

# EFFECTOS DE LA ADICION DE RESIDUOS SOLIDOS DE ALTO IMPACTO EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES Y METALES PESADOS EN SUELOS FORESTALES.

Hugo Olivares T., Gilda V. Borie B., Pedro Peirano V., S. María Aguilera S.  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. Olivos  
1007. Casilla 233 Santiago, Chile. e-mail: [gborie@ciq.uchile.cl](mailto:gborie@ciq.uchile.cl)

## RESUMEN

En el proyecto FONDEF D0111034 "Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plantaciones forestales", se está estudiando una salida viable y benéfica a este lodo aplicándolo en bosques en 3 Regiones del país. El estudio tiene por objeto el conocer los aportes del lodo a los suelos, tanto en elementos nutrientes como eventuales contaminantes. Se hizo una prospección de los contenidos basales de cationes en los suelos forestales donde se aplicarán los productos a evaluar y actualmente se están determinando los cambios producidos, en los mismos parámetros, al año de aplicación de lodos sanitarios. Se presentan algunos datos de muestras de suelo de: de la VII Región y 9 parcelas de la V Región. Las muestras corresponden a perfiles 0-30 cm, y cada una de ellas está compuesta por 3 submuestras representativas. Se determinó: pH, C, N y P y los cationes: Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, Fe, Ca, Mg y K. Los suelos de la V Región presentaron un pH promedio de 6,3; contenidos de carbono entre 1,1% a 1,5%, nitrógeno entre 0,14% a 0,18% y P 320 a 400 mg/kg. Los de la VII Región: pH promedio 5,6; contenidos de carbono entre 1,9 a 6,6%; nitrógeno entre 0,1 a 0,4% y P entre 584 y 2405 mg/kg. Estos niveles de carbono, N y P, son contenidos totales, por lo tanto es muy adecuada una adición de N y P para el mejor desarrollo vegetal en las 2 regiones. En cuanto al contenido de materia orgánica o carbón hay carencias importantes especialmente en la V Región. Se concluye que el suelo contiene elementos nutrientes, que la materia orgánica de los lodos, podría ayudar a movilizar. En cuanto a los elementos contaminantes, se determinó que estos suelos no tienen niveles fuera de lo normal, lo que era esperable por ser suelos alejados de zonas industriales, por tanto susceptibles a la aplicación de biosólidos. Los resultados que se muestran para los suelos, después de un año de aplicación de lodos, no presentan cambios significativos con respecto a sus niveles basales.

## **INTRODUCCION**

En Chile se han puesto en marcha las primeras plantas de tratamiento de aguas servidas y están generando toneladas de lodos cuyo destino son los vertederos autorizados. Sin embargo, el lodo es un producto que contiene altas concentraciones de Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo, elementos que podrían ser un gran aporte energético y nutriente para las plantas.

En el proyecto FONDEF "Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plantaciones forestales", se está estudiando una salida viable y benéfica a este lodo aplicándolo en bosques, lo que para una primera etapa, tiene mas aceptación social que el uso agrícola y tiene menores riesgos ya que se salta la cadena trófica.

El estudio tiene por objeto el conocer los aportes del lodo a los suelos, tanto en elementos nutrientes como eventuales contaminantes. En este contexto, es necesario hacer una prospección de los contenidos basales de cationes en los suelos forestales donde se aplicarán los productos a evaluar. Para posteriormente, determinar los cambios que se producen por la aplicación de lodos sanitarios.

## **MATERIALES Y METODOS**

Se evaluaron muestras de suelo de:

- 24 parcelas de la VII Región, predio San Pedro.
- 24 de la VI Región, predio Tanume.
- 9 parcelas de la V Región, Predio Jaururo.

Las muestras corresponden a perfiles de 0-30 cm para la primera etapa (antes de la aplicación de lodos sanitarios) y para la segunda etapa (correspondiente a un año después de aplicación de lodos sanitarios) se tomaron muestras de los perfiles 0-10 y 10-20 cm.

Los resultados corresponden al promedio de 2 muestras.

En la evaluación de elementos nutrientes o contaminantes se determino:

- pH,

- Análisis elemental ( C,N,) con un equipo Vario-El
- Cationes (Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, Fe, Ca y Mg) por espectrofotometría de absorción y K por fotometría de emisión, previa destrucción de materia orgánica en horno micro onda usando  $H_2O_2-HNO_3$ .
- Fósforo por el método de Dick y Tabatabai.

## RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la primera etapa tanto para las propiedades generales de los suelos como para los cationes totales en los predios San Pedro y Jaururo.

Los suelos de la V Región (Tabla 2) tienen un pH promedio de 6,3; contenidos de carbono entre 1,1% a 1,5%, nitrógeno entre 0,14% a 0,18% y P 320 a 400 mg/kg.

Los de la VII Región (Tabla 1): pH promedio 5,6; contenidos de carbono entre 1,9 a 6,6%; nitrógeno entre 0,1 a 0,4% y P entre 584 y 2405 mg/kg.

Estos niveles de carbono, N y P, son contenidos totales en los suelos, por lo tanto es muy adecuada una adición de lodos, con su importante aporte en N y P, para el mejor desarrollo de la biomasa vegetal en las 3 regiones.

En cuanto al contenido de materia orgánica o carbón hay carencias importantes especialmente en la V Región.

**Tabla 1.** Propiedades generales de los suelos San Pedro (VII Región).

	% MO	% C	% N	% Humedad	pH	Fósforo µg / g ss
<b>Mezclas</b>						
Parcela 1	8,2	4,78	0,29	18,3	5,36	733,7
Parcela 2	8,7	5,08	0,3	19,1	5,63	1786,7
Parcela 3	11,3	6,56	0,37	13,7	6,26	2404,9
Parcela 4	8,5	4,94	0,24	13,5	5,53	1569,3
Parcela 5	3,2	1,88	0,13	13,8	5,29	1243,2
Parcela 6	7,4	4,29	0,27	14,0	5,33	1501,4
Parcela 7	5,8	3,37	0,22	16,7	5,06	1263,6
Parcela 8	9,9	5,75	0,29	17,6	5,63	1963,3
Parcela 9	5,7	3,34	0,21	14,0	5,54	1657,6
Parcela 10	3,7	2,13	0,19	13,8	6,09	1693,1
Parcela 11	10,7	6,20	0,28	14,7	5,41	1834,2
Parcela 12	10,1	5,90	0,34	14,3	5,72	835,6
Parcela 13	6,1	3,56	0,26	15,6	5,42	1310,7
Parcela 14	4,9	2,84	0,22	17,3	5,62	786,4
Parcela 15	9,5	5,55	0,24	17,2	5,09	583,8
Parcela 16	5,8	3,37	0,24	17,6	5,73	656,8
Parcela 17	6,2	3,63	0,19	21,2	5,37	866,7
Parcela 18	8,5	4,97	0,19	21,7	5,38	748,1
Parcela 19	7,1	4,12	0,19	19,8	5,59	779,2
Parcela 20	6,1	3,53	0,1	18,9	5,51	728,4
Parcela 21	6,5	3,79	0,25	19,8	5,84	674,7
Parcela 22	4,8	2,78	0,2	18,2	5,83	635,4
Parcela 23	6,9	4,02	0,2	21,7	5,32	750,9
Parcela 24	5,0	2,93	0,2	17,4	5,74	593,3

MO = materia orgánica      SS = Suelo Seco

Tabla 2. Propiedades generales de los suelos Jaururo.

	% MO	% C	% N	% Humedad	pH	Fósforo µg / g ss
<b>Mezclas</b>						
Parcela 1	2,24	1,30	0,150	4,0	6,76	350,0
Parcela 2	2,61	1,52	0,177	2,8	6,10	701,9
Parcela 3	2,24	1,31	0,155	3,5	6,19	345,1
Parcela 4	1,78	1,04	0,145	2,8	6,28	378,9
Parcela 5	2,34	1,36	0,172	2,7	6,15	403,1
Parcela 6	2,43	1,42	0,166	3,6	6,41	345,1
Parcela 7	1,94	1,13	0,139	3,2	6,23	362,0
Parcela 8	2,43	1,42	0,173	2,8	6,07	393,4
Parcela 9	2,11	1,23	0,148	2,8	6,12	321,0
MO = materia orgánica SS = Suelo Seco						

En el estudio sobre elementos nutrientes y/o contaminantes los elementos metálicos que se determinaron fueron: Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Mn, Fe, Ca y Mg.

Los resultados de la evaluación del primer año se acompañan en las tablas 3 y 4, para la V y VII Región respectivamente.

Tabla 3. Metales pesados suelos Jaururo, V Región (mg/kg).

N°	Cu	Zn	Ni*	Pb*	Mn	Ca	Mg	Fe
Parcela 1	52	42	21	26	735	415	3286	22969
Parcela 2	52	35	20	20	548	475	2801	21788
Parcela 3	52	36	15	20	870	365	1920	19200
Parcela 4	53	36	16	21	1287	266	1930	22531
Parcela 5	52	37	16	16	1033	261	1987	18825
Parcela 6	51	35	15	15	778	485	2196	21962
Parcela 7	51	36	16	21	979	204	1609	22531
Parcela 8	54	39	33	17	1382	268	2074	27650
Parcela 9	53	31	16	21	811	555	1961	19613
*: valores bajo curva de calibración								
Cd bajo limite de detección								

**Tabla 4. Metales pesados suelos San Pedro, VII Región (mg/kg).**

N°	Cu	Zn	Ni	Pb	Mn	Ca	Mg	Fe
Parcela 1	68	96	40	28	1904	6	423	69936
Parcela 2	76	104	33	33	2450	11	613	57989
Parcela 3	68	97	29	29	3402	44	729	52002
Parcela 4	76	97	38	27	1961	5	474	68707
Parcela 5	55	79	40	35	1299	5	309	79696
Parcela 6	72	84	34	28	1744	6	419	58590
Parcela 7	47	63	36	26	782	5	391	79713
Parcela 8	54	76	38	27	2029	11	541	71142
Parcela 9	47	79	37	33	1635	5	409	71918
Parcela 10	74	113	40	35	4185	10	493	63040
Parcela 11	69	98	49	35	2030	10	431	74784
Parcela 12	58	97	53	34	2061	10	485	74448
Parcela 13	71	86	51	36	1967	5	444	75125
Parcela 14	61	86	46	46	1968	5	508	68045
Parcela 15	54	64	32	32	1275	5	335	59764
Parcela 16	68	94	37	42	2354	11	588	47855
Parcela 17	151	136	30	45	2385	5	502	51706
Parcela 18	62	98	31	41	1806	10	516	32766
Parcela 19	57	97	40	34	1846	11	568	55664
Parcela 20	60	95	40	40	2373	10	562	54107
Parcela 21	63	105	42	47	2555	11	590	59736
Parcela 22	62	108	36	36	3340	10	541	52171
Parcela 23	58	97	34	34	4356	15	605	48884
Parcela 24	52	84	33	42	2281	9	526	48204

Cd bajo limite de detección, MO = materia orgánica, SS = Suelo Seco

Los suelos evaluados contienen elementos nutrientes como contenido total, especialmente Fe y Mg, los que la materia orgánica de los lodos, podría ayudar a movilizar dejándolos disponible en la solución del suelo. En cuanto a los elementos contaminantes, se determinó que estos suelos no tienen niveles fuera de lo normal, lo que era esperable por ser suelos alejados de zonas industriales, por tanto susceptibles a la aplicación de biosólidos.

Las muestras evaluadas en el segundo año del proyecto se tomaron a 2 profundidades con el objeto de ver posibles efectos por la aplicación de lodos.

Los resultados se acompañan en las tablas 5 y 6 para las parcelas de suelos forestales de la VII Región, en sus variables bosque juvenil y adulto, y en la tabla 7 para bosque adulto de la V Región.

**Tabla 6. Macro y micro nutrientes en suelos San Pedro VII Región [mg/kg].****BOSQUE ADULTO (15 AÑOS)**

	Parcela	Perfil (cm)	K	Fe	Mg	Ca	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Testigo	P17	0-10	1985	47472	n.d	0	1999	50	100	35	32	5
		10-20	1577	51193	n.d	0	2248	50	97	40	35	5
	P21	0-10	1525	47434	n.d	0	2746	50	110	38	35	5
		10-20	1701	46133	n.d	0	3741	50	107	37	35	5
	P24	0-10	1726	49841	n.d	0	2243	50	105	37	35	5
		10-20	1551	49921	n.d	0	2743	100	95	35	35	5
Lodo 400	P16	0-10	1873	49712	n.d	0	1989	50	95	35	35	5
		10-20	1625	52353	n.d	0	1994	50	95	40	35	5
	P18	0-10	1472	49841	n.d	0	1495	50	102	33	35	5
		10-20	1372	56114	n.d	0	1496	50	92	42	35	5
	P20	0-10	1578	47472	n.d	0	2499	50	100	35	35	5
		10-20	1473	49890	n.d	0	3243	50	95	35	35	5
Lodo 800	P19	0-10	1829	47405	n.d	0	1747	50	110	30	35	5
		10-20	1372	52411	n.d	0	1747	50	105	38	35	5
	P22	0-10	1877	49821	n.d	0	2491	50	110	30	27	5
		10-20	1851	49811	n.d	0	4234	75	102	42	37	5
	P23	0-10	2443	47481	n.d	0	1999	50	102	33	35	5
		10-20	1474	52416	n.d	0	2621	100	87	38	40	5

Lodo 400 : Tratamiento con lodo en dosis equivalente a 400 Kg de N/ha

Lodo 800 : Tratamiento con lodo en dosis equivalente a 800 Kg de N/ha

n.d : No determinado

**Tabla 7. Macro y micro nutrientes en suelos Jaururo V Región [mg/kg].****BOSQUE ADULTO**

	Parcela	Perfil (cm)	K	Fe	Mg	Ca	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Testigo	P2	0-10	3046	19940	n.d	424	997	50	45	27	17	5
		10-20	2916	12410	n.d	299	872	50	47	27	20	0
	P6	0-10	2971	27434	n.d	139	1995	100	60	30	30	0
		10-20	2796	27456	n.d	200	1747	50	45	30	25	0
	P8	0-10	2515	27448	n.d	150	1747	50	47	25	27	3
		10-20	n.d	28693	n.d	135	1499	40	45	45	25	0
Lodo 400	P1	0-30	5032	34940	n.d	0	998	50	65	40	35	5
		P4	0-10	2797	19976	n.d	150	1998	50	45	25	25
	10-20		2873	22471	n.d	150	1997	50	47	22	25	0
	P5	0-10	2670	27473	n.d	150	2248	50	53	23	25	0
		10-20	3051	29958	n.d	225	2247	50	47	30	30	0
	Lodo 800	P3	0-10	2764	24903	n.d	274	2615	50	42	30	27
10-20			2541	24953	n.d	200	2495	50	47	25	25	3
P7		0-10	3250	37403	n.d	200	2244	50	55	35	35	5
		10-20	3460	37478	n.d	50	1999	50	55	37	30	3
P9		0-10	2386	24913	n.d	349	1744		50	35	30	0
		10-20	n.d	20165	n.d	154	1495	40	45	45	20	0

LODO 400 : Tratamiento con lodo en dosis equivalente a 400 Kg de N/ha

LODO 800 : Tratamiento con lodo en dosis equivalente a 800 Kg de N/ha

n.d : no determinado.

Los resultados de estas últimas experiencias están recién obtenidos y se analizarán con más detalle próximamente. En cuanto al efecto de los residuos agregados no se ven grandes variaciones respecto a los testigos, especialmente por la gran variabilidad de los niveles entre las diferentes parcelas.

Las conclusiones son: que el suelo contiene elementos nutrientes en su forma de contenido de elemento total y que la materia orgánica de los lodos, podría ayudar a movilizar mediante su capacidad de formar complejos solubles. En cuanto a los elementos contaminantes, se determinó que estos suelos no tienen niveles fuera de lo normal, lo que era esperable por ser suelos alejados de zonas industriales, por tanto susceptibles a la aplicación de biosólidos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Proyecto Fondef D0111034 y a las Empresas Forestales y Sanitarias participantes.

## **REFERENCIAS**

- Aguilera S.M., Borie G., Zunino H., Espinoza J., Brown H., 2002**, Caracterización de Pool de Carbono en Lodos para su Uso en Suelos., XI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N°18, p 253-255.
- Peirano P., Lastra O., Espinoza J., Borie G., Aguilera S.M., 2002**, Caracterización del Contenido de Metales Pesados en Lodos Para su Uso en Suelos, XI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N°18, p 256-258.
- Aguilera S.M., Borie G., Peirano P., Galindo G., 1997**. Organic Matter in Volcanic Soils in Chile, Chemical and Biochemical Characterization. Commun. In Soil Sci. And Plant Anal. Vol. 28, N°11-12: p: 899-912.
- Aguilera S.M., Mora M., Borie G., Peirano P., Zunino H., 2002**. Balance and Distribution of sulphur in volcanic ash-derived soils in Chile. Soil Biology and Biochemistry 34, p 1355-1361.

**Borie G., Peirano P., Zunino H., Aguilera S.M., 2002.** N-pool in volcanic ash-derived soils in Chile and its changes in deforested sites. *Soil Biology and Biochemistry* 34: p 1201-1206.

**Heredia W., Peirano P., Borie G., Aguilera S.M., 2002.** Soil Organic Matter-Metals Interactions in Chilean Volcanic Soils Under Different Agronomic Management. *Commun Soil Sci. Plant Anal.*, 33 (13&14), p 2083-2099.

**Zunino H., Aguilera S.M., Caiozzi M., Peirano P., Borie G., J.P Martin. 1979.** Metal-Binding Organic Macromolecules in Soil: 3. Competition of Mg (II) and Zn (II) for Binding Sites in Humic and Fulvic-Type Model Polymers. *Soil Sci.*, Vol. 128, N°5: p 257-266.

**Zunino H., Aguilera S.M., Peirano P., Caiozzi M., A. Rex. 1982.** Bioquímica de Suelos Derivados de Cenizas Volcanicas. III. Síntesis microbiana de polimeros Humicos y su capacidad de adsorción de Zn (II) y Mg (II). *Agricultura Tecnica, Chile.* Vol.42, N°4: p 287-292.

**Murray B. McBride, 1994,** "Environmental Chemistry of Soils", Oxford University Press, New York, EEUU, 406 pag.

**Francisco Costa, Carlos Garcia, Teresa Hernandez, Alfredo Polo, 1995,** "Residuos Orgánicos urbanos. Manejo y Utilización", Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Murcia, España, 179 pag.

**R.Mujeriego i M. Carbó, 1994,** "Reutilització dels fangs en l'agricultura", Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 134 pag.