

E028. EFECTO DEL USO DEL LODO GENERADO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS EN LA ACUMULACIÓN DE Fe, Mn, Ni, Zn, Cu E Cr EN SUELOS BRASILEÑOS

S. de Alcantara⁽¹⁾, D. Vidal Pérez⁽²⁾, N. Menegheli⁽²⁾, E. M. Pereira⁽¹⁾ R.C. Boeira⁽³⁾.

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Av. Brigadeiro Trompovsky, s/n, Ilha do Fundão, RJ, CEP 21 949-900, Brasil. FAX- 55-21-25627262, sarai@iq.ufrj.br; ⁽²⁾Embrapa- Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, RJ. CEP 22 460-000Brasil

⁽³⁾ Embrapa Meio- Ambiente, C.P. 69, Jaguariúna, SP, CEP 13820-000, Brasil.

Entre las distintas posibilidades de uso del lodo generado en el tratamiento de las aguas negras, aquella destinada a la agricultura es una de las mas aceptables, pues, este material es sumamente rico en sustancias orgánicas y minerales. Con esta característica el lodo podrá ser utilizado para condicionar el suelo y/o como adobo. Todavía, él presenta, en su composición, algunos metales tóxicos. El uso de este material como adobo podría ocasionar alteraciones en las formas y concentraciones de estos metales, tanto en la fase sólida cuanto en la fase líquida del suelo, con consecuencias poco conocidas para nuestras condiciones. Estudios previos evidenciaron la necesidad de obtención de informaciones sobre las formas físico-químicas de varios elementos químicos (especiación) con la finalidad de evaluar su potencial de movilidad, biodisponibilidad y los procesos de transferencia. La complejidad de las posibles reacciones en el suelo restringe los estudios sobre distribución de las especies metálicas, en la fase sólida, en general, a procesos analíticos operacionalmente definidos, siendo, normalmente, usadas técnicas de extracción secuencial. Entretanto, como la metodología es demasiado demorada, es necesaria la busca de extractores más sencillos que puedan ser relacionados, no solamente con el comportamiento del elemento investigado, pero, también, con su biodisponibilidad. En este trabajo se propuso relacionar un procedimiento de extracción secuencial, para los elementos Fe, Mn, Cu, Cr, Ni e Zn, con dos extractores normalmente usados en Brasil, en la evaluación de micronutrientes y elementos tóxicos del suelo (DPTA y Mehlich 1).

E028. EFECTO DEL USO DEL LODO GENERADO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS EN LA ACUMULACIÓN DE Fe, Mn, Ni, Zn, Cu E Cr EN SUELOS BRASILEÑOS

S. de Alcantara⁽¹⁾, D. Vidal Pérez⁽²⁾, N. Menegheli⁽²⁾, E. M. Pereira⁽¹⁾ R.C. Boeira⁽³⁾.

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Av. Brigadeiro Trompovsky, s/n, Ilha do Fundão, RJ, CEP 21 949-900, Brasil. FAX- 55-21-25627262, sarai@iq.ufrj.br; ⁽²⁾Embrapa- Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, RJ. CEP 22 460-000Brasil

⁽³⁾ Embrapa Meio- Ambiente, C.P. 69, Jaguariúna, SP, CEP 13820-000, Brasil.

Entre las distintas posibilidades de uso del lodo generado en el tratamiento de las aguas negras, aquella destinada a la agricultura es una de las mas aceptables, pues, este material es sumamente rico en sustancias orgánicas y minerales. Con esta característica el lodo podrá ser utilizado para condicionar el suelo y/o como adobo. Todavía, él presenta, en su composición, algunos metales tóxicos. El uso de este material como adobo podría ocasionar alteraciones en las formas y concentraciones de estos metales, tanto en la fase sólida cuanto en la fase líquida del suelo, con consecuencias poco conocidas para nuestras condiciones. Estudios previos evidenciaron la necesidad de obtención de informaciones sobre las formas físico-químicas de varios elementos químicos (especiación) con la finalidad de evaluar su potencial de movilidad, biodisponibilidad y los procesos de transferencia. La complejidad de las posibles reacciones en el suelo restringe los estudios sobre distribución de las especies metálicas, en la fase sólida, en general, a procesos analíticos operacionalmente definidos, siendo, normalmente, usadas técnicas de extracción secuencial. Entretanto, como la metodología es demasiado demorada, es necesaria la busca de extractores más sencillos que puedan ser relacionados, no solamente con el comportamiento del elemento investigado, pero, también, con su biodisponibilidad. En este trabajo se propuso relacionar un procedimiento de extracción secuencial, para los elementos Fe, Mn, Cu, Cr, Ni e Zn, con dos extractores normalmente usados en Brasil, en la evaluación de micronutrientes y elementos tóxicos del suelo (DPTA y Mehlich 1).

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, con el objetivo de disminuir la polución de ríos y mares, se empezó el tratamiento de las aguas negras obteniendo, como resultado de este proceso, un lodo riquísimo en materia orgánica y sustancias minerales, conocido como biosólido, que necesita de una adecuada disposición final. Entre las diversas alternativas existentes para este uso, aquella destinada para la agricultura se presenta como una de las más convenientes, pues, como este lodo es rico en minerales y sustancias orgánicas su uso para condicionar el suelo y/o como adobo es ampliamente recomendada. Todavía, dependiendo de su origen, el lodo podrá contener metales tóxicos (Bettiol & Camargo, 2000). En algunos países de Europa y América del Norte, el uso agrícola del lodo es bastante difundido, mientras tanto, la contaminación del suelo por metales tóxicos tienen generado preocupaciones. Igual preocupación ocurre en Brasil, pero, son escasas las informaciones sobre la dinámica de especies metálicas en suelos donde el lodo generado de las aguas negras es aplicado (Bettiol & Camargo, 2000).

El uso agrícola del lodo es una alternativa que se ha mostrado viable en distintos rincones mas, existe el riesgo de polución ambiental, relacionada a la presencia de contaminantes y patógenos humanos (Escosteguy et al., 1993). El lodo proveniente del tratamiento de las aguas negras predominantemente domestico presenta bajas concentraciones de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Mn, Fe y Cr. Todavía, cuando ha predominancia de efluentes industriales en las aguas negras, el lodo obtenido podrá presentar concentraciones de estos metales arriba de la faja permitida y, consecuentemente, prohibidos para el uso en la agricultura (Bettiol et al., 1983). La preocupación con la posibilidad de contaminación de los suelos con metales tóxicos hizo diversos países establecieren límites máximos para la presencia de los metales en el lodo y para la tasa de aplicación del mismo en el suelo (CETESB, 1999; USEPA, 1996).

Desde 1998, en un experimento hecho en la ciudad de Jaguariúna (Provincia de São Paulo, Brasil) se observó incrementos en las concentraciones “totales” de Cu, Zn, Cr, Mo, Ni, Pb y Cd, en la camada superficial (0-20 cm) de un suelo relacionadas al uso, como adobo, de distintas fuentes y dosis de lodo (Silva et al. 2001). Este hecho resalta la habilidad del extractor utilizado (agua regia) en el control del potencial de contaminación del suelo por metales tóxicos, corroborando otros trabajos (Walter & Cuevas, 1999; Scancar et Al., 2000). Basado en este trabajo previo, fue evidenciada la necesidad de obtener informaciones respecto a las formas físico-químicas de los elementos

(especiación) estudiados con la finalidad de conocer su movilidad, biodisponibilidad y sus procesos de transferencia.

Los tipos de ligación, en la fase sólida, están relacionados con la intensidad de liberación del metal para la fase líquida, tanto cuanto su removilización (Sposito, 1989; Verloo & Eeckhout, 1990; Tack & Verloo, 1995). La complejidad de las posibles reacciones, en el suelo, restringe, entonces, las investigaciones sobre la distribución de las especies metálicas, en la fase sólida, en general, a procesos analíticos conocidos y definidos, aplicándose, normalmente, las técnicas de extracción secuencial (Das et al., 1995; Morrow et al. 1996). Todavía, estos procesos de fraccionamiento son demasiado lentos y sujetos a varios problemas (Morrow et al., 1996; Camargo et al. 2001). El uso de un extractor único para estimar la biodisponibilidad un específico elemento químico, en el suelo, es común en estudios de fertilidad del suelo y ha sido, también, aplicados a estudios de contaminación (Ferreira et al., 2001). Mientras tanto, a pesar de su simplicidad, es difícil ubicar una sustancia que sea efectiva en la extracción selectiva de las fracciones más biodisponibles de un determinado metal. De esta manera, según Camargo et al. (2001), estudios que relacionen los dos procesos son fundamentales para cambiar el operacional (extracción simple) científicamente sostenible (extracción secuencial).

OBJETIVOS

Pues, el objetivo de este trabajo es estudiar el impacto ocasionado por el uso agrícola del lodo del tratamiento de las aguas negras, de origen doméstica / industrial, en las concentraciones y evolución de las formas químicas de los elementos Fe, Mn, Zn, Cu y Cd, determinados por un proceso de extracción secuencial y por los dos extractores simples más usados en Brasil (DPTA y Mehlich 1), buscando correlacionarlos entre sí y con la acumulación de estos elementos en dos partes vegetales del maíz (hojas y granos).

MATERIALES Y METODOS

1- Experimento en el área agrícola de Jaguariúna

El proyecto, iniciado en 1998, fue desarrollado en área experimental del Centro Nacional de Investigación de Medio Ambiente, ubicada en la ciudad de Jaguariúna, São Paulo, latitud 22°41'sur, longitud 47°W. Gr. Y altitud de 570 m, en Latosuelo Rojo Distroférico (con textura argilosa).

El planeamiento experimental utilizado en esta parte del trabajo fue el de bloques casuales con 3 réplicas. Los bloques tenían las dimensiones 20 m x 10 m. Dos distintos tipos de lodo fueron usados: uno con características domesticas (de la ciudad de Franca, interior de Sao Paulo) y otro con características industriales (de la región de Barueri, área metropolitana de São Paulo). Los dos materiales fueron donados por SABESP, en la forma adecuada para la aplicación agrícola. En la tabla 1 es posible ver algunos datos químicos de estos residuos.

Se hicieron 6 tipos de aplicaciones diferentes:

1-Testimonio absoluto – sin cualquier tipo de aplicación;

2-Testimonio convencional – con uso de fertilizante NPK, basada en el análisis del suelo;

3-Lodo del tratamiento de las aguas negras- La aplicación fue hecha basada en la concentración de Nitrógeno presente en el lodo y manteniendo la relación presente en el testimonio convencional (1N, 2N, 4N, 8N).

En todos los tratamientos con el lodo se corrigió el potasio (con KCl). La corrección de la acidez del suelo fue hecha basada en las curvas de neutralización de cada célula de plantío y corregida siempre que el pH estaba debajo de 5,5. Total- 36 células.

Terminada la etapa de preparo del suelo se hizo la plantación de maíz, planta normalmente cultivada en la región. Después del tiempo de cultivo se colectó muestras de suelo, de la hoja del vegetal y del fruto. Las muestras fueron colectadas en Septiembre de 2001, inicio del nuevo plantío de la cultura de maíz y la profundidad de colecta fue entre 0-20 cm..

2- Extracción Secuencial de los metales tóxicos

La metodología de extracción secuencial usada fue la descrita por Wasserman et al. (2001), y es mostrada en la figura 1. Las formas “disponibles”de los metales investigados, en el suelo, fueron obtenidas en extracción con solución de Mehlich 1 ($\text{HCl } 0,05\text{mol.L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$) e DPTA (pH 7,3), según Embrapa (1997), y las determinaciones analíticas de Fe (238,204nm), Mn (257,610 nm), Zn (213,856 nm), Cu (324,754 nm) y Cr (205,500 nm) fueron realizadas por Espectrometría de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES, PE OPTIMS 3000). La extracción de estos metales, en la hoja y en los granos de maíz, fue basada en la digestión húmeda en bloque digestor, con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ de acuerdo con Tedesco et al. (1985) y la determinación analítica fue, también, hecha en ICP-OES, pero, de esta vez, con nebulizador ultrasonico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Independiente del origen del lodo, en relación al suelo, como es posible verificar en la tabla 2, los resultados obtenidos están de acuerdo con el comportamiento químico de los elementos estudiados (Ross, 1994; Alloway, 1995; Iskandar and Kirkham, 2001). El Mn, a pesar de estar distribuido en las 5 fases, presenta una tendencia clara de aumento de la concentración solamente en la fase 1. O sea, la cantidad del elemento dispuesto por el lodo se encuentra en fase más disponible, ligada a la CCC del suelo, o más probablemente, a la fracción carbonato proveniente de la aplicación hecha anteriormente para la corrección del pH (fase 1), principalmente. El Fe tiene, geoquímicamente, tendencia a la formación de óxidos. Considerando que el suelo elegido para este experimento es, ya, rico en este óxido, se esperaba que las fases 4 y 5 tuviesen mayor tendencia para concentrar este elemento, y esto es observado en la tabla 2. Todavía, es necesario observar que solamente en la fase 1 ocurre un incremento claro, aunque, en términos porcentuales, insignificante, respecto a la concentración total de Fe. A pesar de la grande afinidad que el Cu tiene por la materia orgánica (capacidad de formación de complejos), lo que es confirmado por el aumento de su concentración en la fase 3 (débilmente ligada a la materia orgánica), el elemento puede, también, formar, con facilidad, complejos con carbonatos, justificando el aumento de su concentración en la fase 1 (más disponible) cuando se aumenta la dosis de aplicación del lodo en el suelo. El Zn, por no presentar preferencia química por ninguna fase del suelo, aparece en todas las 5. Mientras tanto, su concentración aumenta con el incremento de las dosis de aplicación del lodo solamente en las fases donde el metal se encuentra más disponible (fases 1 y 2). El Cr presenta una tendencia obvia de acumulación en las fases 4 y 5, todavía, en las aplicaciones más fuertes de lodo (dosis 4N y 8N), las fases más disponibles tienden a presentar mayor importancia. Un hecho similar ocurre con el Ni, pero, en este caso, la fase 2, pasa, también, a ser importante cuando se trabaja con la dosis más elevada del lodo (8N).

Extractores débilmente ácidos, como Mehlich 1, tienen la capacidad de extraer metales de las fases ligadas a CO_3^{2-} / S^{2-} , óxidos de Mn / Fe y de complejos orgánicos (Morrow et al., 1996). Observando las correlaciones individuales de este extractor con las 5 fases del proceso de extracción secuencial usado (tabla 3) se ve que la mayoría de los elementos determinados, excepto el Ni, presentan una correlación muy significativa ($> 0,75$) con la fase 1. Este resultado, además de corroborar las afirmaciones de Morrow et al. (1996),

también refuerzan la idea que debe ser la ligación con carbonato, y no la ligación con la CCC del suelo, la responsable por el aumento significativo de la concentración de los metales estudiados en función del incremento de las dosis de lodo aplicadas. Es importante resaltar que ninguna de las 3 composiciones, entre las 3 fases dichas “más disponibles”, o sea, 1+2, o 1+3 o 1+2+3, presentó mejor coeficiente de correlación con Mehlich 1 que la fase 1, aisladamente.

Cuando se adoptó el modelo de regresión lineal múltiple por el procedimiento “stepwise” (tabla 4), incluyendo todas las fases, además de las propiedades importantes del suelo (CCC, concentración de carbono orgánico, pH) solamente los elementos Fe y Mn presentaron aumento de coeficiente de determinación (R^2) por la introducción de otra fase más, distinta de la fase 1. Todavía, de una cierta manera, este comportamiento era esperado una vez que el suelo elegido para el experimento era, ya, rico en óxidos de Fe y Mn.

Con relación al DPTA, este extractor actúa, principalmente, formando complejos. Observando la correlación individual con las fases extraídas (tabla 3), igual que pasó con Mehlich 1, la fase 1 presentó lo mejor coeficiente de correlación, excepto el Ni. Mismo así, para el Fe y el Cu, los coeficientes fueron menores si comparados de Mehlich 1. Cuando se adoptó el modelo de regresión lineal múltiple, Fe, Mn y Cr fueron los elementos que presentaron aumento de coeficiente de determinación (R^2) por la adición de otra fase más, distinta de la fase 1. El Ni fue el único elemento que, por la adición de un parámetro químico del suelo (carbono orgánico) alteró los resultados estadísticos del modelo.

CONCLUSIONES

La distribución de los elementos Fe, Mn, Cr, Cu, Zn y Ni entre las 5 fases estudiadas está de acuerdo con los datos ubicados en la literatura y, en general, las fases menos disponibles (fases 4 y 5) fueron predominantes. Las fases ligadas a la CCC / carbonato (fase 1) y a la fracción orgánica (fase 3), principalmente, han ganado una mayor expresión de acuerdo con el aumento de la aplicación del lodo.

El hecho de la aplicación simple con Mehlich 1 y DPTA estar, en general, significativamente, asociada a la fase 1, demuestra que los 2 extractores pueden representar el “pool” más disponible del suelo para transporte y absorción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. 2.ed. Glasgow (UK): Blackie. 1995. 368p.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. & FRANCO, B.J.D.C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, 75:44-54, 1983.
- BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 312 p. 2000.
- CETESB. Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: manual técnico. São Paulo, 1999. 33p. (P 4.230)
- DAS, A.K.; CHAKRABORTY, R.; CERVERA, M.L.; GUARDIA, M. de la. Metal speciation in solid matrices, *Talanta*, 42:1007-1030, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; PARCHEN, C.A.P. & SELBACH, P.A. Bactérias enteropatogênicas em composto de lixo domiciliar, solo e planta. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 17:365-369, 1993.
- MORROW, D.A.; GINTAUTAS, P.A.; WEISS, A.D.; PIWONI, M.D.; BRICKA, R.M. Metals speciation in soils: a review. Vicksburg: U.S. Army Corps of Engineer, 1996. 108p. (Technical report, IRRP-96-5).
- SCANCAR, J.; MILACIC, R.; STRAZAR, M.; BURICA, O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. *The Science of the Total Environment*, 250: 9-19, 2000.
- SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; MANZATTO, C.W.; BETTIOL, W. Relação entre os teores de Mn, Cu, Zn, Ni e Pb em milho com os teores extraíveis desses metais em solo adubado com lodo de esgoto. In. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLOS, 25., Rio de Janeiro. Resumo. Rio de Janeiro: SBCS. CD-ROM. 2001.
- SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1989. p.3-21.
- TACK, F.M.G. and VERLOO, M.G. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59:225-238, 1995.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. UFRGS, Porto Alegre, 1985. 174p.

- USEPA Standards for the use and disposal of sewage sludge. Washington, EPA, 1996.
(Code of Federal Regulations 40 CFR Part 503).
- VERLOO, M. and EECKHOUT, M. Metals species transformation in soils: an analytical approach. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 39:179-186, 1990.
- WALTER, I. & CUEVAS, G. Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. The Science of the Total Environment, 226: 113-119, 1999.
- WASSERMAN, M.A.; PÉREZ, D.V.; BARTOLY, F.; POQUET, I. Assessment of the mobility and bioavailability of ^{60}Co and ^{137}Cs in contaminated soils. In: REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY, 5, 2001, Recife. Proceedings. Recife: Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica, CD-ROM. 2001.

Tabla 1. Algunos resultados médios de las características químicas de los compuestos de lodo utilizados.

	pH	C.Org.	N	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
		g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹		
Barueri	6,02	228,1	40,4	0,229	29,0	2,88	0,758	0,611	294,0	14,1	159,5
Franca	6,11	203,1	39,2	0,709	61,6	0,837	0,179	0,186	74,2	7,2	57,1

Tabla 2. Resultados de la extracción secuencial (en porcentual en relación al total extraído) para las muestras colectadas en Septiembre de 2001.

Dose	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Ferro					
Absoluta	0,32	0,78	0,05	40,52	58,33
NPK	0,34	0,80	0,06	42,66	56,14
1N	0,36	0,76	0,05	32,44	66,40
2N	0,39	0,78	0,05	34,40	64,38
4N	0,66	0,94	0,07	42,77	55,56
8N	0,73	0,90	0,08	39,56	58,74
Manganês					
Absoluta	12,36	26,34	4,66	22,22	34,42
NPK	10,51	23,86	5,20	19,44	40,99
1N	13,73	27,80	5,29	14,63	38,55
2N	14,49	22,35	4,52	17,28	41,36
4N	14,63	21,52	6,02	18,97	38,86
8N	15,61	24,01	5,98	18,71	35,69
Cobre					
Absoluta	< LD	< LD ¹	< LD	100,00	0,00
NPK	< LD	< LD	< LD	100,00	0,00
1N	29,49	< LD	< LD	70,51	0,00
2N	12,53	< LD	< LD	87,47	0,00
4N	26,48	< LD	14,37	59,15	0,00
8N	44,82	< LD	16,54	38,64	0,00
Zinco					
Absoluta	7,18	0,96	5,79	76,10	9,97
NPK	8,36	< LD	12,07	58,82	20,74
1N	26,38	3,13	14,34	40,40	15,75
2N	28,49	3,47	8,57	43,24	16,22
4N	44,44	7,83	13,19	24,31	10,22
8N	51,31	7,29	12,23	18,66	10,50
Cromo					
Absoluta	< LD	< LD	1,73	35,83	62,44
NPK	< LD	< LD	1,08	39,04	59,88
1N	< LD	< LD	3,52	36,02	60,46
2N	< LD	< LD	3,54	40,19	56,27
4N	5,98	< LD	6,12	40,07	47,84
8N	4,16	< LD	7,72	40,29	47,84
Níquel					
Absoluta	< LD	< LD	< LD	< LD	100,00
NPK	< LD	< LD	< LD	< LD	100,00
1N	< LD	< LD	< LD	< LD	100,00
2N	< LD	< LD	< LD	< LD	100,00
4N	44,20	< LD	28,45	< LD	27,35
8N	31,45	25,44	23,32	< LD	19,79

¹ LD significa limite de detección

Tabla 3. Coeficientes de correlación simples (r) entre las concentraciones de Fe, Mn, Zn, Cu, Cr e Ni determinadas en las 5 fases de la extracción secuencial y por los extractores DTPA e Mehlich 1 (n = 12).

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Total	F1 + F2	F1 + F3	F1+F2+F3
Hierro									
Mehlich	0,94 **	0,82 **	0,80 **	0,39 ns	0,19 ns	0,50 ns	0,90 **	0,93 **	0,90 **
DTPA	0,73 *	0,57 ns	0,61 ns	0,50 ns	0,08 ns	0,47 ns	0,67 *	0,72 *	0,67 *
Manganês									
Mehlich	0,77 **	0,15 ns	0,60 ns	0,12 ns	0,21 ns	0,41 ns	0,44 ns	0,76 **	0,48 ns
DTPA	0,77 **	0,14 ns	0,59 ns	0,24 ns	0,33 ns	0,47 ns	0,43 ns	0,75 **	0,47 ns
Zinco									
Mehlich	0,99 **	0,99 **	0,96 **	0,33 ns	0,88 **	0,98 **	0,99 **	0,99 **	0,99 **
DTPA	0,99 **	0,99 **	0,96 **	0,33 ns	0,89 **	0,98 **	0,99 **	0,99 **	0,99 **
Cobre									
Mehlich	1,00 **	ND ¹	0,96 **	0,76 **	ND	0,95 **	ND	0,99 **	ND
DTPA	0,99 **	ND	0,96 **	0,79 **	ND	0,97 **	ND	0,99 **	ND
Cromo									
Mehlich	0,93 **	ND	0,91 **	0,75 **	0,64 ns	0,80 **	ND	0,93 **	ND
DTPA	0,60 ns	ND	0,46 ns	0,14 ns	0,07 ns	0,20 ns	ND	0,52 ns	ND
Níquel									
Mehlich	0,53 ns	0,64 ns	0,56 ns	ND	-0,27 ns	0,37 ns	0,59 ns	0,54 ns	0,58 ns
DTPA	0,59 ns	0,64 ns	0,62 ns	ND	-0,19 ns	0,45 ns	0,65 *	0,60 ns	0,64 ns

¹ ND significa no determinado.

ns representa estadísticamente não significativo; * significativo a P < 0,05; ** significativo a P < 0,01.

Tabla 4. Ecuaciones de regresión lineal entre los extractores Mehlich/DTPA (Y) y las 5 fases (F) de extracción secuencial (X), a veces con inclusión de alguna propiedad química del suelo (ccc, carbono orgánico, pH).

Variable Dependiente (Y)	Ecuación	R ²
Fe-Mehlich	$37,206 + 0,44 F1 - 0,272 F2 - 1,143 F3 + 1,16 \cdot 10^{-3} F4$	1,00
Fe-DTPA	$72,169 + 0,522F1 - 0,631F2 + 3,221 \cdot 10^{-3}F4$	0,86
Mn-Mehlich	$4,611 + 0,739F1 - 0,219F2$	0,74
Mn-DTPA	$-1,784 + 0,295C.Org. + 0,245F1$	0,82
Zn-Mehlich	$1,074 + 0,91F1$	0,99
Zn-DTPA	$-1,02 + 2,934F2 + 0,704F5$	0,99
Cu-Mehlich	$0,47 + 0,657F1$	0,99
Cu-DTPA	$0,679 + 0,683F1 + 7,914 \cdot 10^{-2}F4$	1,00
Cr-Mehlich	$0,186 + 0,324F1$	0,86
Cr-DTPA	$1,175 \cdot 10^{-2} + 1,90 \cdot 10^{-3}F1 - 2,48 \cdot 10^{-4}F5$	0,63
Ni-Mehlich	$0,95 + 0,414 C.Org. + 1,638F2$	0,72
Ni-DTPA	$-1,115 + 0,352 C.Org. + 1,147$	0,82

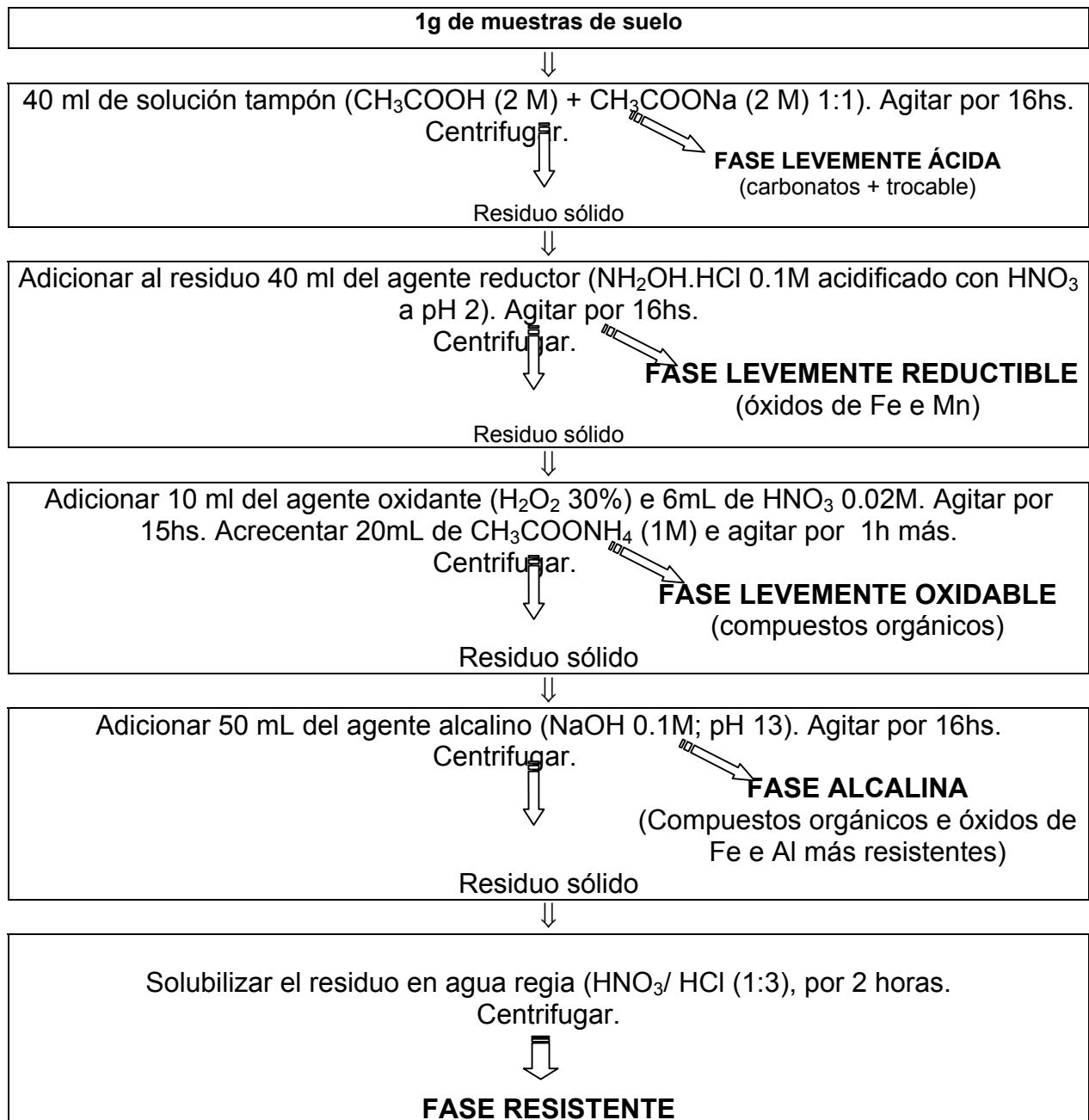


Figura 1. Esquema de extracción secuencial adoptado (Wasserman et al., 2001).