

ÍNDICES DE FITOTOXICIDAD EN RESIDUOS ORGÁNICOS DURANTE EL COMPOSTAJE

María Teresa Varnero M., Claudia Rojas A., Roberto Orellana R.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004. Santiago, Chile. Correo electrónico: mvarnero@gmail.com

Phytotoxicity indices of organic residues during composting

Key words: Bioassays, germination index, compost.

ABSTRACT

The maturity of compost can be determined using sensitive species to phytotoxic metabolites by germination bioassays. In order to obtain a stabilized and non-phytotoxic product, the phytotoxic compounds must be biodegraded or immobilized during the maturity phase of composting. In this study the sensitivity of lettuce (*Lactuca sativa*, var. Four Seasons) and radish (*Raphanus sativus*, var. Cherry Bell) seeds to extracts from composted agroindustrial residues was evaluated. The extracts were obtained by mixing agroindustrial residues with distilled water in a ratio of 1:5. The agroindustrial residues evaluated were residues of instantaneous coffee (C), a mixture of residues of instantaneous coffee and fresh fruit residues (C+F) and wine residues with broiler manure residues (V+G). The relative germination rates (PGR), relative growth of radicle (CRR) and germination index (IG) were determined for both species. The results showed that radish was more sensitive to phytotoxic compounds than lettuce. V+G showed the highest phytotoxicity for both species according to the germination index. The Chilean Regulation for Compost (INN, 2004) establishes the phytotoxicity level based on the relative germination rate of radish seeds. According to this Regulation only V+G was classified as "phytotoxics free" compost. The germination index was the most sensitive parameter for evaluating the chemical maturity level of composted residues for agricultural use. This index was especially useful for evaluating the phytotoxicity of compost or any organic substrate used for pots. This is due because when plants are grown in pots the effects of phytotoxic compounds are more important than when plants are cultivated in the field.

Palabras claves: Bioensayos, índice de germinación, compost

RESUMEN

La madurez de un compost se puede establecer mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. Estas sustancias debieran ser metabolizadas o inmovilizadas durante la fase de maduración del compostaje, generando un material estabilizado biológicamente y con una baja o nula fitotoxicidad. En este estudio se evaluó la sensibilidad de lechuga (*Lactuca sativa* var. Cuatro Estaciones) y rabanito (*Raphanus sativus* var. Cherry Bell) a los extractos obtenidos de residuos agroindustriales que estaban en la fase de maduración del proceso de compostaje. Con residuos de café instantáneo (C), mezcla de residuos de café instantáneo y de fruta fresca (C+F) y residuos vitivinícolas con guano broiler (V+G), se prepararon extractos en agua destilada en proporción de 1:5 y se midió porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de radícula relativo (CRR) e índice de germinación (IG) en ambas especies. Los resultados indican que el rabanito es más sensible a la presencia de fitotóxicos en esta fase del proceso de compostaje. Los valores de IG en ambas especies señalan que los residuos de V+G presentan el mayor nivel de fitotoxicidad. Sin embargo, de acuerdo con la Normativa Chilena de Compost (INN, 2004), que establece el nivel de fitotoxicidad sólo en función del PGR en rabanitos, este residuo sería el único de los tres que clasificaría como compost “libre de fitotóxicos”. Se concluyó que el IG fue una variable más sensible y completa para evaluar el grado de madurez química requerido en materiales compostados que se utilizarán como componente base para la elaboración de sustratos especializados de uso agrícola. Este índice sería especialmente útil, si se considera el efecto “maceta” que se presenta cuando se incorporan los sustratos en pequeños contenedores, adquiriendo mayor relevancia el potencial fitotóxico.

INTRODUCCIÓN

El compostaje es un proceso donde los residuos orgánicos biodegradables se descomponen mediante una oxidación bioquímica, bajo condiciones controladas, generando CO₂ y H₂O, energía calórica y materia orgánica estabilizada o “compost” (INN, 2004). Este producto final puede ser utilizado ya sea como acondicionador de suelos, o bien, como componente base para la elaboración de sustratos especializados de uso agrícola. Sin embargo, el emplearlos sin un adecuado grado de madurez, se puede provocar efectos negativos en las plantas, debido a la presencia de metabolitos intermediarios fitotóxicos (Zucconi *et al.*, 1985), especialmente, cuando se utiliza como componente base de sustratos especializados en viveros. Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales.

Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces por lo que es altamente riesgosa su utilización en cultivos.

La determinación de estas sustancias tóxicas en forma independiente encarece los análisis. Esto ha incentivado el uso de los bioensayos con semillas sensibles a fitotóxicos (Emino y Warman, 2004; Warman, 1999), para evaluar los efectos sinérgicos de estas sustancias sobre la germinación y el crecimiento de las plantas. Diversas metodologías han sido puestas a punto con este objetivo; entre ellas, la de mayor alcance corresponde a la determinación del índice de germinación utilizando berro de agua (*Lepidium sativum*) en extractos de compost propuesta por Zucconi *et al.* (1981). Esta metodología se ha modificado en sucesivas ocasiones

probando nuevas especies indicadoras. Sin embargo, no existe consenso respecto de las especies sensibles para utilizar en los bioensayos, como tampoco en los criterios de interpretación de los resultados obtenidos en dichas pruebas. En la actualidad, la Norma Chilena Oficial de Compost (INN, 2004) establece la utilización de bioensayos con semillas de rabanito (*Raphanus sativus*) para determinar el porcentaje de germinación de los extractos de compost con relación a un testigo con agua destilada, y no considera otras variables como el crecimiento de radícula. Diversos autores (Zucconi *et al.*, 1981; Tiquia, 2000; Emino y Warman, 2004) determinan el índice de germinación (IG), integrando el porcentaje relativo de germinación y el crecimiento relativo de raíces. Esto permite establecer tres niveles de fitotoxicidad: severa, moderada y baja o nula, lo cual es determinante, cuando se incorporan estos materiales en pequeños contenedores, ya que se maximiza la zona de retención (efecto maceta), adquiriendo mayor relevancia el potencial fitotóxico.

En el presente trabajo se seleccionaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Cuatro Estaciones y rabanito (*Raphanus sativus*) var. Cherry Bell, debido a que fueron las especies que mostraron mayor sensibilidad a sustancias fitotóxicas presentes durante la fase termofílica del compostaje de residuos agroindustriales (Varnero *et al.*, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar la sensibilidad de estas dos especies a los extractos obtenidos de residuos agroindustriales que se encontraban en la fase de maduración del proceso de compostaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Cuatro Estaciones y rabanito (*Raphanus sativus*) var. Cherry Bell. Los materiales usados en la preparación de pilas de compostaje correspondieron a residuos agroindustriales derivados de café instantáneo (C); mezclas de café instantáneo y de fruta fresca (C+F); residuos vitivinícolas (hollejo, escobajo y pepa) con guano broiler (V+G). Se elaboraron pilas de compostaje de 20 m³ de volumen inicial, las cuales fueron volteadas mecánicamente, en función de la temperatura interna de las pilas. Durante todo el proceso de compostaje se realizaron mediciones periódicas de la temperatura interna, en 16 puntos diferentes en cada pila, utilizando un termómetro de vástago. Esto permitió seguir en terreno la dinámica de este proceso, estableciendo las principales etapas que tienen lugar y que se puede diferenciar fundamentalmente en cuatro fases: de adaptación o inicio, termofílica, mesofílica y de maduración.

Al inicio de la fase de maduración, alrededor de los 300 días de compostaje (Figura 1), se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg en 16 puntos de cada una de las pilas para conformar una muestra compuesta. Se secaron a 65° C en estufa con aireación forzada, hasta peso constante. Se midió pH, concentración de sales solubles y contenido de materia orgánica mediante métodos descritos por TMECC (2001). Con estos materiales secos se prepararon extractos en proporción de 1:5 relación residuos: agua destilada. Se colocaron 10 ml de cada extracto en placas

Petri, que contenían 10 semillas de rabanito o de lechuga sobre papel filtro; éstas se compararon con un testigo con agua destilada para cada especie. Se mantuvieron en cámaras de germinación durante 4 días a 25°C. Se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos. Se midió porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de radícula relativo (CRR) e índice de germinación (IG), según metodología descrita por Tiquia (2000):

$$\text{PGR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} \times \text{CRR}}{100}$$

Cada uno de estos índices se evaluaron mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

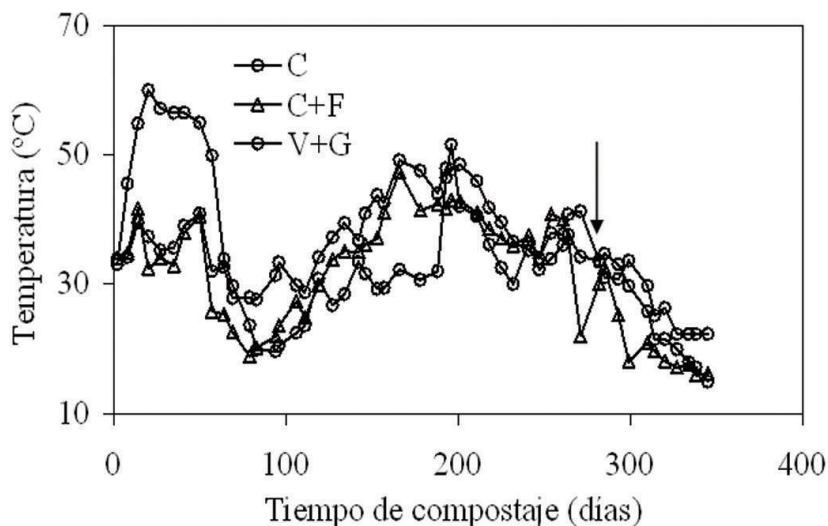


Figura 1: Temperaturas medias de las pilas durante el proceso de compostaje. La flecha indica la fecha de muestreo.

Figure 1: Average temperature of piles during the composting process. The arrow indicates the sampling time.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos (Cuadro 1) indican que los valores de pH de los tres residuos agroindustriales muestreados durante la fase de maduración del proceso de compostaje están dentro de los rangos establecidos en la Normativa Chilena de Compost (INN, 2004). En cuanto a los niveles de sales solubles que presentan los residuos de C y C+F, permitiría clasificarlos como compost de clase A y en el caso de V+G como de clase B (INN, 2004), siempre que se acredite su calidad de material orgánico estable y maduro, o sea, "compost".

La calidad de compost se establece en función de tres criterios: a) la relación

carbono/nitrógeno; b) la estabilidad biológica, medida por respirometría, la cual excluye materiales que se encuentran en activa descomposición microbiana, y c) la madurez que se alcanza durante el desarrollo y evolución de las diferentes etapas del proceso, evaluada mediante bioensayos para establecer la presencia de compuestos fitotóxicos (Varnero *et al.*, 2004).

La relación carbono/nitrógeno obtenida para cada uno de los residuos agroindustriales compostados (Cuadro 1) indicaría que su incorporación en el suelo no generaría problemas de inmovilización de nitrógeno.

Cuadro 1: Algunos análisis químicos y biológicos de los residuos agroindustriales.

Table 1: Some chemicals and biology agroindustrial residues analysis.

Parámetros	C	C+F	V+G
pH (suspensión en H ₂ O en relación 1:5)	5,8	6,1	8,1
C.E. (dS/m; suspensión en H ₂ O en relación 1:5)	0,6	0,8	4,4
M.O. % (pérdida por calcinación a 600°C)	78	61	38
Relación C/N	12	10	11
Desprendimiento de CO ₂ (mg C-CO ₂ / g M O/ día)	7,5	4,5	5,6

C: residuos de café instantáneo, F: residuos de fruta fresca, V: residuos vitivinícolas, G: guano broiler

Por otra parte, los valores observados en la tasa respiratoria de cada residuo (Cuadro1) reflejan una disminución de la actividad microbiana, con relación a los valores establecidos por la Norma de Compost (INN, 2004) de 8 mg C-CO₂/ g MO/ día. Esto indicaría, probablemente, que no se dispone de fracciones orgánicas biodegradables para mantener la dinámica

microbiana mesofílica y por lo tanto, se ha alcanzado la estabilidad biológica de los residuos en proceso de compostaje. Sin embargo, la determinación de sólo este parámetro biológico no es suficiente para acreditar la ausencia de metabolitos fitotóxicos (Varnero *et al.*, 2004), lo que hace necesario corroborar con los bioensayos de semillas sensibles.

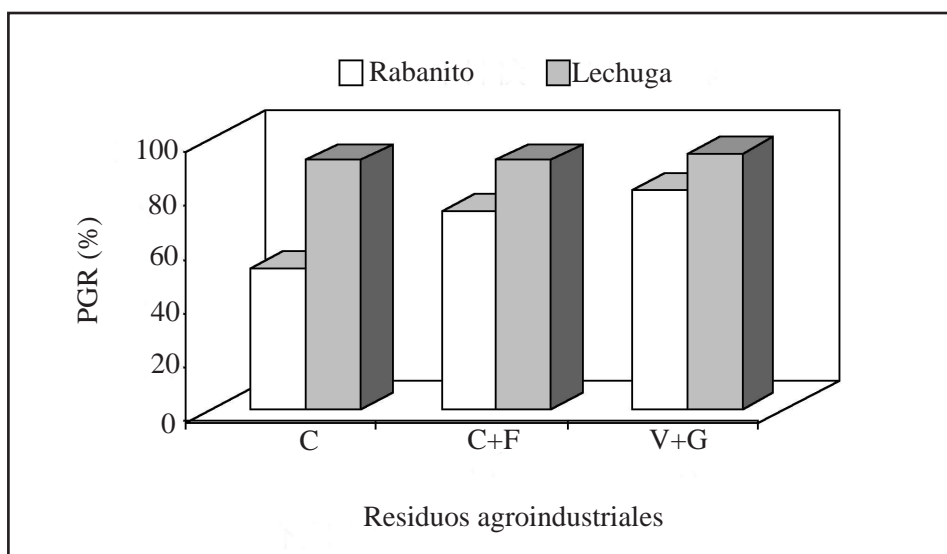


Figura 2: Porcentaje germinación relativo (PGR) de semillas de rabanito y de lechuga, obtenidos con los extractos de residuos agroindustriales compostados.
Figure 2: Relative germination rates (PGR) of radish and lettuce seeds exposed to the composted agroindustrial residues.

Los valores obtenidos con los extractos de los tres residuos agroindustriales preparados en una relación de 1:5, señalan que el PGR del rabanito con los extractos de C y de C+F es inferior al 80% de germinación (Figura 2), lo que indicaría que estos residuos no han finalizado su etapa de madurez y por lo tanto contienen sustancias fitotóxica que no se han metabolizado completamente. En cambio, el tratamiento V+G presenta un valor de PGR de rabanito superior al 80%, con lo cual, de acuerdo con la Norma Chilena de Compost (INN, 2004), se definiría como un material maduro. Una situación similar se observa con los extractos de los tres residuos cuando se utiliza la semilla de lechuga, alcanzándose valores de PGR superiores al 90%

(Figura 2). Sin embargo, con relación a los valores obtenidos para el CRR (Figura 3), en ambas especies no se alcanza el 80% en ninguno de los tratamientos, presentándose los valores más bajos con rabanito, especialmente en el tratamiento V+G. De acuerdo a esto, se puede afirmar que rabanito es la especie que presenta mayor sensibilidad a sustancias fitotóxicas sobre el crecimiento de radícula, durante la fase de maduración de estos residuos. Cabe destacar que la disminución en el crecimiento de radícula de los bioensayos está relacionada con la presencia de metabolitos moderadamente fitotóxicos, incapaces de impedir la germinación de las semillas, pero sí limitar el desarrollo de sus radículas.

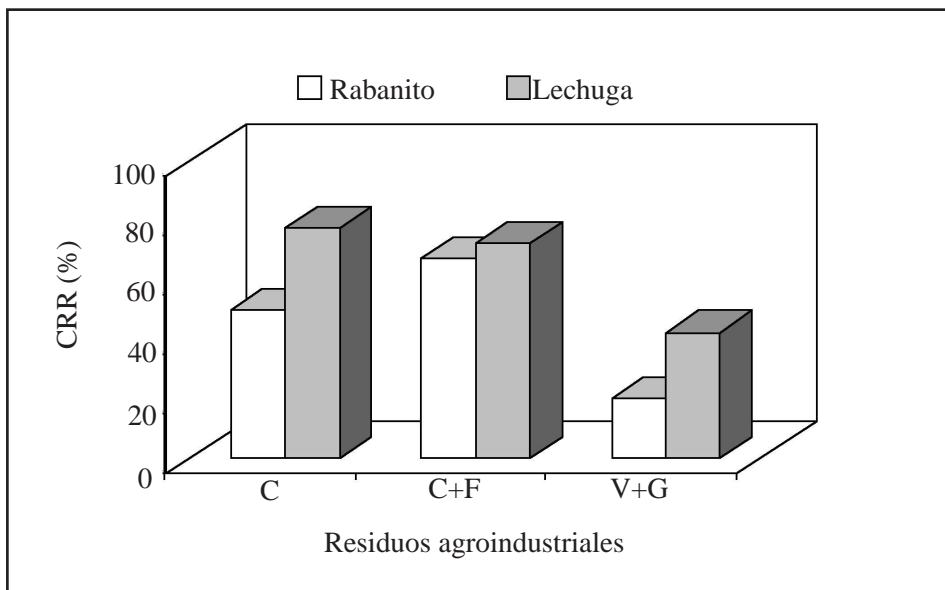


Figura 3: Crecimiento de radícula relativo (CRR) de semillas de rabanito y de lechuga, obtenidos con los extractos de residuos agroindustriales compostados.
Figure 3: Relative growth of radicle (CRR) of radish and lettuce seeds exposed to the composted agroindustrial residues.

Comparando ambos parámetros, tanto en rabanito como en lechuga, se aprecia que CRR es un indicador más sensible que PGR. Esto concuerda con lo observado en otros estudios (Tiquia, 2000; Emino y Warman, 2004; Varnero *et al.*, 2006) quienes encontraron las mayores diferencias en CRR, asociadas a la presencia de metabolitos fitotóxicos moderados, que no impedirían la germinación de las semillas utilizadas, pero si limitarían el desarrollo de la radícula. Al respecto, diversos autores (Zucconi *et al.*, 1981; Tiquia, 2000; Emino y Warman, 2004; Varnero *et al.*, 2006) sostiene que el índice de germinación (IG)

es un indicador más completo para describir el potencial fitotóxico de un material orgánico, ya que integra el porcentaje de germinación relativo y el crecimiento relativo de raíces. Por otra parte, Zucconi *et al.* (1981) establece el siguiente criterio de interpretación: valores de $IG \geq 80\%$ indicarían que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración; si el $IG \leq 50\%$ indicaría que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50% y 80% se interpretaría como la presencia moderada de estas sustancias.

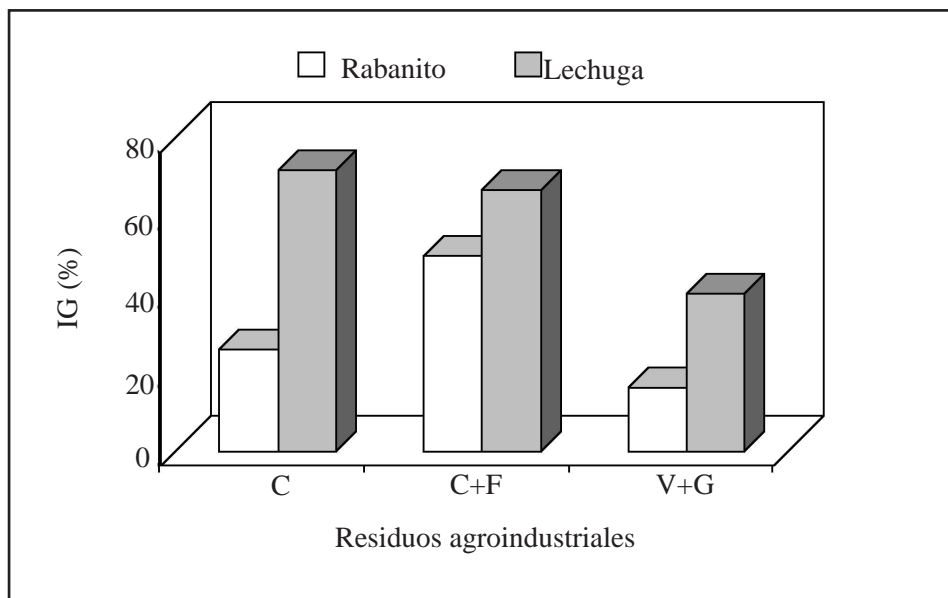


Figura 4: Índice de germinación (IG) de semillas de rabanito y de lechuga, obtenidos con los extractos de residuos agroindustriales compostados.

Figure 4: Germination index (IG) of radish and lettuce seeds exposed to the composted agroindustrial residues.

Cuando se integran los valores de PGR con los de CRR para obtener el IG (Tiquia, 2000) y de acuerdo al criterio propuesto por Zucconi *et al.* (1981), se observa que los tres residuos (C; C+F y V+G) presentan un alto nivel de fitotoxicidad (Figura 4) en los bioensayos con rabanito. En cambio, en los bioensayos con lechuga, se determina que los residuos de C y de C+F (Figura 4) tienen un nivel de fitotoxicidad moderada y sólo el residuo de V+G presenta valores de IG inferiores al 50%. Estos resultados de IG obtenidos para los tres residuos agroindustriales indicarían una mayor sensibilidad del rabanito a sustancias fitotóxicas presentes en la fase de maduración de los residuos en estudio. Esto se contrapone con los resultados de Varnero *et al.* (2006), realizados en muestras de estos mismos residuos tomadas durante la fase termofílica de las pilas de compostaje, en donde se observó una mayor sensibilidad de lechuga por sobre rabanito. Esto podría atribuirse a la presencia de ciertos metabolitos fitotóxicos para la lechuga, los cuales, se han ido eliminado gradualmente mediante el proceso de degradación oxidativa que tiene lugar en las pilas de compostaje, de modo que, cuando se alcanza la fase de maduración existen menores dificultades para el desarrollo de esta especie.

CONCLUSIONES

La descripción del potencial fitotóxico del material orgánico compostado, durante la fase de maduración del proceso, se establece con mayor sensibilidad en los bioensayos con rabanito, en comparación a los ensayos con lechuga. El IG, como variable que integra diferentes grados de fitotoxicidad, representa un indicador más robusto para describir el potencial fitotóxico de un material orgánico. Este índice permitiría evaluar el grado de madurez requerido para los residuos orgánicos compostados, que se seleccionen como componente base en la

elaboración de sustratos especializados de uso agrícola, especialmente si se considera que se utilizan en contenedores de volumen reducido, con lo cual se maximiza la zona de retención de diversos metabolitos.

BIBLIOGRAFÍA

- EMINO, E., WARMAN, P. 2004. Biological assay for compost quality. En: Compost Science & Utilization 12(4): 342-348.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2004. Norma Chilena de Compost 2880-2004 (NCh 2880-2004), Compost - Clasificación y Requisitos, 23 pp.
- TIQUIA, S.M. 2000. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig – on – litter system. En: P.R. Warman y B.R. Taylor, Ed., Proceedings of the International Composting Symposium, CBA Press Inc.Truro,NS, p:625-647.
- TMECC. 2001. Test Methods for the Examination of Composting and Compost. U.S. The Composting Council Research and Education Foundation.
- VARNERO, M. T., FAÚNDEZ, P., SANTIBÁÑEZ, C., ALVARADO, P. 2004. Evaluación de lodo fresco y compostado como materia prima para la elaboración de sustrato. Simposio de las Ciencias del Suelo "Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales; Temuco, Chile.
- VARNERO, MT., ORELLANA, R., ROJAS, C., SANTIBÁÑEZ, C. 2006. Evaluación de especies sensibles a metabolitos fitotóxicos mediante bioensayos de germinación. El Medioambiente en Iberoamérica: Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI. Editor Juan F. Gallardo Lancho. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España. Tomo III, 363-369.

- WARMAN, P.R.1999. Evaluation of seed germination and growth test for assessing compost maturity. En: Compost Science & Utilization 7(3):33-37.
- ZUCCONI, F., PERA, A., FORTE, M., DE BERTOLI, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. En: Biocycle 22: 54-57.
- ZUCCONI, F., MONACO, A., FORTE, M., DE BERTOLI, M., 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En: Gasser, J.K.R (Ed.), Composting of Agricultural and Other Wastes. Elsevier, London, U.K, pp. 73-80.