

INCORPORACION DE RESIDUOS ASTILLOSOS AL SUELO: ANALISIS DE SU EVOLUCION Y CONSECUENCIAS SOBRE EL MEDIO EDAFICO EN LOS SUELOS DE RAÑAS DE LOS MONTES DE TOLEDO

A. BLANCO

Dpto. de Silvopascicultura. ETS Ing. de Montes. Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid (España)

RESUMEN

En este trabajo se estudia la evolución de los residuos astillosos que, procedentes de diversas operaciones forestales, son incorporados al suelo mediante la combinación de diversas técnicas. Para ello se han establecido una serie de parcelas de experimentación en las que, además, se trata de determinar el efecto que comporta en el suelo.

PALABRAS CLAVE: Residuos astillosos
Humificación
Suelo

INTRODUCCION

Ciertas operaciones forestales (aclareos, podas desbroces, etc.) generan gran cantidad de productos que, en algunos casos, dependiendo de la dimensión de las piezas obtenidas y de otros condicionantes diversos, son objeto de aprovechamiento y, por tanto, son extraídos del monte. Pero, en la mayor parte de los casos, estos productos no son aprovechables por su escasa dimensión, lo que plantea el problema de su eliminación.

En ciertos casos, los productos generados por tales operaciones se eliminan en el propio monte mediante quemas controladas; en otros, se extraen del monte y se comercializan como leñas, aún a costa de su escasa rentabilidad que no alcanza a cubrir los gastos del acarreo; en otros, por fin, se esparcen por el terreno dejando que el tiempo acabe por incorporarlos al suelo como despojos orgánicos. Pero, en este último caso, debido a la naturaleza mayoritariamente leñosa de los residuos, la descomposición suele ser muy lenta, dando lugar a que se acumule material de gran combustibilidad que aumenta considerablemente el riesgo de incendios forestales, plagas y enfermedades.

Una solución al problema anterior puede consistir en el desmenuzamiento en el monte de los residuos leñosos, mediante máquinas astilladoras, esparciendo, después, los residuos de forma homogénea por el suelo.

Recibido: 29-7-93

Aceptado para su publicación: 22-11-93

Asimismo, los residuos astillosos una vez esparcidos, pueden enterrarse mediante un laboreo superficial del terreno, con el fin de acelerar su descomposición (Russel, 1968; Kononova, 1966; Pritchett, 1986); la adición de abonos nitrogenados podría, también, contribuir a esta descomposición, si bien, suele asumirse que, por la gran inestabilidad de estos fertilizantes, sus efectos son poco perdurables sobre el terreno (Domínguez, 1983).

Se ha discutido bastante sobre la conveniencia de alguna de esas soluciones o la combinación de varias (Kögel-Knabner, 1993; Haider, 1992), dado que su coste técnico y económico también es variable, sin mencionar las consecuencias que puede tener para el suelo (Buckman, Brady, 1977; Burges, Raw, 1971; Gessel, 1986).

Para estudiar la evolución de los despojos astillosos y determinar las ventajas de cada método, se han llevado a cabo unos ensayos consistentes en el establecimiento de seis parcelas de experimentación, en las que se han aportado unos 10.000 kilos de astillas por hectárea. En dichas parcelas se combinan las acciones de enterrado o no de residuos, con la adición de diversas cantidades de urea, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Además, también se fijaron dos parcelas testigo anejas a las anteriores, en condiciones ecológicas completamente similares, sobre las que no se efectuó ningún tipo de tratamiento.

Las parcelas, de 2 ha cada una, se establecieron a principios del año 1988 en Quintos de Mora (Toledo), monte donde el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) realiza regularmente operaciones señaladas al principio de este trabajo. La zona elegida corresponde a un pinar de repoblación en estado de fustal, a base de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster* sin apenas sotobosque, asentado a 800 m de altitud sobre una raña plio-cuaternaria llana, en la que, como es habitual, abundan los fragmentos cuarcíticos redondeados englobados en una matriz más o menos arcillosa. Climáticamente, la zona está caracterizada por una precipitación media anual de 650 mm, y un régimen de temperaturas templado-frío (Austin Miller, 1957) con tres meses al año con temperatura media inferior a 6 °C; según la clasificación de Allue (1990) correspondería a un tipo Nemoromediterráneo marcescente subesclerófilo [VI (IV)₁].

Sobre las seis parcelas de experimentación se ha efectuado un seguimiento edáfico a lo largo de cinco años consecutivos, es decir, el período comprendido entre los años 1988 a 1992, ambos inclusive. Si bien, este período no ha resultado ser suficiente para estudiar la total evolución de los despojos astillosos, se ha considerado satisfactorio para analizar las tendencias principales y respuesta de los diferentes tratamientos.

TABLA 1
CONFIGURACION DE LAS PARCELAS
Design of plots

Astilla sin enterrar 500 kg/ha de urea	Astilla sin enterrar 300 kg/ha de urea
Astilla enterrada 300 kg/ha de urea	Astilla enterrada 500 kg/ha de urea
Astilla sin enterrar Sin urea	Astilla enterrada Sin urea

En las parcelas testigo sólo se ha efectuado un control puntual de las condiciones del suelo en el año 1992, con objeto de que sirvieran como referencia de dichas condiciones edáficas.

La elección de las variables de estudio no ha sido todo lo meticulosa que las exigencias del trabajo iban mostrando a lo largo del período; quizás, la limitación más importante ha sido el no disponer de datos sobre el carbono total y fraccionamiento de la materia orgánica. No obstante, las variables elegidas aportan, por sí solas, bastante luz sobre el proceso, como se apreciará más adelante.

MATERIAL Y METODOS

En cada una de las parcelas se procedió a coleccionar una muestra de tierra superficial y otra a 20 cm de profundidad (en el año 1988 sólo se tomó una muestra superficial). La toma se efectuó en el otoño de cada año.

Los análisis que se realizaron (Jackson, 1982; Ministerio de Agricultura, 1974) fueron: humedad, pH actual, pH de cambio, materia orgánica y nitrógeno; además, se estimó la relación C/N.

El análisis de la humedad se efectuó por diferencia de pesadas de una muestra, previamente estabilizada, antes y después de su desecación en estufa a 105 °C. (Este parámetro sólo sirvió como dato auxiliar para determinar el resto de los parámetros).

El pH actual se determinó en una suspensión de suelo en agua destilada en la proporción de 1:2,5; mediante pH-metro de electrodo de vidrio y calomelanos.

El pH de cambio se determinó en una suspensión suelo-disolución de ClK 1 N.

El contenido de materia orgánica humificada (M.O.) se determinó midiendo la cantidad de carbono orgánico oxidable por combustión húmeda, utilizando dicromato potásico como oxidante y sal de Mohr como reductor, y multiplicando por el coeficiente de Waksman. (El resultado se expresó en porcentaje de peso).

Para el análisis del nitrógeno se utilizó el método de Kjeldahl, mediante digestión de la muestra con H₂SO₄ más catalizadores, posterior tratamiento con NaOH, destilado por arrastre con vapor del NH₃ desprendido, y valoración con H₂SO₄ e indicadores. (El resultado se expresó en partes por millón).

A continuación, se muestra el resultado de los análisis, tanto desglosados por parcelas, como promediados para el conjunto de las mismas. Asimismo, los gráficos adjuntos ilustran sobre la evolución de dichas variables (sólo de los valores superficiales) a lo largo del período y su diferencia respecto a los valores testigo.

Año	Prof.	ASTILLAS SIN ENTERRAR 300 kg/ha urea					ASTILLAS SIN ENTERRAR 500 kg/ha urea				
		pHA	pHK	MO	N	C/N	pHA	pHK	MO	N	C/N
88	su	5,8	4,7	8,66	1.060	47,5	6,2	5,1	3,78	1.450	15,2
89	su	5,8	4,9	3,50	1.250	16,3	5,1	4,7	6,64	1.880	20,5
	20	5,7	4,8	0,99	300	19,2	5,6	4,8	0,61	750	4,7
90	su	5,8	4,8	1,41	1.820	4,5	5,8	4,8	1,86	2.020	5,4
	20	5,8	4,7	0,70	1.920	2,2	5,8	4,7	0,82	690	2,0
91	su	5,8	5,1	4,18	1.570	15,5	5,5	4,9	2,97	1.290	13,4
	20	6,3	5,5	1,91	2.840	3,9	5,2	4,4	1,35	690	11,4
92	su	6,2	5,1	4,21	800	30,6	6,0	4,7	4,83	1.130	24,9
	20	6,2	4,8	1,52	410	21,6	6,3	4,8	1,84	940	11,4

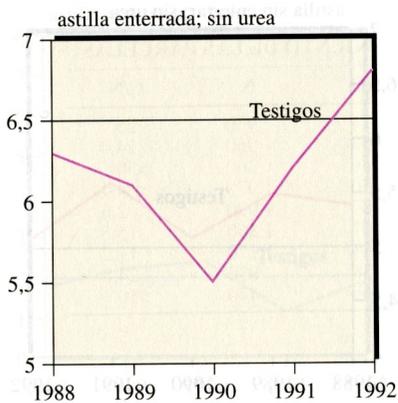
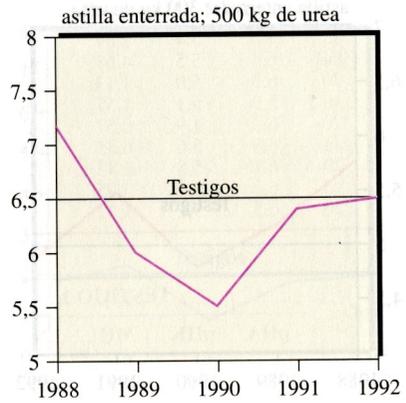
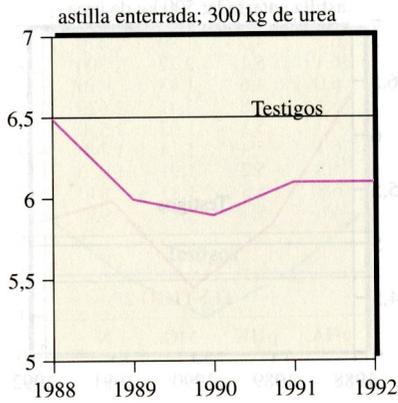
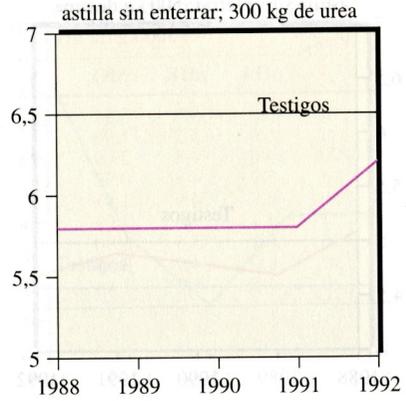
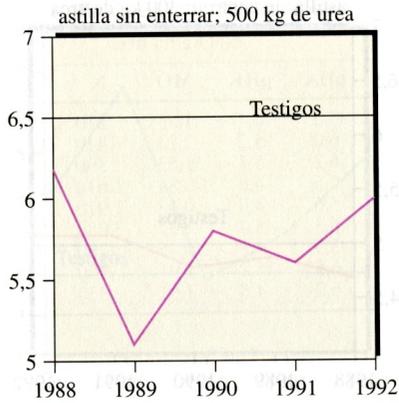
Año	Prof.	ASTILLAS ENTERRADAS 300 kg/ha urea					ASTILLAS ENTERRADAS 500 kg/ha urea				
		pHA	pHK	MO	N	C/N	pHA	pHK	MO	N	C/N
88	su	6,5	5,8	3,51	680	30,0	7,2	6,4	1,83	310	34,3
89	su	6,0	5,2	1,96	420	27,2	6,0	5,2	2,23	410	31,6
	20	5,6	4,8	2,09	500	24,3	6,2	5,5	1,53	390	22,8
90	su	5,9	4,8	0,92	2.120	2,5	5,5	4,6	0,84	1.610	3,0
	20	5,8	4,9	1,91	2.030	5,5	5,6	4,7	0,13	1.910	0,4
91	su	6,1	5,5	1,99	1.560	7,4	6,3	5,4	1,77	3.080	3,3
	20	6,1	5,5	1,90	940	11,8	5,9	4,8	1,45	780	10,8
92	su	6,0	4,9	3,55	750	27,5	6,5	5,2	1,91	340	32,7
	20	6,5	5,2	1,44	180	46,5	6,2	4,8	1,61	330	28,4

Año	Prof.	ASTILLAS SIN ENTERRAR Sin urea					ASTILLAS ENTERRADAS Sin urea				
		pHA	pHK	MO	N	C/N	pHA	pHK	MO	N	C/N
88	su	6,5	5,4	2,87	630	26,2	6,3	4,9	1,80	1.470	7,1
89	su	6,3	5,5	4,61	1.500	17,9	6,1	5,1	2,22	390	33,1
	20	6,3	5,0	1,13	190	34,6	6,0	4,6	1,43	10	>50
90	su	5,9	5,1	1,57	1.610	5,7	5,5	4,8	2,41	2.620	5,3
	20	6,0	4,9	0,57	2.020	1,6	6,3	5,1	1,07	1.510	4,1
91	su	6,0	5,6	6,35	1.900	19,4	6,1	5,4	1,14	1.740	3,8
	20	6,1	5,5	2,43	770	18,3	5,8	5,2	1,91	1.020	10,9
92	su	6,2	5,1	3,95	1.120	20,5	6,8	5,5	1,85	840	12,8
	20	6,5	5,1	1,32	20	>50	6,6	5,4	2,15	930	13,4

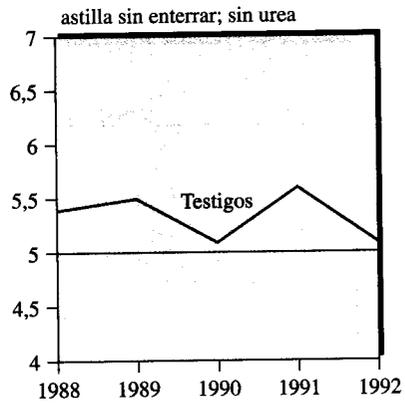
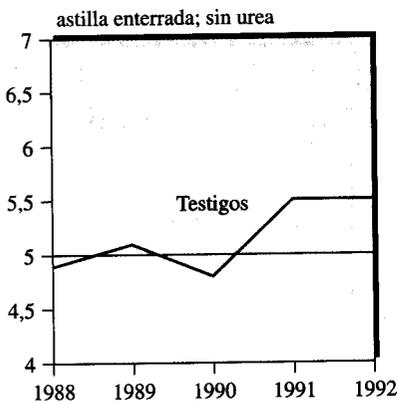
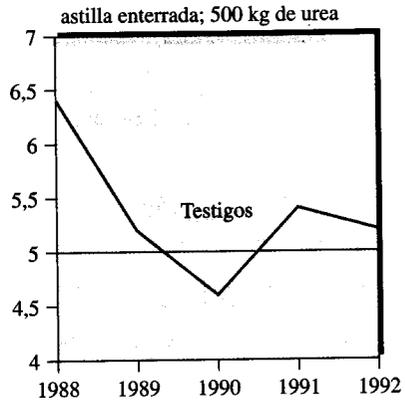
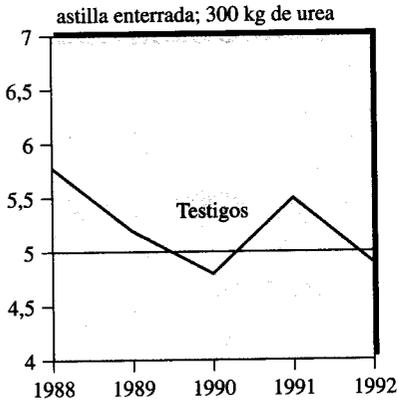
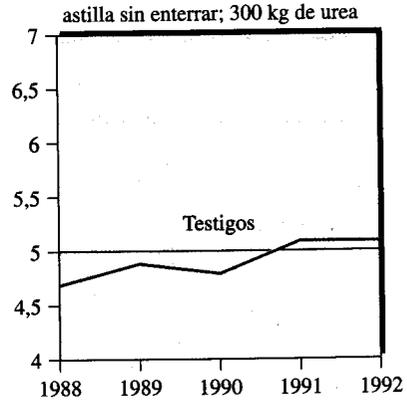
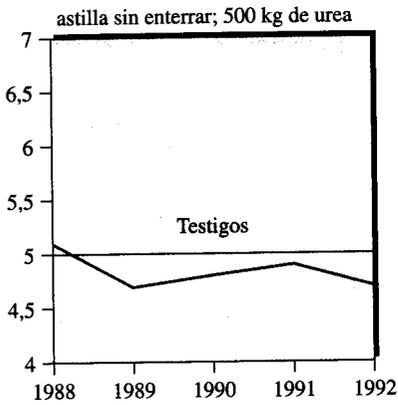
Prof.	TESTIGO 1					TESTIGO 2				
	pHA	pHK	MO	N	C/N	pHA	pHK	MO	N	C/N
su	6,6	5,1	2,14	530	23,5	6,3	4,8	1,92	520	21,5
20	5,7	4,6	2,26	600	21,9	6,1	4,4	1,22	190	37,3

Año	Prof.	VALORES MEDIOS DEL CONJUNTO DE LAS PARCELAS				
		pHA	pHK	MO	N	C/N
88	su	6,4	5,4	3,74	930	26,7
89	su	5,9	5,1	3,53	960	24,4
	20	5,9	4,9	1,30	360	>50
90	su	5,7	4,8	1,50	1.970	4,4
	20	5,9	4,8	0,87	1.970	2,6
91	su	6,0	5,3	3,07	1.860	15,5
	20	5,9	5,2	1,83	1.170	11,2
92	su	6,3	5,1	3,38	830	24,8
	20	6,4	5,0	1,65	470	>50

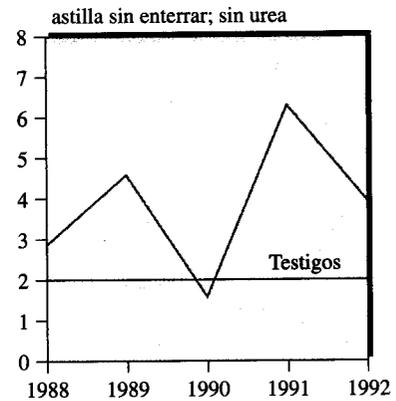
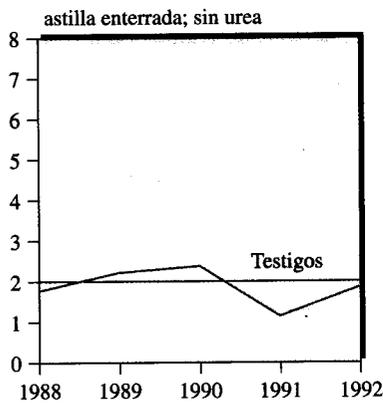
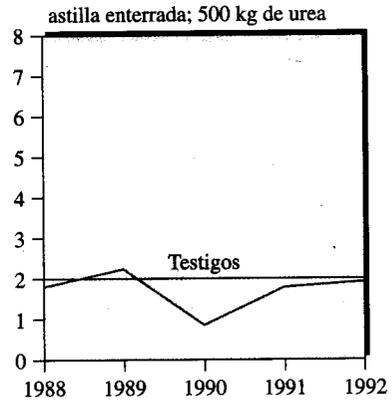
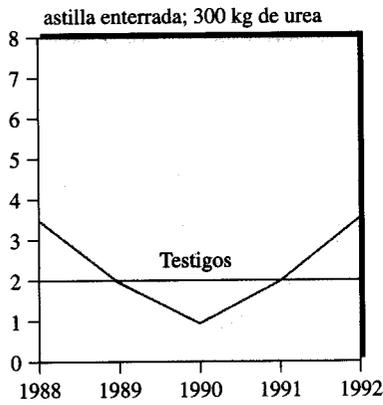
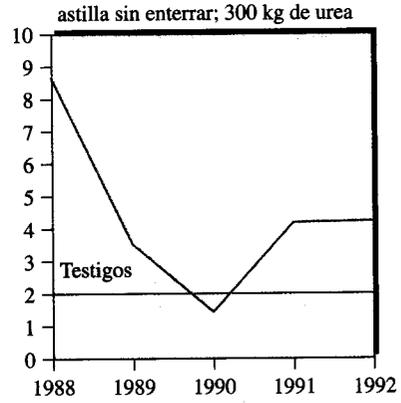
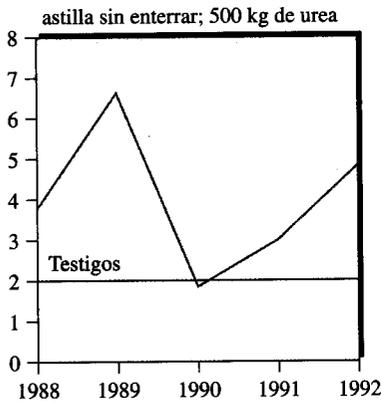
Prof.	VALORES MEDIOS DE LAS PARCELAS TESTIGO				
	pHA	pHK	MO	N	C/N
su	6,5	5,0	2,03	530	22,5
20	5,9	4,5	1,74	400	29,6



— pH
pH

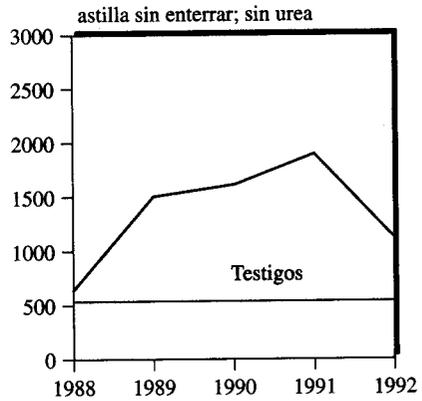
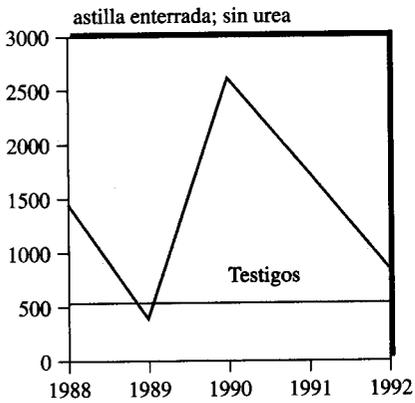
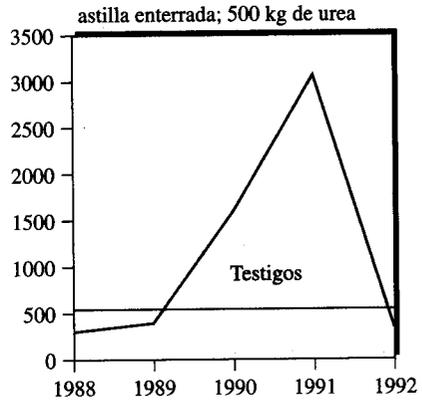
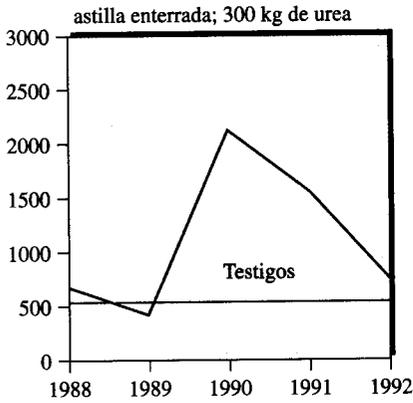
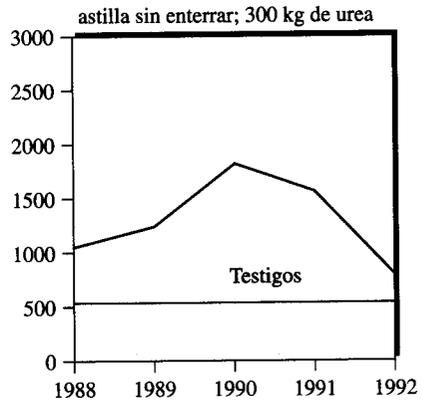
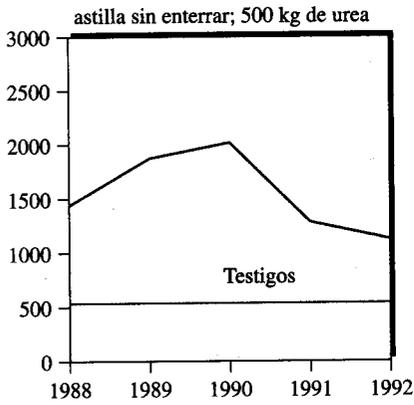


— pH CLK
pH CLK

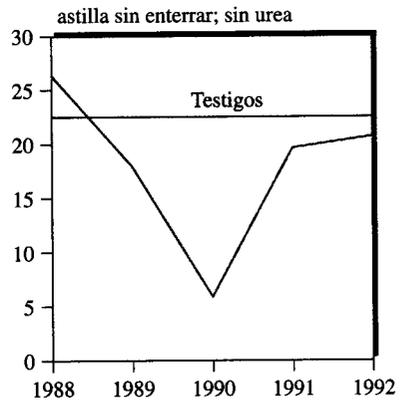
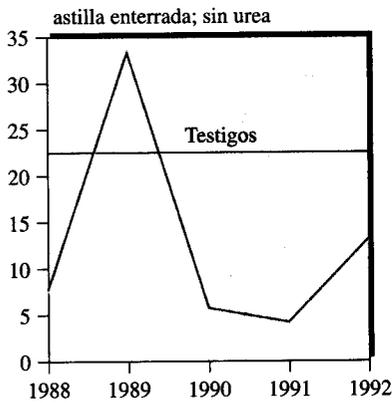
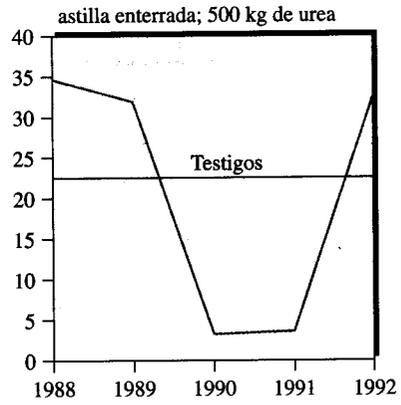
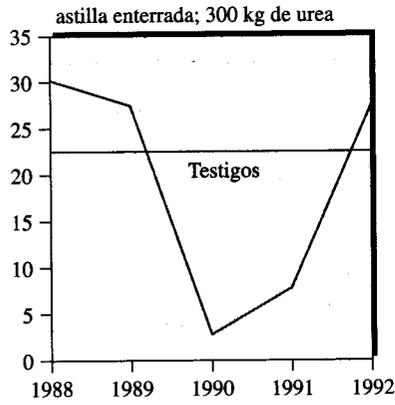
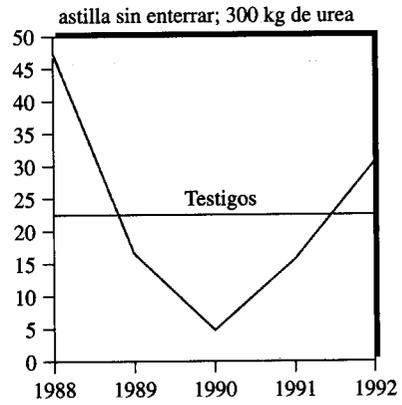
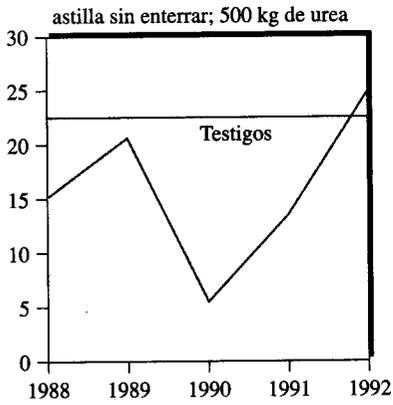


— MO (%)

MO (%)

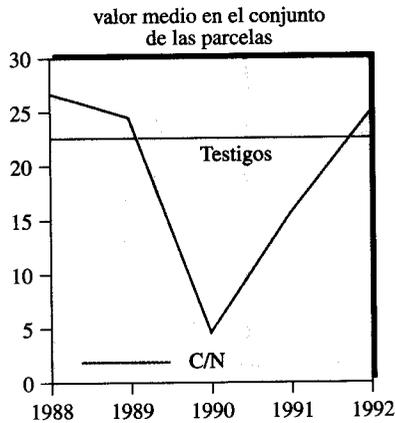
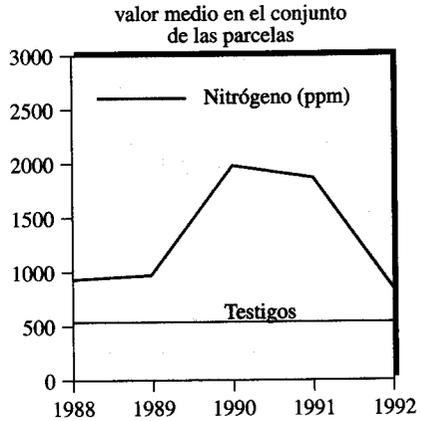
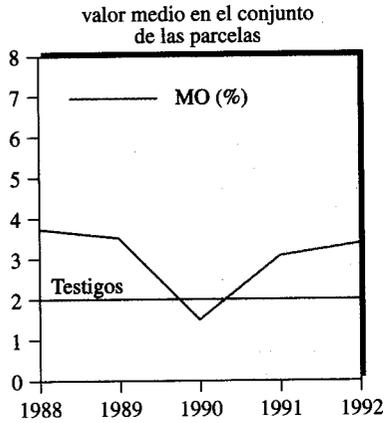
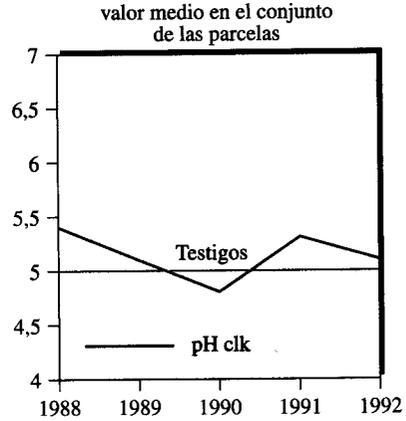
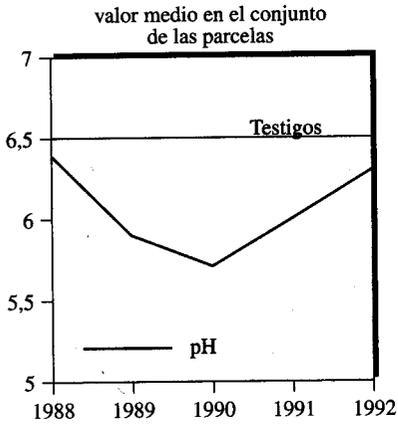


— Nitrógeno (ppm)
N (ppm)



———— C/N

C/N



Valor medio del conjunto de las parcelas
Average values of the plots

RESULTADOS Y DISCUSION

La escasez de los datos manejados (series de sólo cinco años) no permite establecer correlaciones de las variables entre sí, ni tampoco, entre las variables y el tratamiento aplicado a cada parcela, pues no serían estadísticamente significativas. Pero sí, en cambio, puede hacerse un análisis de las tendencias observadas en los parámetros estudiados.

Acidez

En primer lugar, se observa una disminución generalizada del pH en superficie (véanse los valores medios para el conjunto de las parcelas). La disminución media a lo largo del período es aproximadamente de media unidad de pH, y en el punto más bajo (año 1990) de 0,8. A partir de este punto, los valores de pH tienden a recuperarse y a aproximarse a los testigos, habiéndose equilibrado prácticamente el pH al final del período.

La variación del pH en profundidad (a 20 cm) es análoga, en líneas generales, a la de superficie, pero con diferencias menores o inapreciables.

Del examen detallado de cada parcela se desprende que el pH al comienzo del período es inferior en las parcelas en las que no se ha enterrado la astilla que en las demás, así como también se mantiene más bajo al final de dicho período; esto se aprecia especialmente en las parcelas en que se ha añadido urea.

En cambio, en las parcelas donde ha habido enterramiento de astillas, el pH al inicio y al final del período es más alto, incluso superior al de las parcelas testigo.

Parece, pues, que el enterramiento de astillas modifica menos el pH que si se dejan sin enterrar; en este caso se produce un descenso más rápido (ya desde el primer año) y una recuperación más lenta.

Acidez de cambio

El pH de cambio sufre oscilaciones por encima y por debajo de los valores testigo; sube a los pocos meses de iniciarse la experiencia, ya desde el primer año; al tercer año (1990) desciende, incluso por debajo del valor testigo; termina el período casi estabilizándose por completo, pero la variación media se mantiene ligeramente por encima del testigo durante los cinco años.

La variación en profundidad es análoga, pero, en este caso, más atenuada y manteniéndose siempre por encima de los valores testigo.

Si se aporta urea, las parcelas con astilla enterrada presentan un valor de partida del pH de cambio superior al del resto de las parcelas. En las parcelas con astilla sin enterrar, los valores de partida son mucho más similares a los del testigo y, en conjunto, las oscilaciones son menores.

Dado que el pH CIK expresa indirectamente la saturación del complejo adsorbente del suelo, debe deducirse que éste se ha enriquecido ligeramente con el aporte de los despojos orgánicos astillosos que se han mineralizado durante los cinco años que ha durado la experiencia. La diferencia observada entre las parcelas con astilla enterrada y sin enterrar podría atribuirse a que el enterramiento facilita la incorporación de los compuestos orgánicos de más fácil descomposición, sobre todo si se aporta urea.

Materia Orgánica

El valor medio de la MO humificada superficial en el conjunto de las parcelas ha aumentado claramente a lo largo del período y, al final del mismo, continúa siendo superior (1,4 p. 100 más que el valor testigo) sin que, hasta el momento, tienda a restablecerse el valor original de referencia.

No obstante, hacia la mitad del período, se aprecia una depresión con un mínimo en el tercer año (1990), donde el contenido de MO desciende por debajo del valor testigo.

En profundidad (a 20 cm), la variación es mínima y, en el quinto año, el contenido en MO es prácticamente igual al valor testigo.

En las parcelas con astilla sin enterrar, el contenido en MO se mantiene casi todo el tiempo por encima del valor testigo (aunque el mínimo registrado en el tercer año desciende ligeramente por debajo de éste). También se observan fuertes oscilaciones de unos años a otros, sobre todo en los dos primeros años de las parcelas con aporte de urea. Sin embargo, la existencia de algún valor errático (como el valor sorprendentemente alto del año 1991 en la parcela «astilla sin enterrar y sin urea») hace pensar que ha habido acumulaciones fortuitas de astillas (probablemente, como resultado de una dispersión deficiente) que devalúa las matizaciones excesivas respecto a este parámetro.

En las parcelas en que la astilla se ha enterrado, la MO sufre oscilaciones mucho menores, siempre en torno a los valores testigo, excepto en el tercer año en el que desciende bastante por debajo de éste.

De lo anterior parece deducirse que la mineralización y/o humificación de los despojos orgánicos todavía no se ha conseguido en su totalidad, aunque el contenido en humus tiende a estabilizarse por encima del valor original (testigo). Al cabo de cinco años es todavía impredecible saber cuando la MO retornará a sus valores de origen.

Por otro lado, el enterramiento parece dar lugar a menores oscilaciones de esa MO a lo largo del período, y a valores más semejantes a los del suelo original al final del mismo.

Nitrógeno

Si atendemos a los valores medios del conjunto de las parcelas, el contenido de nitrógeno superficial se mantiene prácticamente estable del primero al segundo año (aunque por encima del valor testigo), en el tercer año experimenta su mayor variación, alcanzando el valor máximo (casi el cuádruplo del valor testigo) y, al final del período, tiende a recuperar el valor original, aunque todavía se mantiene por encima del testigo.

En profundidad, sigue la misma pauta, pero de una manera todavía más patente.

En las parcelas con astilla sin enterrar, el N aumenta desde el primero al tercer año; luego decrece. En las parcelas con astilla enterrada, este elemento disminuye durante el primero y segundo año (incluso, por debajo del testigo); después aumenta drásticamente hasta valores máximos que superan a los de las otras parcelas (3.º y 4.º año); finalmente, vuelve a decrecer.

Una explicación plausible a lo anterior es que el enterramiento favorece un ataque más intenso de los microorganismos del suelo, que se traduce en un consumo inicial y suplementario de parte de la reserva de nitrógeno del suelo, hasta que los residuos astillosos liberan el propio; pero cuando esto último ocurre, el nitró-

geno disponible en el suelo aumenta considerablemente. Al cabo de cinco años, la situación, no obstante, aparece más equilibrada con enterramiento de astillas que sin él.

Relación Carbono Nitrógeno

Este parámetro sigue una tendencia parecida a los anteriores: parte de un valor algo superior al testigo, para bajar en picado al tercer año (momento de máxima mineralización), se recupera invirtiendo su tendencia, y finaliza el período con un valor (24,8) que vuelve a superar ligeramente al testigo. Este valor corresponde a un humus tipo *moder* bastante estable con las condiciones ecológicas de la estación, tal y como muestra el testigo (también, tipo *moder*).

En las parcelas con astilla enterrada, los valores mínimos de la relación C/N se alcanzan tanto en el año 1990 como 1991. Así pues, el momento de máxima mineralización parece ser, en este caso, más duradero.

CONCLUSIONES

De lo anterior pueden desprenderse varias conclusiones generales:

- La evolución y correcta humificación de los despojos forestales astillados, con un alto contenido en lignina y celulosa, exige, en las condiciones ecológicas de la estación elegida, un período de seguimiento más prolongado que los cinco años aquí estudiados, si bien, podemos agregar que la mayor parte de la demolición orgánica ya se ha conseguido, y que los componentes difícilmente mineralizables que aún subsisten no van a originar modificaciones importantes en el medio edáfico, a excepción de un ligero aumento del contenido húmico superficial.
- La tendencia global en todas las parcelas, independientemente del tratamiento recibido, es de una respuesta, por parte del medio edáfico, débil al principio (1.º y 2.º año) de dicho tratamiento. Sigue una fase álgida, donde la modificación del medio edáfico y la demolición de los residuos se acelera al máximo, correspondiendo con el 3.º año. En este punto la cantidad de MO baja al mínimo y la cantidad de nitrógeno es máxima (lo que se interpreta como el momento de más activa mineralización por la acción de los microorganismos). En este momento crítico se alcanzan, también, los valores mínimos de pH (cuya causa hay que buscarla en las cantidades masivas de anhídrido carbónico que se produce en el proceso de descomposición, y en la pobreza mineral de los residuos leñosos). En el 4.º y 5.º año, todos los parámetros anteriores corrigen su tendencia de uno u otro signo, buscando una estabilidad paulatina que parece ya cercana.
- Las consecuencias, por tanto, de incorporar los residuos astillosos al suelo de las maneras aquí expuestas comportan modificaciones sensibles en el medio edáfico, pero de muy corta duración (un año o, a lo sumo, dos). Ninguno de los parámetros analizados sufre modificaciones de consideración al cabo de los cinco años transcurridos, si se exceptúa el ligero aumento del contenido en MO superficial antes aludido.

Como conclusiones particulares en las parcelas establecidas, puede deducirse lo siguiente:

- El hecho de que los despojos orgánicos se entierren o no, es mucho más determinante para su evolución (y para el suelo, en definitiva) que la opción de añadir urea al principio de las operaciones.
- El aporte suplementario de urea amortigua algo la oscilación del pH en los dos primeros años. También parece favorecer ligeramente la humificación al principio, pero su efecto es fugaz, como era previsible, por el gran riesgo de lavado que presenta este fertilizante antes de su hidrólisis y la volatilización parcial del amoníaco liberado. Ni siquiera el contenido de nitrógeno del primer año arroja cifras superiores en las parcelas tratadas con urea que en las no tratadas.
- El enterramiento de los residuos astillosos parece ser más favorable para su evolución y para el suelo, aunque las diferencias observadas no han sido notables: se produce un menor descenso y oscilaciones del pH; asimismo, el proceso de humificación sufre menos altibajos, si bien la cantidad de MO humificada al final del período resulta menor enterrándose los residuos que si no se entierran, dado que la tasa de mineralización aumenta, además de mantenerse más constante hacia la mitad de dicho período (como lo demuestra la caída de la relación C/N para los años 3.º y 4.º).

AGRADECIMIENTOS

Estos ensayos se deben a una iniciativa de Francisco Rojo, ya fallecido, y de José Manuel Gandullo, a quien corresponde el diseño de las parcelas de experimentación. Posteriormente, José Manuel Sebastián dirigió el establecimiento de las parcelas, poniendo a nuestra disposición los medios materiales y humanos necesarios para su seguimiento. A todos ellos quiero expresar mi sincero agradecimiento, que hago extensivo, también, al personal de laboratorio que llevé a cabo el análisis de tierras.

SUMMARY

Incorporation of forest residues on the soil: evolution and consequences in soils formed on *rañas* of Montes de Toledo (Spain)

In this paper the evolution of the splinters generated and incorporated to the soil as a result of several forest cultural operations are studied. To reach this goal several testing plots has been set and the effects on the soil environment has been analyzed.

KEY WORDS: Splintery residues
Humification
Soil

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLUE J. L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA. Colección Monografías, INIA, n.º 69. Madrid.
- AUSTIN MILLER A., 1957. Climatología. Ed. Omega. Barcelona.
- BUCKMAN H., BRADY N., 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simón, S.A. San Sebastián.

- BURGES A., RAW F., 1971. *Biología del suelo*. Ed. Omega. Barcelona.
- DOMINGUEZ A., 1984. *Tratado de fertilización*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- GESSEL S. P., 1986. *Forest site and productivity*. Mart. Nijhoff Publ. Dordrech, Netherlands.
- HAIDER K., 1992. *Problems Related to the Humification Processes in Soils of Temperate Climates*.
En G. Stotzky and J. Bollag (edit.). *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- JACKSON M. L., 1982. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega. Barcelona.
- KÖGEL-KNABNER I., 1993. *Biodegradation and Humification Processes in Forest Soils*. En J. Bollag, G. Stotzky (edit.). *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- KONONOVA M. M., 1966. *Soil Organic Matter*. Pergamon Press. London.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974. *Métodos oficiales de análisis*. Suelos y aguas. Secretaría General Técnica. Madrid.
- PRITCHETT W. L., 1986. *Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento*. Ed. Limusa. México.
- RUSSELL E. W., 1968. *Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas*. Aguilar, S.A. de Ediciones. Madrid.