

Cenizas de calderas dendroenergéticas. II Residuo industrial utilizable como mejorador de la fertilidad de suelos*

Ashes of wood-burning ovens. II Industrial residue useful
as an amendmer for improving soil fertility

C.D.O.: 114.2, 114.234

RENATO GREZ, VICTOR GERDING y FRANCISCO UNION

Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The chemical composition of ash from six wood-burning ovens is characterized. It was found that ash from wood waste of native species and from *Eucalyptus globulus* have higher levels of Ca, K, Mg, and P soluble in 3% hydrochloric acid compared to ashes from *Pinus radiata*. Given the potential for increased use of *P. radiata* wastewood as fuel, *P. radiata* ash was chosen to study the effects upon soil fertility of adding ash to soil. Three soil types from southern Chile were chosen: a volcanic ash soil ("trumao"), a red clay soil, and a brown metamorphic soil. Ash was added in proportions of 0.5%, 1.0%, and 2.0% by dry weight for each. After a period of 41 days, the content of nutrient elements was determined using extracts of distilled water, 0.1 N ammonium chloride, 1% citric acid, or 3% hydrochloric acid. 321 mm of rain fell during this 41-day period. Results verify a 2-fold to 10-fold or more increase of nutritive elements in the soils resulting from ash amendment, compared to levels for extracts from original unamended soils.

RESUMEN

Se caracterizó la composición química de seis cenizas de calderas dendroenergéticas. Se encontró que las cenizas provenientes de desechos vegetales de especies nativas y de *Eucalyptus globulus* poseen niveles superiores de los elementos Ca, K, Mg y P solubles en ácido clorhídrico 3% que aquellas provenientes de la combustión de *Pinus radiata*. Dada la relevancia de la participación de desechos de *P. radiata* como material potencialmente utilizable para la producción de dendroenergía, se seleccionó una ceniza de esta especie para adicionar a tres tipos de suelos de la zona sur de Chile: un trumao, un rojo arcilloso y un pardo metamórfico, en proporciones de 0.5%, 1.0% y 2.0% p/p en cada caso. Transcurrido un plazo de 41 días de efectuada la mezcla y durante el cual las muestras estuvieron expuestas a la intemperie, recibiendo 321 mm de lluvia, se procedió a determinar el contenido de elementos nutritivos en los suelos utilizando extractos de agua destilada, cloruro de amonio 0.1 N, ácido cítrico al 1% y ácido clorhídrico al 3%. Los resultados permitieron verificar un incremento de elementos nutritivos en los suelos, producido por la adición de ceniza, que supera entre 2 y más de 10 veces, aproximadamente, los niveles del suelo original en dichos extractos.

INTRODUCCION

La composición química de las cenizas de calderas dendroenergéticas se caracteriza por estar constituida por aquellos elementos presentes en los tejidos vegetales, los cuales después del proceso de combustión quedan como residuos minerales en

forma de óxido o de sales. Al reaccionar estos compuestos con agua sufren una hidrólisis alcalina liberando iones OH. De esta manera, al mezclar ceniza con suelo, dicha hidrólisis induce un aumento del pH del suelo en forma proporcional a las dosis agregadas, pudiendo servir como enmienda alcalina en suelos ácidos (Grez, Gerding, Unión, 1992).

* Proyecto 89/0199 financiado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONDECYT).

Dadas las características de la reacción de hidrólisis, además de OH⁻ se producen simultáneamente cantidades variables de iones correspondientes a los elementos potasio, calcio, magnesio, fósforo, hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, entre otros, los cuales por su relevancia en la nutrición vegetal pasan a tener un significado importante para la fertilidad del suelo.

Este aspecto, junto a la creciente utilización de la dendroenergía y a la consiguiente producción de cenizas, ha promovido la realización del presente estudio con el propósito de buscar una alternativa económica para mejorar el suministro de elementos nutritivos al suelo y a su vez contribuir a la solución de un problema de acumulación de un residuo industrial.

MATERIAL Y METODO

Para determinar el efecto de la adición de cenizas de origen vegetal sobre el nivel de elementos nutritivos de los suelos se recurrió a mezclar distintas dosis de una ceniza tipo con diferentes suelos. Estas mezclas fueron caracterizadas mediante el contenido de elementos nutritivos extraídos por soluciones con diferente grado de agresividad.

CARACTERIZACION Y SELECCION DE LA CENIZA

Se recolectaron seis tipos de cenizas de diferente origen en cuanto al material vegetal utilizado como combustible (Grez, Gerding, Unión, 1992). Estas cenizas fueron tamizadas bajo 2 mm, homogenizadas y sometidas a un análisis químico. Para ello, 1g de ceniza se hizo reaccionar con 100 ml de agua destilada y con 100 ml de solución de ácido clorhídrico al 3% cada vez, determinándose en dichos extractos la concentración de fósforo (colorimetría método vanadato-molibdato (Schlichting, Blume, 1966)), potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, 1982) y boro por colorimetría, método de azometina-H (Gaines, Mitchell, 1979). Complementariamente se midió el pH en el extracto de agua destilada. A objeto de verificar que las cenizas carecían de nitrógeno, se analizó el contenido total de este elemento por el método de Kjeldahl (Schlichting, Blume, 1966). Sobre la base de tales

resultados se seleccionó una ceniza representativa para ser utilizada en el ensayo de fertilidad de suelo.

SELECCION DE SUELOS

Se seleccionó material correspondiente a horizonte A (0-20 cm aprox.) de tres tipos de suelos representativos de la zona sur del país: trumao y rojo arcilloso, derivados de materiales piroclásticos, de las series Valdivia y Metrenco, respectivamente; y pardo metamórfico, derivado de rocas micaesquísticas, de la asociación Tres Cruces (Grez, Gerding, Unión, 1992).

MEZCLAS SUELO-CENIZA

Disponiendo de los resultados de Grez, Gerding y Unión (1992), que muestran la variación del pH del suelo inducida por la adición de diferentes dosis de cenizas, se procedió a mezclar cada suelo con la ceniza seleccionada en proporciones de 0.5%, 1.0% y 2.0% p/p, de tal manera de disponer de un rango aproximado de pH entre 5.0 y 7.0, considerando los suelos en su estado original y las mezclas señaladas.

Cada mezcla fue homogenizada y distribuida en cuatro maceteros o repeticiones, manteniendo como testigo otros cuatro maceteros de cada suelo original. Los maceteros contenían aproximadamente 4 kg de sustrato y fueron dejados a la intemperie durante el desarrollo del estudio.

CARACTERIZACION DEL NIVEL DE ELEMENTOS NUTRITIVOS

Suelos: se efectuó una caracterización básica de los suelos al inicio del ensayo, determinándose electrométicamente su pH en agua destilada y en cloruro de potasio 0.1 N, en proporción suelo: solución de 1:2.5; el contenido de carbono total por digestión húmeda con ácido sulfúrico y dicromato de potasio y determinación colorimétrica (Riehm, Ulrich, 1954) y el contenido de nitrógeno total por digestión con ácido sulfúrico según el método de Kjeldahl (Schlichting, Blume, 1966).

Mezclas suelo-ceniza: tanto de los cuatro maceteros testigos como de los cuatro maceteros preparados para cada tratamiento, transcurridos 41 días desde efectuada la mezcla, se obtuvieron

submuestras por cada dos maceteros homólogos, recolectando material de los 10 cm superiores. Estas muestras fueron secadas al aire y tamizadas bajo 2 mm, para luego ser sometidas a extracción con agua destilada, con solución de cloruro de amonio 0.1 N, con solución de ácido cítrico al 1% y con solución de ácido clorhídrico al 3%, de acuerdo con los procedimientos detallados en el cuadro 1. En estos extractos se determinó fósforo, excepto en el extracto de cloruro de amonio 0.1 N, en que no fue determinado, y potasio, calcio y magnesio por los mismos métodos antes citados. Para estos elementos nutritivos, de cada uno de los extractos, se determinó la influencia de los factores tipo de suelo y dosis de ceniza a través de análisis de varianza de dos factores (Sokal, Rohlf, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSION

CARACTERIZACION Y SELECCION DE LA CENIZA

Las cenizas de calderas dendroenergéticas contienen proporciones importantes de elementos nutritivos factibles de ser aportados al suelo, principalmente de calcio, magnesio, potasio y fósforo (cuadro 2). Al comparar los niveles extraídos con agua y HCl se verifica que la extracción con ácido es más eficiente y permite inferir los contenidos de reserva de elementos nutritivos que presentan las cenizas. Sólo el elemento K en la muestra Collico alcanza niveles similares con ambas extracciones, debido, probablemente, a una saturación de la ca-

pacidad disolutiva del HCl o bien a que dicho elemento se solubilizó completamente en agua.

Comparando los resultados del extracto ácido clorhídrico 3% se puede observar que los mayores niveles de elementos se presentan en las cenizas INFODEMA, EMASIL y Collico, correspondientes a leña y desechos de maderas nativas y/o de *E. globulus*. Los niveles algo menores están asociados a cenizas cuyo origen es principalmente madera y corteza de *P. radiata*.

En consideración a dichos antecedentes, y, fundamentalmente, dada la creciente participación como combustible de los residuos provenientes de la industrialización de *P. radiata*, se decidió seleccionar para el ensayo de fertilización la ceniza CEFOR.

CARACTERIZACION DE LOS SUELOS

Comparativamente, el suelo rojo arcilloso se caracteriza por niveles inferiores de pH, de contenido de materia orgánica y de nitrógeno total. El suelo trumao presenta las tendencias contrarias a las señaladas anteriormente, situándose el suelo pardo metamórfico en un rango intermedio (cuadro 3).

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS SUELO-CENIZA

Transcurridos 41 días, en que las mezclas estuvieron expuestas a la intemperie y con ello sometidas

CUADRO 1

Análisis químico de caracterización de suelos y mezclas suelo-ceniza
Chemical analysis for characterization of soils and soil-ash mixtures

Análisis	Procedimiento (determinaciones)
Extracto en agua destilada	15 g muestra + 100 ml agua destilada; 2 h agitación, 18 h reposo, 1 h agitación filtración (pH, P, K, Ca y Mg)
Extracto en cloruro de amonio 0.1 N	15 g muestra + 100 ml solución NH ₄ Cl 0.1 N 2 h agitación, 18 h reposo, 1 h agitación filtración (K, Ca y Mg)
Extracto en ácido cítrico 1%	15 g muestra + 100 ml solución de ácido cítrico 1%; 2 h agitación, 18 h reposo, 1 h agitación; filtración (P, K, Ca y Mg)
Extracto en ácido clorhídrico 3%	2.5 g muestra + 50 ml solución de ácido clorhídrico 3%; 3 h calentamiento en baño maría a 80°C con agitación intermitente; filtración y aforo a 250 ml (P, K, Ca y Mg)

CUADRO 2

Elementos nutritivos en cenizas de calderas dendroenergéticas. Niveles en extractos de agua destilada y ácido clorhídrico 3% (mg/100 g ceniza seca a 105°C)

Nutritive elements in ashes of wood-burning ovens. Levels in extract of distilled water and 3% hydrochloric acid (mg/100 g ash dried at 105°C)

Ceniza	PH Agua	N total (%)	P <	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B >
Infodema	12.1	0.05	7	3 981	80	27	0	0	0	0.0	2.9
Cefor	11.3	0.01	16	1 053	201	0	0	0	0	0.2	5.3
Emasil	11.0	0.02	42	3 609	78	70	0	0	0	0.2	0.8
Collico	12.9	0.01	0	10 674	36	0	11	0	0	0.1	2.5
Masisa A	12.3	0.03	1	5 751	10	0	8	0	0	0.0	5.4
Masisa B	10.2	0.04	3	209	328	98	20	0	0	0.0	3.8

			<	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B >
Infodema	-	-	2 332	6 478	16 773	3 904	3 975	472	11	27	48
Cefor	-	-	854	6 152	5 801	1 391	4 260	363	23	18	16
Emasil	-	-	2 326	5 214	20 681	3 125	4 824	371	23	20	32
Collico	-	-	1 789	10 606	21 453	3 861	2 197	597	13	22	26
Masisa A	-	-	780	7 427	7 314	1 778	4 108	313	14	19	35
Masisa B	-	-	390	785	3 957	1 220	4 114	167	4	14	29

CUADRO 3

Caracterización química básica de los suelos en estudio

Basic chemical characterization of unamended soils

Suelo	< Agua	pH	> KCl	N total (%)	C total (%)	C/N
Pardo metamòrfico	5.4	4.6	0.68	6.4	9.4	
Trumao	5.4	4.7	0.94	7.6	8.1	

a una pluviosidad de 321 mm, se observa que para los distintos suelos las dosis de cenizas aplicadas contribuyen efectivamente a aumentar el nivel de elementos nutritivos comparado con las muestras testigo (cuadro 4). Tal efecto, aun cuando es obvio, se puede apreciar en la fracción soluble o extracto en agua destilada, en la fracción de intercambio o extracto en cloruro de amonio 0.1 N, en la fracción de disponibilidad o extracto en ácido cítrico al 1% y en la fracción de reserva o extracto ácido clorhídrico al 3%. Es decir, recurriendo a los métodos extractivos se puede observar la existencia de incrementos sustanciales en el nivel de elementos nutritivos que fluctúan entre dos y más de 10 veces el nivel de referencia o testigo correspondiente, dependiendo del elemento, de la dosis de ceniza y del tipo de extracto utilizado.

Los análisis de varianza mostraron que casi todas las variables estuvieron significativamente influidas por ambos factores ($P \leq 0.01$). Es decir, el nivel de un elemento nutritivo extraído por cualquiera de los métodos químicos está afectado tanto por el tipo de suelo como por la dosis de ceniza.

Excepciones a esto lo constituyen los siguientes casos, en que el factor tipo de suelo no fue significativo ($P > 0.05$): calcio en agua destilada, por la variación que mostró el suelo rojo arcilloso; magnesio en agua destilada, debido a la respuesta que se obtuvo en el suelo trumao; y potasio en ácido cítrico al 1%, por los valores muy cercanos que presentaron los tres suelos, especialmente con las respectivas dosis de ceniza de 0%, 0.5% y 1%. El factor dosis de ceniza, por otra parte, no mostró

CUADRO 4

Contenidos de fósforo, potasio, calcio y magnesio en mezclas suelo-ceniza, según distintos extractos (promedios de dos repeticiones) (mg/100 g suelo seco a 105°C)

Content of phosphorous, potassium, calcium and magnesium in soil-ash mixtures for various extracts (average of 2 repetitions, mg/100 g soil dried at 105°C)

Suelo	Ceniza (%)	Agua destilada				NH ₄ Cl 0.1 N			Acido citrico 1%				HCl 3%			
		P	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
Rojo arcilloso	0.0	0.6	2.1	2.4	0.5	15	44	10	0.7	9	44	9	12	32	nd *	81
	0.5	0.4	2.3	1.8	0.8	19	54	13	1.2	22	68	15	12	51	nd	81
	1.0	1.0	2.8	2.4	1.0	24	64	16	2.5	35	95	26	18	69	nd	93
	2.0	0.7	4.3	3.7	1.6	29	71	21	4.5	66	127	34	21	117	nd	105
Pardo meta-mórfico	0.0	0.1	1.0	1.0	0.9	10	27	15	1.4	9	22	17	2.7	22	nd	110
	0.5	0.3	1.5	1.1	1.0	16	40	23	1.9	24	55	24	2.6	46	nd	115
	1.0	0.3	2.0	1.8	1.3	19	46	24	3.3	33	77	26	5.6	64	nd	121
	2.0	0.2	2.7	3.2	1.7	25	50	21	6.1	50	120	35	8.9	96	nd	126
Trumao	0.0	0.1	0.5	1.1	0.0	4	16	3	2.6	5	13	3	28	9	nd	67
	0.5	0.1	1.2	1.4	0.1	9	31	7	3.0	17	46	10	33	33	nd	81
	1.0	0.1	2.7	2.8	1.4	14	46	12	4.4	32	73	19	20	47	nd	90
	2.0	0.1	2.8	4.0	1.6	18	53	15	4.8	54	100	28	35	79	nd	105

* no determinado.

efecto significativo en los siguientes dos casos: fósforo en agua destilada, en que la respuesta del trumao fue independiente de la dosis de ceniza y el suelo rojo arcilloso mostró una variación sin tendencia claramente asociada a la cantidad de ceniza aplicada; y fósforo en ácido clorhídrico al 3%, debido a una respuesta errática del suelo trumao.

En términos generales, estos análisis de varianza señalan que los niveles de todos los elementos nutritivos extraídos con cloruro de amonio 0.1 N, fósforo y magnesio en ácido clorhídrico al 3% y fósforo en agua destilada presentaron una variación de mayor significancia debido al tipo de suelo que a la dosis ceniza. Lo contrario ocurrió con los elementos del extracto ácido cítrico al 1%, potasio y calcio en ácido clorhídrico al 3% y potasio, calcio y magnesio en agua destilada.

Las dependencias antes referidas y el incremento neto del nivel de elementos nutritivos logrado por la adición de cenizas de caldera dendroenergética a diferentes suelos permite inferir su utilización potencial como mejoradora de la fertilidad de éstos. Si a ello se agrega el efecto inducido sobre el pH, es decir, su aplicación como enmienda alcalina sugerida por Grez, Gerding y

Unión (1992), se dispone de un producto de interesantes expectativas para el uso en la producción vegetal.

Sin embargo, es necesario destacar que la adición de este residuo al suelo es recomendable sólo en dosis que permitan alcanzar un pH adecuado para un determinado cultivo. Además, debe tenerse presente que en la mayoría de los casos los niveles disponibles de elementos aumentan en tasas decrecientes respecto de las dosis de cenizas aplicadas (cuadro 4). Es decir, existen reacciones que provocan una retención parcial de los elementos adicionados.

BIBLIOGRAFIA

- GAINES, T.P. y G.A. MICHELL 1979. "Boron determination in plant tissues by the azomethine H method", *Soil Sci. Plant. Anal.* 10: 1099-1108.
- GREZ, R., V. GERDING y F. UNION. 1992. "Cenizas de calderas dendroenergéticas. I Acción como enmienda alcalina en suelos ácidos de la zona sur de Chile", *Bosque* 13(2): 33-38.
- IREN-CORFO-UACH. 1978. *Suelos provincia de Valdivia*. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Santiago, 178 pp.
- NAYLOR, L.M. y E.J. SCHMIDT. 1986. "Agricultural use of a woodash as a fertilizer and liming material", *TAPPI Journal*: 114-119.

PERKIN ELMER. 1982. *Analytical methods for the atomic absorption spectrophotometry*. Perkin Elmer.

RIEHM, V.H. y B. ULRICH. 1954. "Quantitative Kolorimetrische Bestimmung der organischen Substanz im Boden", *Landw. Forsch.* 6: 173-176.

SCHLICHTUNG, E. y H. BLUME. 1966. *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey. Hamburgo y Berlín.

SOKAL, R. y J. ROHLF. 1979. *Biometria: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume, Madrid, 830 pp.