13). Al aumentar la humedad aumenta la mineralización de la materia orgánica y por tanto la nitratación de esta. En el suelo con restos de cosecha el contenido en materia orgánica es mayor por lo tanto los valores de nitrógeno total también lo son.

E.2.2.5.-Niveles de fósforo asimilable:

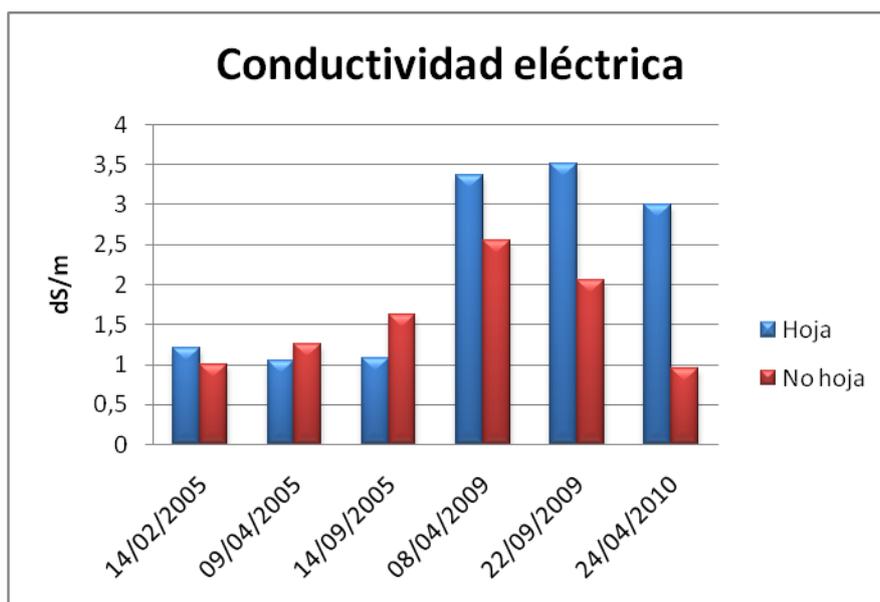
En la gráfica 17 comparativa obtenida con los resultados experimentales del laboratorio observamos que en ambos tratamientos culturales los valores son prácticamente siempre “altos” (36-60).



Gráfica 17.- Evolución del fósforo asimilable a lo largo del tiempo en los dos sistemas de manejo estudiados.

E.2.2.6.-La conductividad eléctrica:

La conductividad eléctrica que presentan los suelos de los dos manejos de suelo estudiados, se considera como "nula", al ser los niveles inferiores a 2 dS/m y “escasa” cuando los valores están entre 2 y 4 dS/m, como se puede ver en la gráfica 18.



Gráfica 18.- Comparación de la conductividad eléctrica entre los dos sistemas de manejo de suelo a lo largo del año.

Se puede apreciar cómo en el primer año de muestreo, en el suelo donde hay aporte de residuos orgánicos, el suelo mantiene valores más o menos constantes a diferencia de donde no hay aportes, que va en aumento a lo largo del tiempo debido a que es principalmente la zona de fertirriego y que la evapotranspiración va aumentando a lo largo de los meses de verano.

Sin embargo en los dos últimos años de muestreo las condiciones ambientales cambian considerablemente y con ellas los valores de conductividad eléctrica. Si comparamos la Gráfica 15 con la Figura 13 se observa como la tendencia de cada respecto a la otra es inversa, es decir, a más precipitaciones menos conductividad eléctrica. Lógicamente al aumentar las precipitaciones las sales del suelo son lavadas de ahí la tendencia de la conductividad eléctrica.

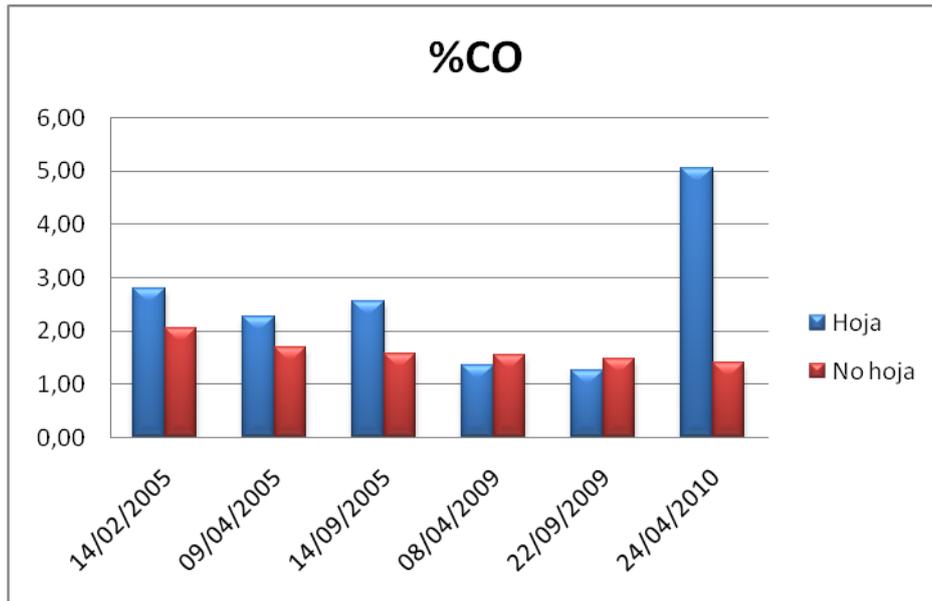
Pero aparte de la tendencia general hay que distinguir entre las dos formas de manejo, pues podemos observar de nuevo el efecto amortiguador de la materia orgánica. Mientras en el suelo desnudo los valores de conductividad caen repentinamente, en el suelo con hojarasca este descenso es mucho menos acusado, probablemente porque gran parte de las sales lavadas en el suelo desnudo viajen disueltas en el agua de forma lateral, como consecuencia de la pendiente del terreno, y se acumulen en las líneas de restos de cosecha, dispuestas de forma perpendicular a la línea de máxima pendiente. Hay que tener en cuenta que el fertirriego aporta cantidades importantes de sales solubles en el suelo desnudo y no en el suelo cubierto, por lo que cabe esperar que en periodos secos las sales aumenten más en el suelo desnudo que es donde se aplica el fertirriego. Cuando llegan periodos de precipitaciones abundantes las sales se lixivian a favor de la pendiente, disminuyendo la concentración de estas en el suelo desnudo y concentrándose en el suelo con cubierta vegetal.

E.2.2.7.-Evolución de la materia orgánica en el suelo:

E.2.2.7.1.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS Y SOLUCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE TYURIN.

Aplicando el método de Tyurin se obtuvieron los siguientes valores de carbono orgánico (CO) presente en el suelo.

Se puede observar los resultados no varían mucho, pero si comparamos los dos sistemas de manejo estudiados, sí hay diferencias como se puede observar en la gráfica 19:

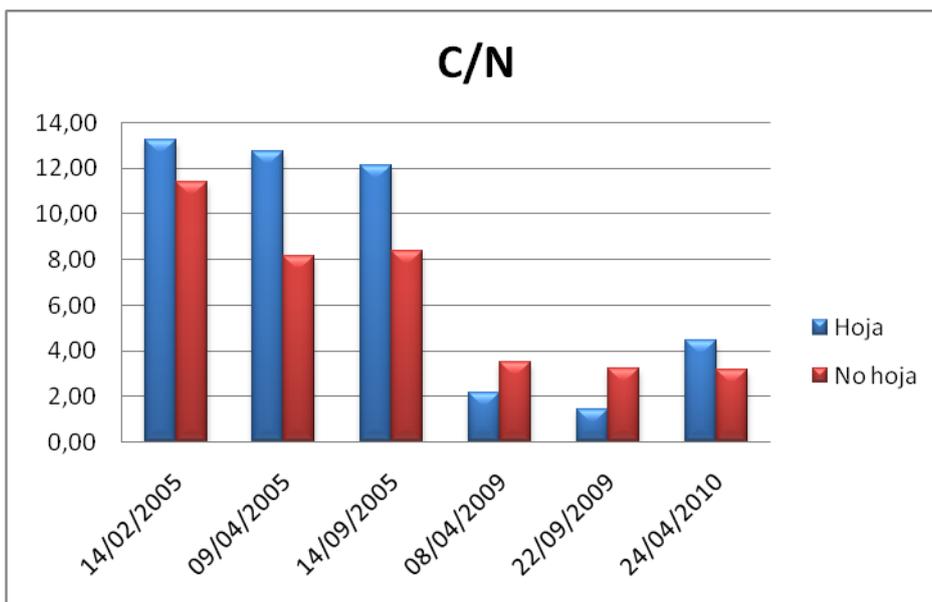


Gráfica 19.- Detalle de la evolución del C.O. en los dos sistemas.

Podemos ver como los valores del suelo cubierto con hoja y restos de poda son mayores que donde no hay. También se aprecia que como los primeros valores son más equilibrados con respecto a los segundos, que van en descenso. En abril de 2010 podemos observar que debido a la rápida mineralización como consecuencia de las grandes lluvias (véase figura 13), el porcentaje de carbono orgánico aumenta significativamente.

E.2.2.7.2.- RELACIÓN C/N.

Como se puede apreciar en la gráfica 20, hay diferencias significativas entre los tratamientos:



Gráfica 20.- Evolución de la relación C/N a lo largo del ensayo.

Según Maraños y col (1998), el carbono procedente de la materia orgánica se pierde en forma de calor, agua y dióxido de carbono, mientras que el nitrógeno liberado queda en el suelo o pasa a formar parte de los microorganismos. Cuando éstos mueren, son desintegrados a su vez, por lo que a medida que avanza la descomposición de la materia orgánica, decrecen la razón C/N y la velocidad de descomposición. Cuando la razón C/N se sitúa en torno a 10, se entiende que toda la materia orgánica se ha mineralizado. Siguiendo esto, se puede ver que el suelo desnudo, durante el año 2005, tiene una relación C/N entorno a 10 como consecuencia de que la materia orgánica de ese suelo ya está prácticamente mineralizada. Por otra parte el suelo con cubierta tiene una relación mayor debido a su mayor contenido en materia orgánica en proceso de descomposición.

Sin embargo en los años 2009 y 2010 estos valores descienden drásticamente como consecuencia que la materia orgánica está muy evolucionada a causa de unas condiciones ambientales muy favorables.

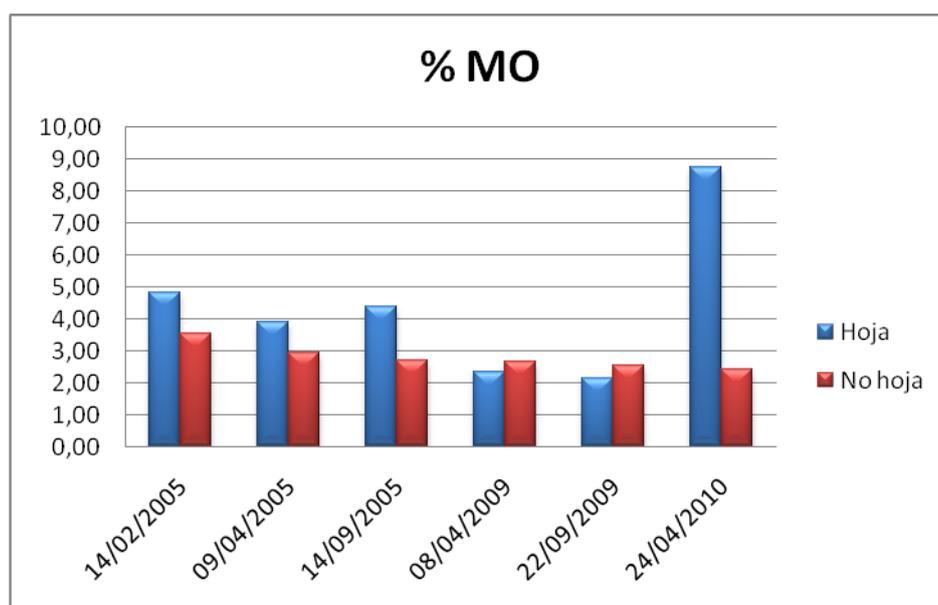
E.2.2.7.3.-NIVELES DE MATERIA ORGÁNICA (%):

Según Maraños y col. (1998), si consideramos la finca de regadío e intensiva, valores superiores a 2,0 -3.2 % son considerados normales.

Se aprecia como los valores referentes a la MO son superiores a los establecidos como normales en la bibliografía consultada.

Maraños y col (1998), recoge que para valores superiores a 4,5 % se consideran niveles muy altos, mientras que los valores establecidos entre 3,2 y 4.5 % altos.

Es de destacar, la diferencia de valores entre donde hay hoja y no, como se muestra en la gráfica 21.



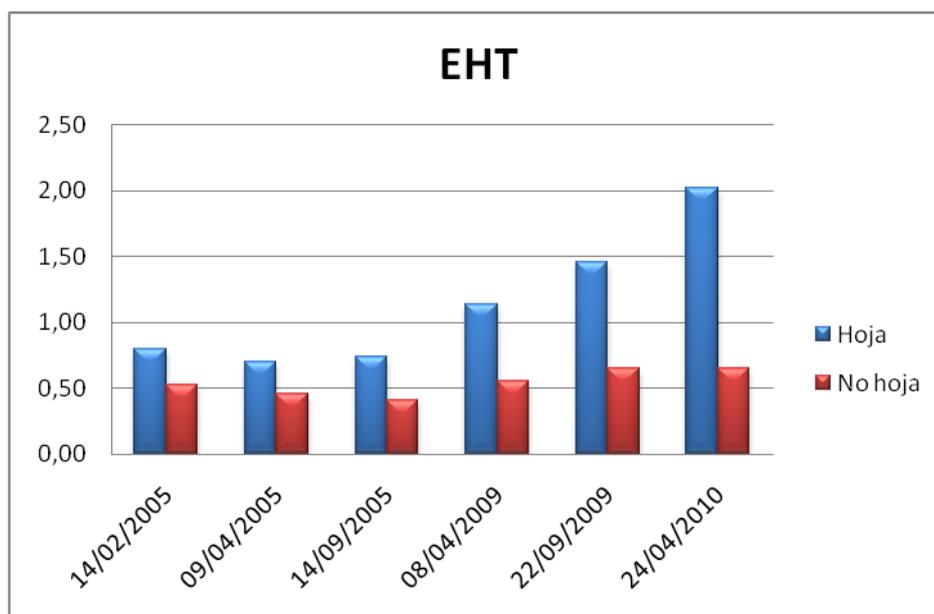
Gráfica 21.- Detalle de la evolución de la materia orgánica.

Donde hay hoja son valores “muy altos” y “altos” y donde no la hay son valores “normales”, según Maraños y col. (1998). También se observa la relativa uniformidad donde

hay hoja en el suelo y el descenso paulatino donde no la hay. Aunque en el último muestreo hay un brusco aumento del % de materia orgánica en el suelo cubierto con hoja y restos de cosecha debido a la rápida mineralización de la materia orgánica como consecuencia de las elevadas precipitaciones (Figura 13).

E.2.2.7.4.-DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO EN EL EXTRACTO:

Tras la determinación del extracto húmico total (EHT) se obtienen los siguientes resultados (Gráfica 22):

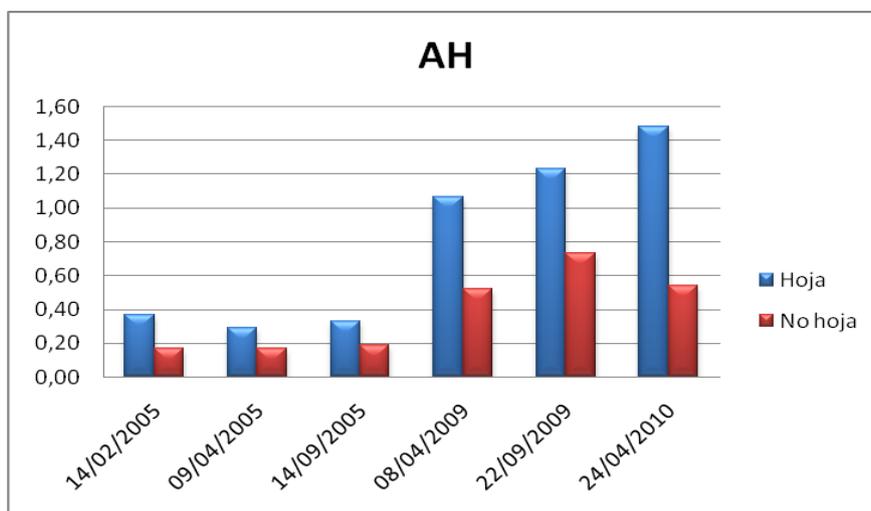


Gráfica 22.- Detalle EHT (%) a lo largo de la campaña.

Como se puede observar en la gráfica 22, la evolución del contenido de EHT se mantiene ascendente en cada uno de los sistemas de manejo. Siempre con valores superiores y más pronunciados en el suelo con restos de cosecha.

E.2.2.7.5.-DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EN EL EXTRACTO (ÁCIDOS HÚMICOS LIBRES + ÁCIDOS HÚMICOS UNIDOS AL CALCIO):

Tras su análisis se obtuvieron los siguientes resultados (Gráfica 23) para el contenido de ácidos húmicos (AH) en los dos sistemas de manejo de suelo:

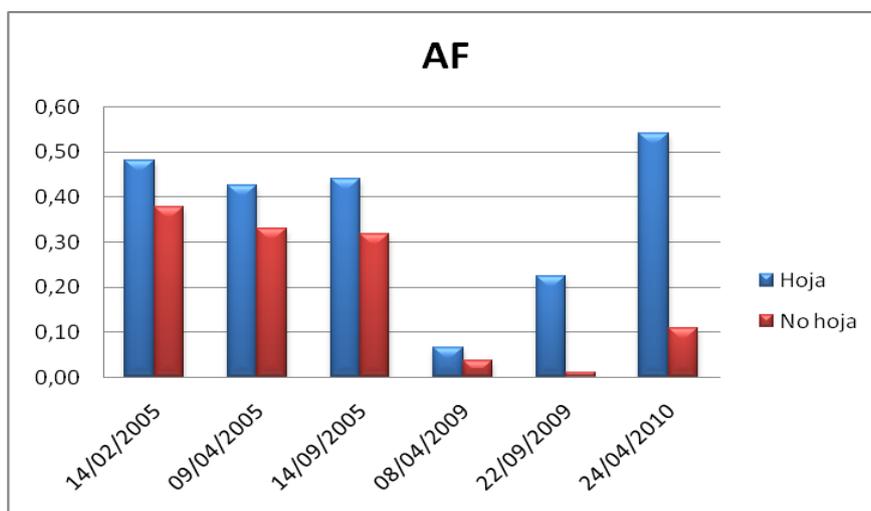


Gráfica 23.- Evolución de AH (%) a lo largo de la campaña

Se comprueba que los valores son constantes para cada sistema de manejo del suelo, pero siempre el suelo con hoja tiene unos valores superiores al otro. Según Pujola (1989), valores superiores a 0,15% se consideran valores normales, por tanto, nuestros resultados, se consideran normales para el suelo donde no hay aplicación de restos de cosecha y elevados para donde los hay.

E.2.2.7.6.-DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO DE LOS ÁCIDOS FÚLVICOS DEL EXTRACTO.

El estudio de los ácidos fúlvicos (AF) dio lugar a la gráfica 24 a partir de los resultados obtenidos en laboratorio:



Gráfica 24.- Evolución de AF (%) a lo largo de la campaña.

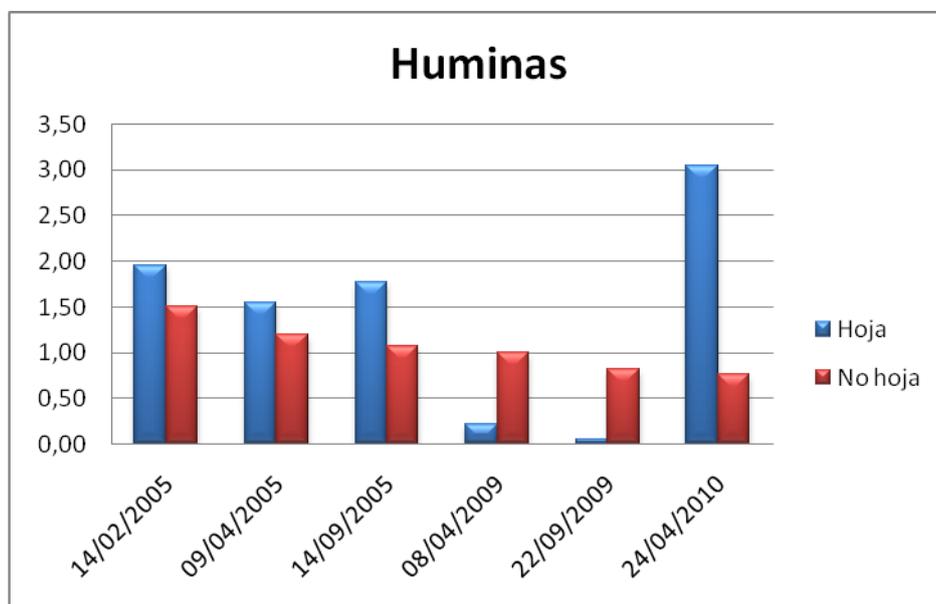
Los valores entre 0,10 – 0,30% se consideran normales, por debajo de éstos indican suelos empobrecidos, y por encima indican una mala evolución (Pujola, 1989).

Los ácidos fúlvicos es el compuesto húmico que más fácilmente es atacado por los microorganismos del suelo y, por tanto, aporta nutrientes más rápidamente y, a la vez, es el primer paso que debe realizar hasta la formación de humus, por lo que, dependiendo de las exigencias del momento aparezca más o menos concentración de éstos en el suelo.

Los valores tan altos obtenidos de los dos sistemas de suelo, son debidos a lo poco evolucionada que está la materia orgánica en el suelo. La materia orgánica aún no está humificada.

E.2.2.7.7.-DETERMINACIÓN DE HUMINAS:

Podemos apreciar en la gráfica 25 la evolución a lo largo del año:



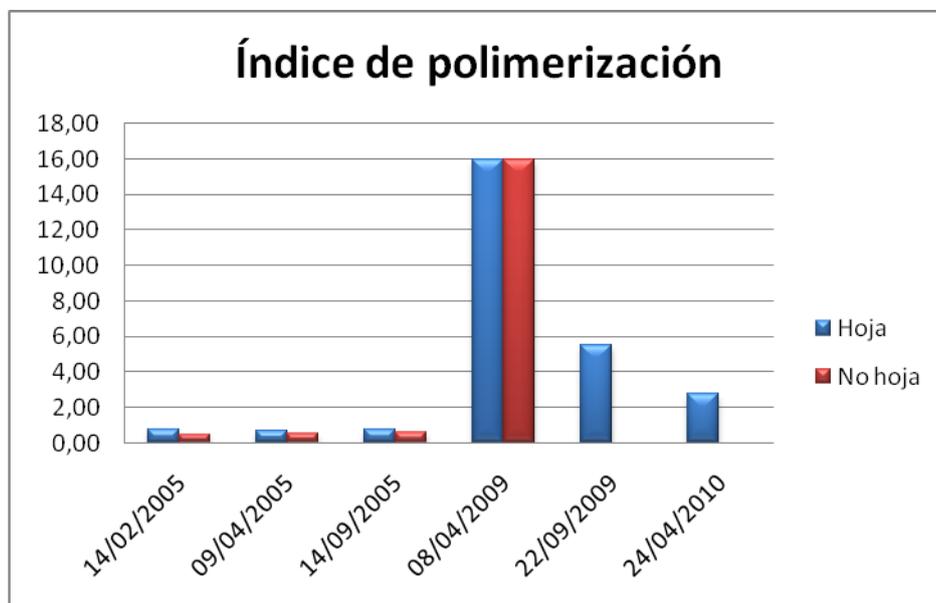
Gráfica 25.- Evolución Hum (%).

Los valores comprendidos entre 0,5 y 3,0 % se consideran normales, según Pujola, (1989). La gran mayoría de nuestros valores están dentro de dicho intervalo, pero se aprecia como aparecen algunos valores tanto superiores como inferiores, interpretados como señal de un mal manejo del suelo o del reciente aporte de la materia orgánica a éste.

En el suelo sin hoja, se aprecia como disminuye el contenido de huminas, causado por un posible descenso de la formación de huminas. Sin embargo, en el otro suelo, como el aporte de restos de cosecha es continuo todos los años, el material vegetal se encuentra en varios estados y por tanto, la formación de huminas es mayor y más o menos uniforme.

E.2.2.7.8.-ÍNDICE DE POLIMERIZACIÓN (% AH/ %AF).

Para comparar la evolución a lo largo de la experiencia de los dos sistemas de manejo del suelo, nos basaremos en la gráfica 26 obtenida a partir de los valores experimentales:



Gráfica 26.- Evolución del grado de polimerización a lo largo de la campaña.

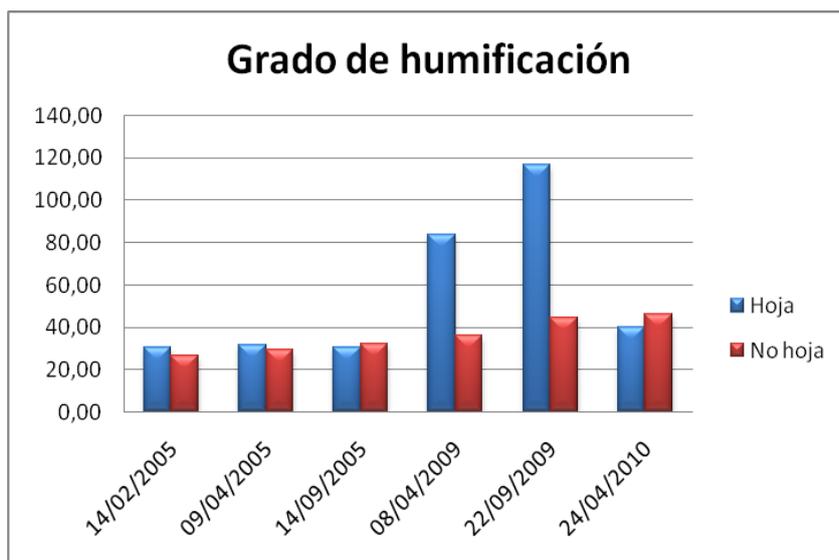
Según Pujola (1989), valores superiores a 1 se pueden considerar normales, mientras que valores inferiores pueden indicar aportes recientes de materia orgánica o una mala evolución debido a razones edáficas y de manejo.

Para este experimento, los valores inferiores a 1 se han interpretado como un aporte reciente de materia orgánica.

Aún así, el suelo provisto de residuos orgánicos tiende más a la normalidad que el desnudo.

E.2.2.7.9.-GRADO DE HUMIFICACIÓN (AH+AF+HUM/CO TOTAL).

Como se dijo para el estudio de los horizontes del suelo, según Pujola (1989), se consideran valores normales los comprendidos entre el 65 y el 92 %. Valores inferiores pueden indicar que los residuos orgánicos aportados no han tenido tiempo de evolucionar o una mala evolución de estos por razones edáficas y de manejo. A su vez, valores muy altos indican suelos empobrecidos, sin aportes orgánicos. Si vemos la gráfica 27:



Gráfica 27.- Evolución del grado de humificación a lo largo de la campaña.

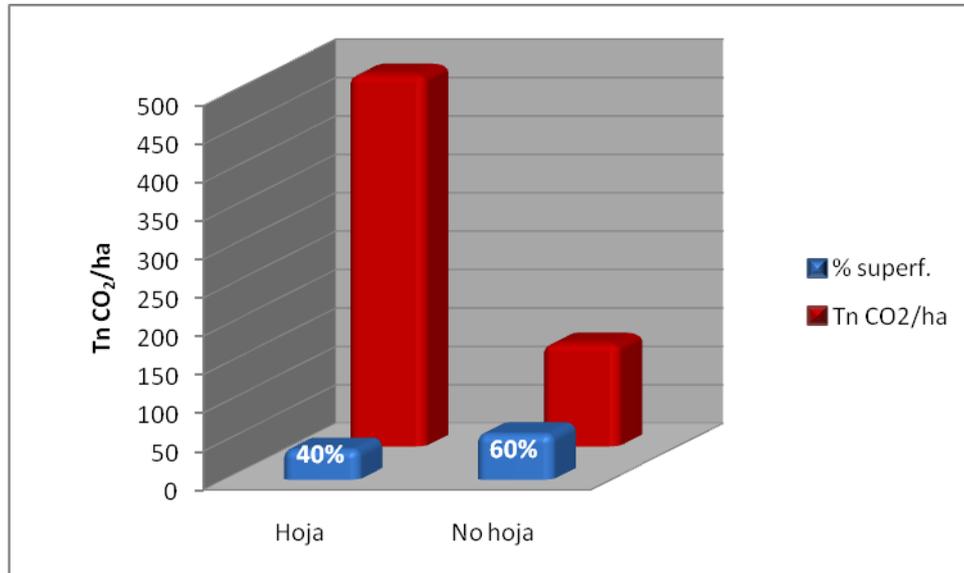
Como se puede observar, los valores tienden a ser inferiores a los establecidos como normales por Pujola (1989), siendo señal de no haber transcurrido un periodo de tiempo adecuado para la evolución de la materia orgánica aportada al suelo.

Al hacer la comparación entre los dos sistemas de manejo, podemos observar, como donde no hay aporte de material vegetal, el grado de humificación aumenta con el tiempo. Eso es debido a que al no aportar materia orgánica, la materia orgánica que queda está más evolucionada. Sin embargo, donde sí hay aporte, ese es continuado, y la materia orgánica está poco transformado.

*Todas las clasificaciones utilizadas a lo largo de este capítulo para los distintos elementos nutritivos y para las características físico-químicas, están sacadas del libro Análisis de Suelos, Metodología e Interpretación (Marañés et al, 1998) y de Pujola 1989 recogido en “La materia orgánica de los agrosistemas” de Labrador, J. 1996.

E.2.2.7.10.- SECUESTRO DEL CARBONO

A partir del carbono orgánico presente en ambos suelos hemos calculado la captura de carbono que se produce en los mismos. Para esto hemos dividido la parcela en un 60% de suelo desnudo y un 40% de suelo con cubierta vegetal, obteniendo la siguiente gráfica:



Gráfica 28.- En rojo está representado la Tn de CO₂/ha tanto en suelo con hoja como sin hoja. Y en azul está representado el porcentaje de superficie de cada clase existente en la parcela.

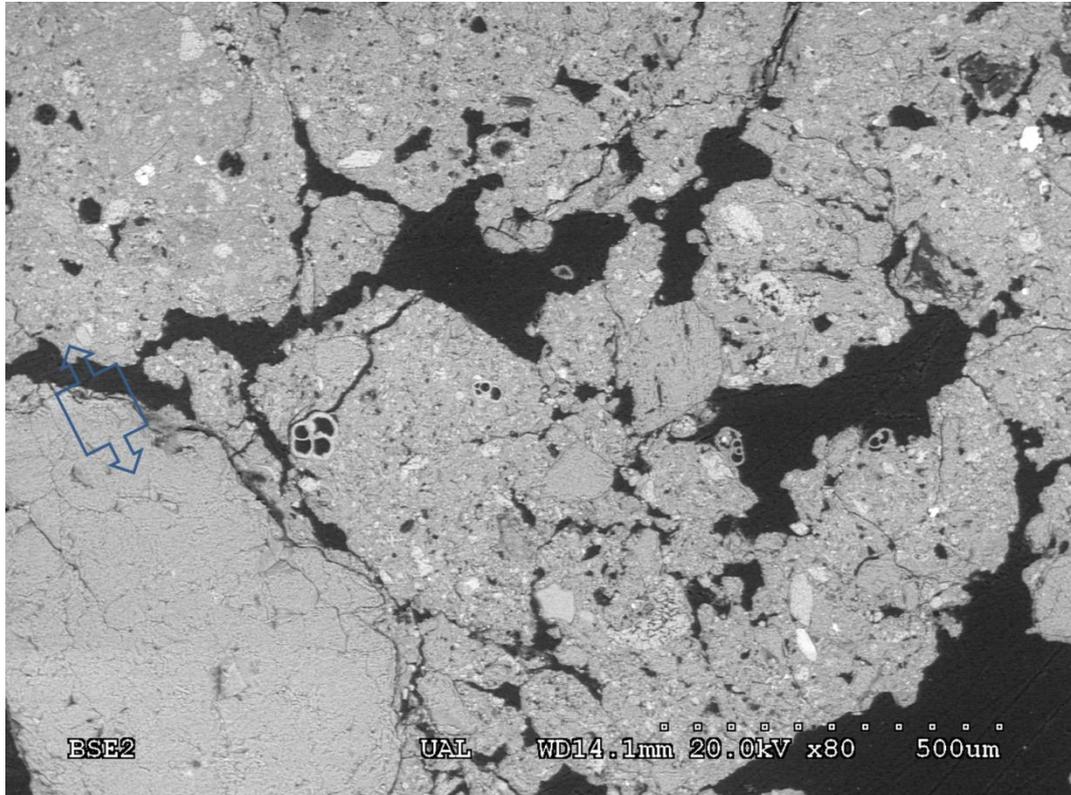
Se aprecia una diferencia abismal entre ambos tratamientos del suelo, siendo en el suelo con cubierta vegetal donde más carbono se captura, aún representando éste un 40% de la superficie.

Si adaptamos estos valores obtenidos por hectarea a la superficie real de la parcela se obtiene que en 6326,4 m² de suelo con cubierta vegetal secuestra un total de 306.96 t de CO₂ y 9489.6 m² de suelo desnudo captura 128.05 t de CO₂.

Por lo que se puede observar el gran efecto sobre el medio ambiente que provoca la cubierta vegetal inerte.

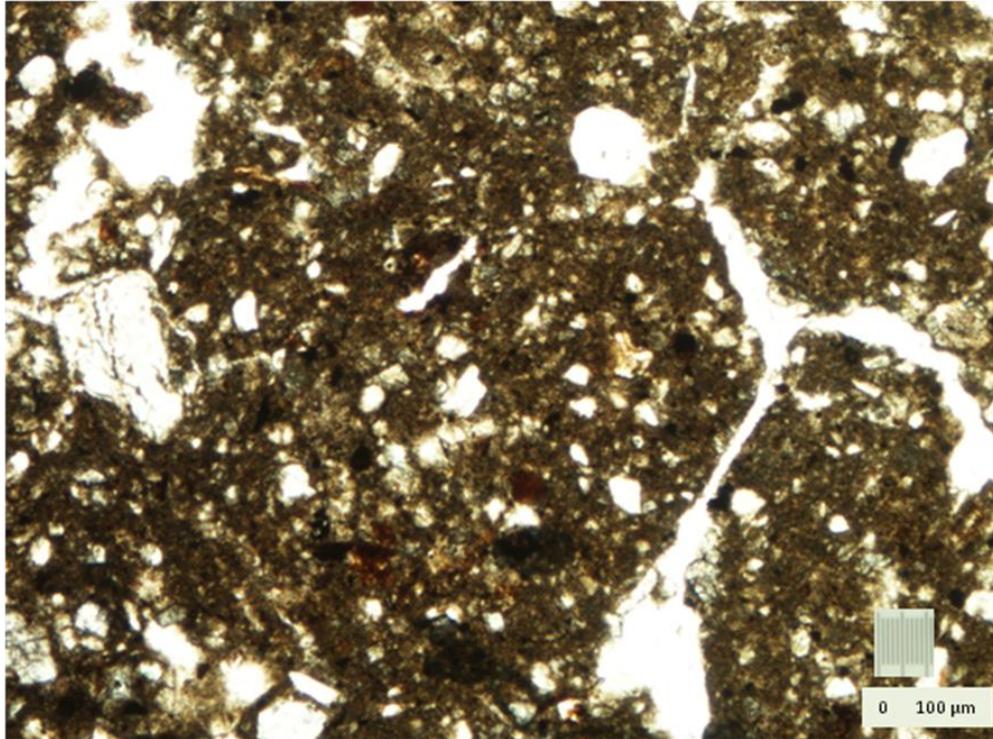
E.3.- RESULTADOS ESTUDIO MICROSCÓPICO

La estructura que presentan al microscopio los 10 primeros centímetros de suelo es de bloques subangulares, moderadamente desarrollados porque las caras de los agregados están poco definidas, con aristas romas y apenas sin vértices, lo que condiciona que los agregados no encajen unos con otros. (Fotografía 44).



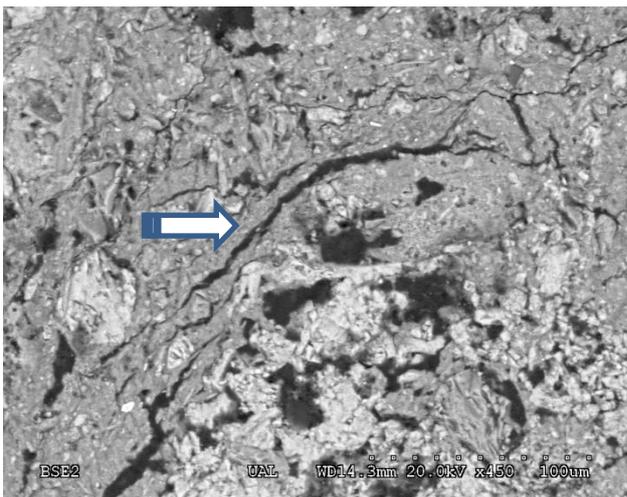
Fotografía 44.- Imagen de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) a presión variable. La flecha indica un ejemplo de bordes de agregados que no encajan.

La masa basal presenta una distribución Porfídica abierta en la que los granos gruesos son poco abundantes y sobrenadan en una masa continua de material fino, casi en su totalidad, de material carbonatado, cuya contextura birrefringente es indiferenciada, ya que este material fino se caracteriza por la falta de colores de interferencia (Fotografía 45).

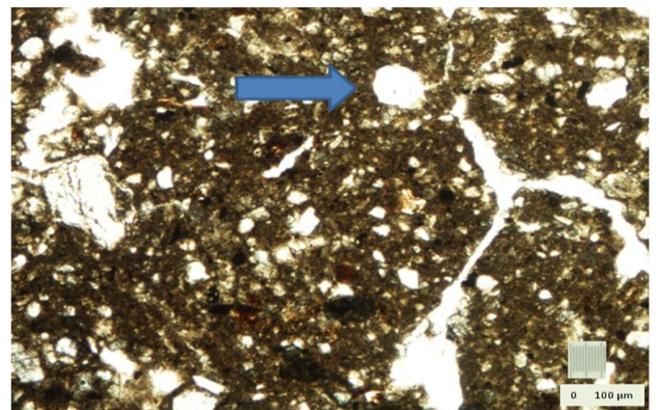


Fotografía 45.- Aspecto de la masa fina del suelo en la que se puede observar la práctica ausencia de colores de interferencia. Fotografía tomada con Microscopio petrográfico con nícoles cruzados.

Los huecos presentan un empaquetamiento compuesto ya que oscilan de equidimensionales a elongados, están interconectados al presentarse entre las caras de los agregados que no están acomodadas; además se presentan huecos planares o grietas como consecuencia de fenómenos de desecación del suelo (Fotografía 46) y cavidades (poros irregulares cuyo origen no puede atribuirse a un simple empaquetamiento de unidades, generalmente de gran tamaño, normalmente no interconectados a otros poros de tamaño similar, Fotografía 47).

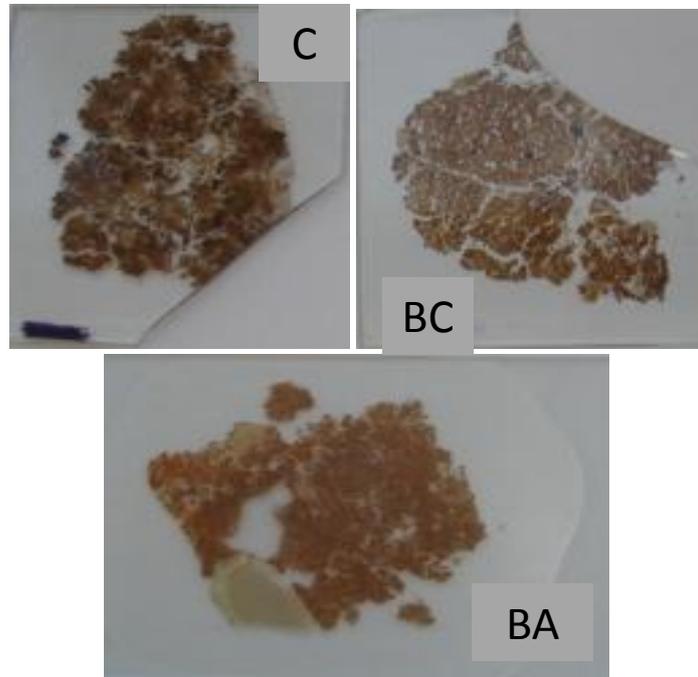


Fotografía 46.- Fotografía tomada por SEM a presión variable, donde se muestra una grieta como consecuencia de fenómenos de desecación de la matriz fina del suelo.



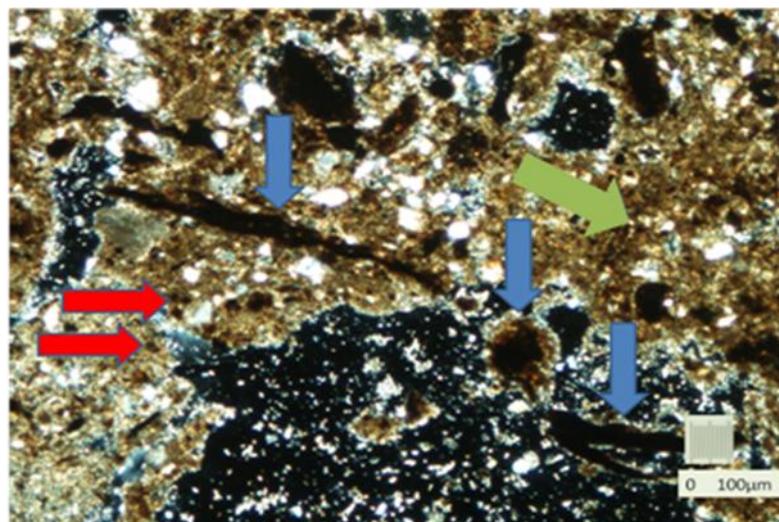
Fotografía 47.- Ejemplo de cavidad. Fotografía obtenida con Microscopio petrográfico y nícoles paralelos.

La descripción del estudio microscópico realizado a las muestras de “Calle” (C), “Borde de Calle” (BC) y “Bajo Copa de Árbol” (BA) se ha realizado de forma conjunta, ya que las principales diferencias se describen a continuación, como consecuencia de la incorporación al suelo de la materia orgánica aplicada, que incluso se puede observar en muestras de mano (Fotografía 48).



Fotografía 48.- Láminas delgadas para observación en microscopio donde se aprecia las diferencias entre las láminas con mayor contenido en materia orgánica, muestra de “Calle” (C), y las que menos, muestra “Borde de Calle” y “Bajo Copa de Árbol” (BA).

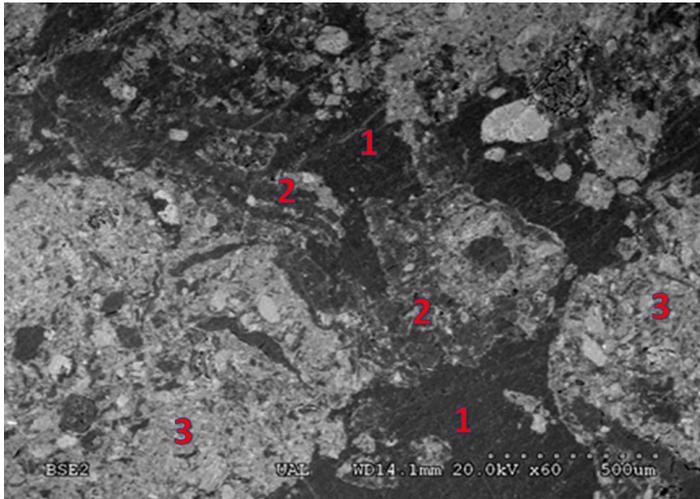
La materia orgánica se distingue en microscopio petrográfico por ser isótropa (no deja pasar la luz, Fotografía 49).



Fotografía 49. Aspecto de la materia orgánica incorporándose a la matriz inorgánica del suelo en la calle.
Fotografía obtenida con microscopio petrográfico y nícoles cruzados.

Este material orgánico fino puede ser monomórfico, material uniforme en el que se observan restos de fragmentos gruesos (flechas azules, fotografía 49); puntuaciones: pequeños puntos oscuros ($\approx 100 \mu\text{m}$) (flechas rojas, fotografía 49) y pigmento orgánico que tiñe a la parte mineral (flecha verde, fotografía 49).

Por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) la materia orgánica se distingue por presentar coloraciones oscuras claramente diferentes a la resina utilizada para realizar la lámina delgada (Fotografía 50).



Fotografía 50.- Aspecto general de la muestra de calle por SEM en modo alto vacío (1: hueco relleno de resina. 2: materia orgánica con diferente grado de incorporación a la matriz del suelo. 3: matriz del suelo con débil incorporación de materia orgánica.

Al comparar la muestras de calle (Fotografías 50 y 51), borde de calle (Foto 46) y bajo copa de árbol (Foto 44) podemos apreciar que la coloración de la muestra es bastante más oscura en la calle que en la periferia del bulbo o bulbo, como también se pone de manifiesto en el microanálisis realizado por microsonda de RX (tabla 32).

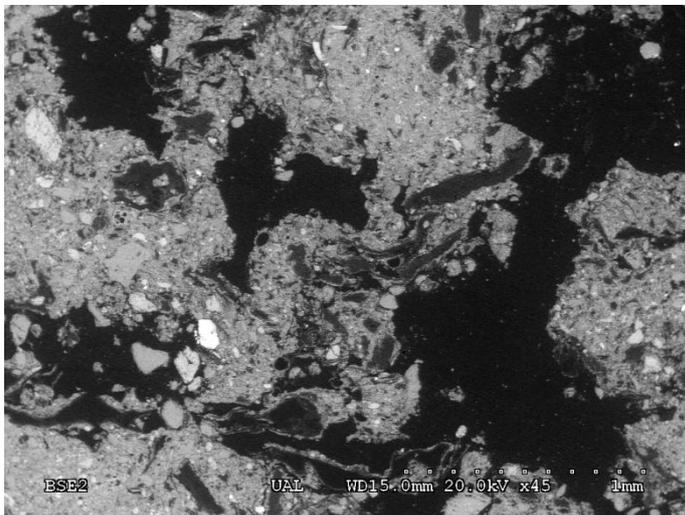


Foto 51.- Aspecto general de la muestra de calle, donde se observa la incorporación de los restos orgánicos al suelo.

Elemento (% Peso)	C 1	C 2	PB	B
C	44,56	13,29	6,38	4,81
O	43,66	49,7	49,18	53,38
Mg	nd	0,58	1,19	nd
Al	1,08	1,59	5,71	0,82
Si	3,94	5,32	18,31	36,74
K	0,71	0,59	2,42	0,44
Ca	4,52	27,58	11,54	2,86
Ti	nd	nd	0,63	nd
Fe	1,53	1,35	4,64	0,33

Tabla 32.- Composición química utilizando una microsonda de rayos X tipo EDX (espectrómetro de dispersión de energía). C1: Zona de acumulación de restos orgánicos. C2: Matriz del suelo en la muestra “calle”. PB: Matriz del suelo en la muestra “periferia bulbo”. B: Matriz del suelo en la muestra “bulbo”. Nd: no detectado.

F. CONCLUSIONES

F.- CONCLUSIONES.

1. La incorporación continuada al suelo de los restos de poda y hojas en el olivar ha mejorado notablemente las características físico-químicas del mismo.
2. El incremento de materia orgánica del suelo con cubierta vegetal inerte, determina una mayor permeabilidad, aún en suelos arcillosos. En definitiva una mejor estructura de estos suelos con respecto a los suelos desnudos.
3. El suelo con hoja y restos de poda de olivar amortigua más los cambios de las propiedades químicas del suelo producidas por el fertirriego y por la variación de las condiciones climatológicas.
4. La reutilización de restos de cosecha como enmendante orgánico favorece la reincorporación del carbono al suelo, evitando la emisión a la atmósfera del mismo en forma de dióxido de carbono por la quema de “ramón”, contribuyendo así a la práctica de una agricultura más sostenible.

G. BIBLIOGRAFÍA

G. BIBLIOGRAFÍA.

ACHARD, 1786, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982**. *Materia Orgánica del suelo, su , propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

ACEVEDO, E. Y MARTÍNEZ, E., 2003. *Sistema de labranza y productividad de los suelos*, en Acevedo, E.: *Sustentabilidad en Cultivos Anuales*. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8, p. 13-25.

ACEVEDO, E. Y SILVA, P., 2003. *Agronomía de la cero labranza*. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas, N° 10. 132p.

ADEGBIDI, H.G., BRIGGS, R.D., VOLK, T.A., WHITE, E.H. Y ABRAHAMSON, L.P. 2003. *Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics*. *Biomass & Bioenergy*. 25: 389-398.

AGUILERA, S.M., 2000. *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos*. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77–85.

ALBUZIO, A., CONCHERO, G., NARDO, S. DELLÁNGOLA, G. 1994. *Effect of humic fractions of different molecular size on the delopment of oat seeding growing varied nutritional conditions*. In : **N. SENSEI, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En:
<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

ALCÁNTARA, A. F., 1993. *Residuos agrícolas, forestales, ganaderos e industriales*. Recogido en: **NAVARRO, P., MORAL, H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995**. *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

ALMENDROS, G; POLO, A. y DORADO, E. 1983. *Estudio de los compuestos húmicos de diversos tipos de compost preparados a partir de paja de trigo*. *Agrochimica*, 27.

BADIA, D., 1991. *La materia orgánica en suelos de zonas semiáridas: Caracterización, descomposición e influencia sobre las propiedades biológicas*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. 221 pp.

BALADEST ET AL., 1990. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E**. **CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO**. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

BALKS, M.R. y ALLBROOK, R.F., 1991. *Land disposal of meat processing plant effluent*. Recogido en: **NAVARRO, P., MORAL, H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995**. *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

BARÓN, R., BENÍTEZ, I. C. y GONZÁLEZ, J. L. 1995. *Influencia de la dosis creciente de un abono orgánico en un cultivo de trigo.* Agrochimica XXXIX, 5-6; 280-289. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

BARRANCO, D; 2008. Variedades y Patrones. Pag 63-92. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

BARRANCO, D; RALLO, L; 1984. Las variedades de olivo cultivadas en Andalucía. Mº de Agricultura, Junta de Andalucía. 387 pp.

BAUER Y BLACK, 1994. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

BELLAPART VILÁ, C. 1988. *Agricultura Biológica en equilibrio con la química. Fertilización natural la agricultura del futuro.* Editorial AEDOS, Barcelona.

BENÍTEZ, C., GIL, J., GONZÁLEZ, J. L. 2000. *Influencia de la humedad en la evolución de parámetros químicos de un suelo tras la adición de alperujo.* Edición de la Universidad de Córdoba. pp 215-220.

BERNAL, M.P. y ROIG, A. 1993. *Nitrogen transformation in calcareous soils attended with slurry under aerobic incubation.* Recogido en: **NAVARRO, P., MORAL, BERZELIUS, 1839,** recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

BONNEAU, M. y SOUCHIER B. 1987. *Constituyentes y propiedades del suelo.* Ed. Masson, S. A., pp. 97-159.

CABALLERO, J. M Y COL.2008. *Metodos de multiplicación.* Pag 93-125. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

CAMPOS, I. 1981. *Suelos, abonos y fertilizantes. Como mejorar la fertilidad del terreno.* Ed. de Vecchi, S.A. Barcelona. 174 pp.

CÁNOVAS A. F., HILGERS, M., JIMÉNEZ, R. MENDIAZÁBAL, M. y SÁNCHEZ, F. 1993. *Tratado de Agricultura Ecológica.* Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Almería. 190 pp.

CARTER, M.R., 2002. *Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions.* Agron. J. 94, 38-47.

CARLSEN, L., LASSEN, P., WARWICK, P. y RANDALL, A. 1994. *Radio-labelled humic and fulvic acids: a new approach to studies on environmental fate of pollutants.* In **N. SENSEL, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health.* Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

CEGARRA, J., HERNÁNDEZ, M.T., LAX, A. y COSTA, F. 1983. *Adición de residuos vegetales a suelos calizos*. Recogido en: **NAVARRO, P., MORAL, H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995.** *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

CIVANTOS, L. 2008. *La olivicultura en el mundo y en España*. Pag 17-35. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

COMISIÓN EUROPEA, 2004. “*Potencial y aprovechamiento energético de la biomasa del olivar en Andalucía*”. Proyecto Equal-Adaptagro.

CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL, 2007. *Series estadísticas del aceite de oliva y de la aceituna de mesa*. Madrid.

CSICSOR, J., GERSE, J. Y TITKOS, A. 1994. *The Bioestimulant effecto of different humic subsance fracions on seed germination*. In **N. SENSEI, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

DEHERAIN, 1884, 1888, 1896, 1902, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

DESCHAUER, H., HARTMANN, R., KÖGEL-KNABER, I Y ZECH, W. 1994. *The influence of dissolved organic matter on the transport of polycyclic aromatic hydrocarbons in a forest soil under Pinus sylvestris*. In **N. SENSEI, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

DOMÍNGUEZ, A. 1997. *Tratado de fertilización*. Ed. Mundi Prensa. Madrid.

DUBBINI, G. 1995. *Interés de los bioestimulantes*. *Hortoinformación*, 9, 50-51. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

DUCHAUFOR, Ph. 1984. *Edafología I: Edafogénesis y clasificación*. Masson. Barcelona. 493 pp.

DUERMAN, 1840-42, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona. en http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm)

FAO, IUSS. 2006. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. N° 103. FAO. Roma. Italia. 127 pp

FAO, 2001. *Soil carbon sequestration for impoved land management*. World soil reports 96. Rome, 58 p.

FASSBENDER, H. W. 1972. *Química del suelo*. Ed. Turrialba. Costa Rica. Pp. 66-109.

FERNANDEZ, J. E; MORENO, F; CABRERA, F; 1991. *Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees.* Plant and Soil, pp 133: 239-251.

FERNANDEZ-ESCOBAR, R; 1999. *Fertilización del olivar.* Pag 245-265. In Barranco, D; Fernández-Escobar, R; Rallo, L. (eds). *El cultivo del olivo* 3ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 701 pp.

FITZPATRICK, E. A. 1987. *Suelos, su formación, clasificación y distribución.* Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 430 pp.

FLOTATS, X., CAMPOS, E., PALATSI, J. Y BONMATÍ, A. 2001. *Tratamientos de residuos orgánicos.* En: **BOIXADERA, J. Y TEIRA, M. R.** (eds). *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, Lleida. Pp. 17-36.

FORTÍN Y COL., 1996. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

FOTH, H. D. 1997. *Fundamentos de la ciencia del suelo.* Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 433 pp.

FOX, R.H. Y BANDEL, V. A. 1987. *Nitrogen utilization with no-tillage.* En: **SPRAGNE, M. A. Y TRIPLETT, G. B.** (eds) *no tillage and surface tillage agriculture.* Wiley Interscience Publication, New York, pp: 115 – 148.

FUENTES YAGÜE, J. L. 1999. *El suelo y los Fertilizantes.* Eds. Mundi-Prensa y Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid. 352 pp.

FÜRTH, F. y SAUERBECK, D. 1967. *The uptake of colloidal organic substances by plant roots as shown by experiments with ¹⁴C-labelled humus compounds.* P. 73-82. In Report FAO/IAEA Meeting Viena, Pergamon Press Oxford. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

GALLI, E., CEGARRA, J. TOMATI, U. y ROIG, A. 1994. *Effect of humified material on plant metabolism.* In **N. SENSEI, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health.* Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

GARCÍA-ORTIZ, A Y COL. 2008. *Poda.* Pag 389-433. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

GIFFORD, R.M. (1994), recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

GIL-RIBES, J. Y COL. 2008. *Mecanización*. Pag. 435 a 507. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

GONZÁLEZ, P. 1997. *Efecto del laboreo sobre la materia orgánica y las propiedades químicas del suelo*. En: **GARCÍA, L. y GONZÁLEZ, P.** (eds.) *Agricultura de conservación AEAC/SV*, Córdoba, pp. 41 – 49.

GROS, A. y DOMÍNGUEZ, A. 1992. *Abonos. Guía práctica de la fertilización*. Ed. Mundi-Prensa. 8ª edición. Madrid.

GUELSTER, F. Yu. 1940. *Importancia de los microorganismos en la formación de mantillo y resistencia en la estructura del suelo*. Seljsohuis.

H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

HAUG, R. T., 1993. *The practica lhandbook of compost engineering*. En: **BOIXADERA, J. Y TEIRA, M. R.** (eds). *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, Lleida. Pp. 26.

HÉNIN, S.; GRAS, R. y MONNIER, G. 1972. *El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Versión española de C. Roquero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

HOLZCLAW, K. M.; SPOSITO, GY BRADFORD, G. R. 1976. *Soil Sci. Soc. AMER. Proc.*, 40 (2), 254 -258.

HUMANES, J; CIVANTOS, M; 1993. *Producción de aceite de oliva de calidad. Influencia del cultivo*. Junta de Andalucía. 101 pp. Sevilla

HUNCHAK-KAVIOUK, K. y BUFFET, I.H. 1994. *Binding of organic pollutants to dissolved organic matter in anoxic pore waters*. In **N. SENSEI, T. M. MIANO** (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam. En:
<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

JACKSON, 1964. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** *CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. R.C. Suelo Nutr. Veg.*, **2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

JIMÉNEZ, R. y LAMO, J. 1998. *Agricultura Sostenible*. Coedición Agrofuturo, Life y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.616 pp.

JONES, D.L., SHANNON, D., MURPHY, D.V. Y FARRAR, J. 2004. *Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils*. *Soils Biology & Biochemistry*. 36: 749-756.

JOHNSON (1995), recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** *CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. R.C. Suelo Nutr. Veg.*, **2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

KARLEN, D.L. y STTOT, D. E. 1994. *A framework for evaluating physical and chemicals indicators of soil quality.* Páginas 53 – 72 en: **J. W. DORAN, D. C. COLEMAN, D. F. BEZDICEK y B. A. STEWART,** eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.* Soil Sc. Soc. Of A. 35 ASA, Madison.

KEVAN, D. K. McE. 1965. *Ecology of Soil-borne Plant Pathogens: Prelude to Biological Control.* (K. F. BAKER y W. C. SNYDER, Eds.) The Regents of the University of California.

KERN J.S. (1995), recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H,** E. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, **2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791

KING, J. R. 1938. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

KOSTYCHEV, P. A. 1884. *Condiciones de formación de los suelos chernoziom.* Trudy Volnogo econom., ob-va, vol.3.

KOSTYCHEV, P. A. 1889. *Formación y propiedades del mantillo.* Trudy SPb ob-va yestestvoispyt, vol. 20, otd. botánica.

KOSTYCHEV, P. A. 1890. *Algunas propiedades y composición del mantillo.* Selskoye jos. Y lesovodstvo, núm. 10.

KRAVKOV, S. P. 1906. *Productos de descomposición de la materia orgánica solubles en agua.* Materialy po izuch. Russkij pochv. 7.

KRAVKOV, S. P. 1908. *Materiales del estudio de los procesos de descomposición de los restos vegetales en el suelo.* San Petersburgo.

KRAVKOV, S. P. 1911. *Investigaciones en el dominio del papel de la capa vegetal muerta en la formación del suelo.* San Petersburgo.

KRAVKOV, S. P. 1938. *Materiales del estudio de los productos de descomposición de las sustancias orgánicas y de los procesos de su fijación en el suelo.* Trudy LOVIUA, 51.

KRULL, E. S., Y COL 2004. *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties.* Grains Research & Development Corporation report Proyect No CSO 00029.

KUBIENA, W. L. 1952. *Claves sistemáticas de suelos.* CSIC. 388 pp. Madrid.

LABRADOR, J. L. 1996. *La materia orgánica en los agrosistemas.* Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.

LAL, R., 1997. *Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment.* Soil Till. Res. 43, 81-107.

LAL, R. 2001. recogido en: **MACIAS Y COL. 2004.** *El sumidero de carbono de los suelos de Galicia*. Edafología, vol. 11(3), pp 341-376.

LAMPKIN, N. 1998. *Agricultura ecológica*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 724 pp

LÓPEZ-BELLIDO, RJ, FONTÁN, JM, LÓPEZ-BELLIDO, FJ, LÓPEZ-BELLIDO, L. 2010 *Secuestro de carbono por la labranza, la rotación y fertilización nitrogenada en un Vertisol del Mediterráneo*. Agronomía Diario 102: 310-318

LÓPEZ-CUERVO, S., 1990. *La erosión en los suelos agrícolas y forestales de Andalucía*. Colección Congresos y Jornadas nº 17/1990. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca pp 11-16.

LOVELAND, P. y WEBB, J. 2003. *Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review*. Soil & Tillage Research. 70: 1 - 18.

MACÍAS, F. 2001. Perspectivas de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Eds: J. Boixadera y M.R. Teira. Edición de la Universitat de Lleida. Pg. 329 – 353. Lleida. 356 pp.

MACIAS Y COL. 2004. *El sumidero de carbono de los suelos de Galicia*. Edafología, vol. 11(3), pp 341-376.

MacKay, A. D., E. J. KLADIVCO, S.A. BARBER, y D.R. GRIFFITH, 1987. *Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems*. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:970-4.

MAIWALD, 1931, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

MARADIAGA, J. S. 2006. *Estudio, dinámica y caracterización del sistema ecológico del cultivo del tomate "(Lycopersicon esculentum.Mill Var Marmande Raf)", bajo plástico [Manuscrito]*. 317pp

MARAÑÉS, A.; SÁNCHEZ, J.A; DE HARO, S.; SÁNCHEZ, S. T.; DEL MORAL, F. 1998. *Análisis de suelos. Metodología e interpretación*. Servicio de publicaciones UAL. Almería. 184 pp.

MARTÍNEZ, 1995. *Los microorganismos como fuente de recursos naturales*. Recogido en: **LABRADOR, J. L. 1996.** *La materia orgánica en los agrosistemas*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.

MARTINEZ, F., X., 2002. En http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm (última consulta 07.10.10)

MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791

MAPA, 2004. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, 1986. *Métodos oficiales de análisis de aguas potables.*

MISHUSTIN, E. N. y PODÝAPOLSKAYA, O. P. 1938. *Formación de sustancias húmicas en los procesos de autólisis*, Microbiología vol. 7, Pág. 198.

MORENO, I. Y COL. 1999. *Dinámica de C y N en suelos bajo diferentes usos.* Proceed. X I V C o n g r e s o Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile.

MOTT, C. J. B. 1992. *Química superficial de las partículas del suelo.* En: *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell.* Ed. Mundi-Prensa. Pág. 251-293. Madrid. 1025pp.

MULDER, 1861-62, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

MÜLLER, 1879, 1894, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

MUSTIN, M. 1987. *Compost. Gestión de la matière organique.* Recogido en **LABRADOR, J. 1996.** *La materia orgánica en los agrosistemas.* Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.:

NAVARRO, C; Y COL.; 2008. *Plantación.* Pag 189-238. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

NAVARRO, G. 2000. *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 488 pp.

NAVARRO, P., MORAL, H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura.* Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

OADES, 1989, recogido en **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** **CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO.** *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791

ODEN, S. 1919, 1922, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

OLSON, K.R. Y COL.,, 2005. *Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois.* Soil Till. Res., 81, 217-225.

ORDÓÑEZ, R., PASTOR, M., RAMOS, F. J., GONZÁLEZ, P. Y GIRÁLDEZ, J. V. 2002. *Influencia de la aplicación continuada de restos de poda de olivo sobre las propiedades físico químicas de un suelo de olivar.* Eds. J. J. López, M. Quemada.

ORGAZ, F. Y COL 2008. *Riego*. Pag 337-362. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

PARR, J. E., STEWART, B. A., HORNICK, S. B., y SINGH R. P. 1990. *Improving the sustainability of dryland farming systems: A global perspective*. Páginas 1 – 8 en: **R. P. SINGH, J. F. PARR y B. A. STEWART**, eds. *Dryland Agricultura: Strategies for sustainability. Advances in Soil Science*. Vol. 13. Springer – Verlag. New York.

PASTOR, M; ORGAZ, F; VEGA, V; HIDALGO, J; CASTRO, J; 1998. *Programación de riego*. En: CAP ed; *Programación del Riego y de la Fertilización en Olivares de la Provincia de Jaén*. Informaciones técnicas 49/98. Servicio de publicaciones de la Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

PASTOR, M. 2008, *Sistemas de manejo del suelo*. Pag. 239 a 295. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

PICCOLO, A y MBAGWU J. S. C. 1997. *Exogenous humic substances as condiciones for the rehabilitation of degraded soils*. Agro-Food –Industry. Hi-Tech. Marzo/Abril 2-4. En: <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

POMARES, F. y CANET, R. 2001. *Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: Origen, composición y características*. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Eds: J. BOIXADERA y M.R. TEIRA. Edición de la Universitat de Lleida. Pg. 1 - 15. Lleida. 356 pp.

PORTA CASANELLAS, J. LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M. ROQUERO DE LABURU, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 929 pp.

PORTA CASANELLAS, J. LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M. ROQUERO DE LABURU, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 929 pp.

PROYECTO EQUAL-ADAPTAGRO. 2004

PUDELSKI, T. 1985. *Woodwaste compost as growing media for vegetables under protection*. Recogido en: **NAVARRO, P., MORAL, H., GÓMEZ, L. Y MATAIX, B. 1995.** *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

PUJOLA, M. 1989. *Els fangs de depuradora com adobs: Efectes sobre la fracció orgànica dels sòls*. Tesis Doctoral. Univ. Autònoma de Barcelona. Recogido en **LABRADOR, J. 1996.** *La materia orgánica en los agrosistemas*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.

RASMUSSEN, P. E., PARTON, W. J., 1994. *Long term effect of residue management in wheat – fallow: I. Inputs, yield, and soil organic matter*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 523-530.

RAPOPORT, H. F., 2008; *Botánica y morfología del olivo*. Pag 37 a 62. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL.** (eds). *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

REICOSKY, D.C. (2002), recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, **2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791

REICOSKY, D. C., KEMPER, W. D., LANGDALE, G. W., DOUGLAS JR., C. L. y RASMUSSEN, P. E. 1995. *Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production*. *J. of Soil and Water Cons.* 50: 253-261.

REYES, J. I., Y COL., 2002. *Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central*. Boletín N° 18. Sociedad chilena de la ciencia del suelo y Universidad de Talca. IX Congreso nacional de la ciencia del suelo, Talca, Chile.p. 78-81.

RHOTON, F. E. 2000. *Influence of time on soil response to no-till practices*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 700 – 709.

RIPEL, 1935, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

ROSELL, R.A., 1999. *Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos*. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile.

SALMERÓN RODRIGUEZ, E. 1994. *Características estructurales de la raíz del olivo, Olea europaea L.* Trabajo Profesional Fin de Carrera. E.T.S.I.A.M. Universidad de Cordoba.

SÁNCHEZ, J. E., Y COL. 2004. *Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality*. *Agron. J.* 96, 769-775.

SCHLESINGER, 2005. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, **2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791

SCHLOESING, 1876, 1902, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

SCHNITZER, M. 1991. *Soil organic matter, the next 75 years*. *Soil Science* vol. 151, n° 1. En: **LABRADOR, J. 1996.** *La materia orgánica en los agrosistemas*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.

SCHREINER y SHOREY, 1908, 1911, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-yau, s.a. Barcelona.

SEBILLOTTE, M. 1989. *Fertilité et Systèmes de Production*. INRA, Versailles.

- SEQUI, P.; GUIDI, G. y PETRUZELLI, G. 1972.** *Agrochimica*, 16 (3), pp. 224 – 232.
- SHMUK, 1914, 1930**, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.
- SINGER Y MUNNS 1996, Y HARAGUCHI EL AL., 2002.** Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. R.C. Suelo Nutr. Veg., 2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791
- SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A., PAUSTIAN, K., 2002.** *Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils.* Plant and Soil 241, 155-176.
- SIX, J., ELLIOTT E.T., PAUSTIAN K., 2000.** Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 2099-2103.
- SOLÉ, F., FLOTATS, X., 2004.** *Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios.* Proyecto Trama. Edición Fundación Catalana de Cooperación. Lleida. pp 87.
- SOROKINA, A.V. y TYAGNY-RYADNO, M.T. 1933.** *Problema del papel de los microorganismos en la formación del humus.* Microbiología, 2.
- SPRENGEL, 1826, 1837**, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.
- SRINGER, 1934, 1935**, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.
- STEWART, C. Y COL. 2007.** *Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation.* *Biogeochemistry*, 86, 19–31.
- STEWART, C. Y COL. 2008.** *Soil Carbon Saturation: Linking Concept and Measurable Carbon Pools.* *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 379-392.
- STEVENSON, J. L. y SNHNITZER, M. 1982.** *Transmission electron microscopy of extracted fulvic and humic acid.* *Soil Sci.* 133: 179 – 185.
- SWIFT, R. S., 2001**, recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. R.C. Suelo Nutr. Veg., 2008**, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791
- THOMSON, 1807**, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.
- TRONCOSO, A Y COL. 2008** *Fertirrigación.* Pag 363-388. Recogido en: **BARRANCO, D. Y COL. (eds).** *El cultivo del olivo* 6ª ed. Edit. Mundi-Prensa. 846 pp.

TRUSOV, A. G. *Humificación de los compuestos que forman parte de los organismos vegetales.* SELSKOYE JOS. Y LESOVODSTVO, octubre, noviembre de 1914; abril, julio, noviembre de 1915; marzo, septiembre, octubre, noviembre de 1916.

TYURIN, I. V. 1937. *Materia orgánica de los suelos y su papel en la edafogénesis y fertilidad. Concepto del humus en el suelo.* Seljosguis.

TYURIN, I. V. 1940. *Resultado de los trabajos del estudio de la composición del humus en los suelos de la URSS.* Probl. Sov. Pochoved, sb. 11.

USDA, NRCS 2006. *Claves para la Taxonomía de Suelos.* Soil Survey Staff. Virginia, U.S.A. 10ª Edición. 331 pp.

URBANO TERRÓN, P. 2001. *Tratado de fitotecnia general.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 2ª edición. 895 pp.

VARANINI, Z. y PINTON, R. 1995. *Humic substances and plant nutrition.* Progress in Botany, 56, 97-116. En:
<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>.

WAGNER Y WOLF, 1998. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

WALERIUS, 1976, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

WANDER Y COL., 2002. Recogido en: **MARTINEZ H. E., FUENTES E, J. P. y ACEVEDO H, E.** CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2008, vol.8, no.1, p.68-96. ISSN 0718-2791.

WATTS, C. W., WHALLEY, W. R., LONGDTAFF, D. J., WHITE, R. P., BROOKES, P. y WHITMORE, A. P. 2001. *Aggregation of a soil with different cropping histories following the addition of organic materials.* Soil Use Manage. 17: 263 – 268.

WEST, T., MARLAND, G., 2003. *Net carbon flux from agriculture: carbon emissions, carbon sequestration, crop yield and land-use change.* Biogeochemistry, 63, 73-83.

WILLIAMS, V. R. 1897. *Lecciones de edafología,* M.

WILLIAMS, V. R. 1902. *Importancia de la materia orgánica en el suelo.* Rech, chitannaya v godichnom sobranii Mosc. S-j. in-ta 26 sent. Otchet Mosc.

WILLIAMS, V. R. 1914. *Edafología,* 1ª edición.

WILLIAMS, V. R. 1939. *Edafología con fundamentos de agronomía,* Seljosguis.

WOLLNY, 1886, 1897, recogido en **KONONOVA, M. M. 1982.** *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Oikos-yau, s.a. Barcelona.

G.1. ENLACES DE INTERNET.

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa>. Estación meteorológica de Linares (Jaén). (última entrada: 20 de abril de 2011)

https://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri%2FAgri_2003_853_504_510.pdf (kinsela 1995). (última entrada: 30 de septiembre de 2010)

<http://www.edafologia.net/micgraf/preparac.htm>. (última entrada: 15 de julio de 2011).

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema02/intr.htm> (última entrada: 15 de mayo de 2011).

<http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=921&cultivo=1> (última entrada: 17 de enero de 2006).

<http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>. (última entrada: 15 de diciembre de 2010).

<http://www.compostadores.com/.../lombriz.jpg> (última entrada: 25 de noviembre de 2005).

<http://www.detodounpocotv.com/producciones/lombricultura.htm> (última entrada: 20 de enero de 2011).

<http://www.engormix.com/images/excretas6.jpg> (última entrada: 10 de diciembre de 2005).

<http://www.monografias.com>(última entrada: 10 de junio 2011)

<http://www.portalbesana.com>(última entrada: 10 de marzo de 2011).

<http://www.terralia.com/revista8/pagina13.htm> (última entrada: 15 febrero de 2011).

<http://www.ar.wroc.pl/~weber/kwasy2.htm> (última entrada: 15 de abril 2011)