

BALANCE DE LA RELACION CARBONO-NITROGENO PARA UNA OPTIMA DESCOMPOSICION AEROBICA DE LA BORA (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) EN ABONO ORGANICO

Julio C. Rodríguez.*

RESUMEN

Para reducir parcialmente la pérdida de nitrógeno en el compostaje y maximizar el contenido de macronutrientes en los compostes, se compararon las variaciones de los porcentajes totales de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio de la bora con el estiércol de bovino y aserrín y entre los diferentes compostes elaborados. Cinco tipos de mezclas con sus tres réplicas respectivas, bora:estiércol (C/N de 14 y 16), bora: estiércol: aserrín (C/N de 20/1 y 25/1) y bora (C/N de 18/1) fueron humedecidas a un 70% y apiladas a una altura de 1,2 m en armazones de 2 X 1,80 m construidos con palos de bambú y con base en la superficie del suelo. Las pilas fueron cubiertas con hojas de palmeras, dejando cinco ventiladeros verticales para que el compostaje se realice aeróbicamente. Se tomaron muestras, tanto de las mezclas iniciales como la de los compostes para la determinación química de la concentración total de los macronutrientes. Las variaciones de la temperatura y el pH se midieron durante los 90 días de compostaje. La bora, el estiércol y el aserrín se diferenciaron estadísticamente en cuanto a la concentración de nitrógeno ($P<0,01$), calcio ($P<0,001$) y magnesio ($P<0,05$); no siendo así la del fósforo y el potasio. El potasio presentó el mayor porcentaje en los materiales iniciales y en los compostes ($P<0,001$). Se concluye que, estadísticamente, las variaciones de los porcentajes totales de los macronutrientes entre los abonos orgánicos elaborados no fueron significativas como para considerarlos diferentes.

PALABRAS CLAVES: Composte, relación C/N, descomposición aeróbica, *Eichhornia crassipes*.

ABSTRACT

In order to partially reduce the nitrogen loss in the composting and to maximize the macronutrient contents in the compost, we compared the variations in the total percentages of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in water hyacinth in cowdung with sawdust, and in various elaborated composts. Five types of mixtures with their three respective replicates: water hyacinth: cowdung (C/N of 14 and 16), water hyacinth: cowdung: sawdust (C/N of 20/1 and 25/1) and water hyacinth (C/N of 18/1) were humified (70%) and piled up to a height of 1,2 m in 2 x 1,80 m frames, made with bamboo poles and laid on the ground surface. The piles were covered with palms leaving five vertical air holes, so that the aerobic composting method should be carried out. Samples were taken from the initial mixtures as well as from the composts, in order to chemically determine the total concentration of macronutrients. The variations in temperature and in pH were measured during the 90 days of composting. Water hyacinth, cowdung and sawdust were statistically differentiated in relation with the concentration of nitrogen ($P<0,01$), calcium ($P<0,01$) and magnesium ($P<0,05$); but not so for phosphorus and potassium. Potassium presented the highest percentage in the initial material and in the composts ($P<0,001$). We conclude that, statistically, the variations in the total percentages of macronutrients among the elaborated composts were not significant enough to consider them different.

KEY WORDS: Compost, relation C/N, aerobic decomposition, *Eichhornia crassipes*.

INTRODUCCION

Los elementos nutritivos, de importancia en el efecto fertilizante de los compostes, son el nitrógeno, fósforo y potasio. La variación de sus concentraciones totales va a depender de la relación carbono y nitrógeno (C/N) de la mezcla inicial del compostaje, la cual tiene que ser óptima (entre 20 y 40) y para la descomposición bacteriana (Polprasert, 1980).

*Instituto Limnológico. Laboratorio de Recursos Acuáticos II, Universidad de Oriente, Caicara del Orinoco, Venezuela.

El secado natural de la bora en la laguna "Castillero", Caicara del Orinoco, Edo. Bolívar, Venezuela, facilitado por la fluctuación hidrométrica (período de sequía y de lluvia), permite utilizarla como recurso rentable para la elaboración de composte. La relación carbono y nitrógeno (C/N de 18/1) de esta macrófita acuática es baja (Rodríguez, 1994b).

Hay evidencias de que la pérdida de nitrógeno, como amoníaco de las pilas de compostaje, se produce cuando existen relaciones bajas de C/N en la mezcla inicial. Es deseable que esta relación esté en el rango de 20/1 a 40/1. Por lo tanto, el método más sencillo de ajustar la relación C/N es hacer una mezcla de diferentes materiales de contenidos altos y bajos de nitrógeno (Dalzell *et al.*, 1991).

En este trabajo se hicieron diferentes mezclas de bora (C/N de 18/1), estiércol (C/N de 12/1) y aserrín (C/N de 108/1) con el fin de reducir parcialmente la pérdida de nitrógeno en el compostaje y maximizar el contenido de macronutrientes en los diferentes tipos de compostes elaborados. Asimismo, se comparan las variaciones de los porcentajes de macronutrientes de la bora con el estiércol de bovino y el aserrín y entre los diferentes compostes elaborados.

MATERIALES Y METODOS

La bora secada naturalmente (humedad 5,33% ± 1,15 en las márgenes de la laguna "Castillero", planicie de inundación del río Orinoco, ubicada al sur-este de la población de Caicara del Orinoco, Edo. Bolívar, Venezuela fue recolectada y picada en pedazos de 2 a 2,5 cm en un molino a martillo DPM-4 marca Nogueira. El estiércol de bovinos desmenuzado (humedad 3,33% ± 1,15) fue recogido en hatos y/o fundos de la localidad. El aserrín (humedad 4,61 % ± 1,15) fue recolectado en el aserradero de la población.

Es evidente que la relación C/N de la bora está por debajo del rango óptimo de 20 a 40 (Tabla 1). Por lo tanto, se mezclaron proporciones en peso seco de bora, estiércol y de aserrín, calculados según la fórmula propuesta por Polprasert (1989), para obtener mezclas con relación C/N de 14/1; 16/1; 18/1; 20/1 y 25/1:

$$R = \frac{M_1 \cdot F_1(C) + M_2 \cdot F_2(C) + \dots + M_n \cdot F_n(C)}{M_1 \cdot F_1(N) + M_2 \cdot F_2(N) + \dots + M_n \cdot F_n(N)}$$

Donde:

M=kg de cada material a mezclar

F =Fracción de los nutrientes respectivos (C=carbono y N=nitrógeno).

R=Relación carbono-nitrógeno de la mezcla.

TABLA 1. Relación carbono y nitrógeno (C/N) de los materiales utilizados en la mezcla inicial para la elaboración de los compostes.

MATERIALES	%CARBONO	%NITROGENO	C/N
Bora	20,2	1,11	18
Estiércol	18,4	1,49	12
Aserrín	35,7	0,33	108

En la Tabla 2, se observan las cantidades de materiales mezclados para lograr la relación C/N deseada, calculada en base a la fórmula anterior.

TABLA 2. Cantidad (Kg) de materiales orgánicos utilizados para balancear la relación carbono y nitrógeno (C/N) en los diferentes compostes elaborados.

C/N	BORA	ESTIERCOL	ASERRIN
18	3	-----	-----
14	1	1	-----
16	2	1	-----
20	3	1	0,348
25	3	1	1

PROCESO DE DESCOMPOSICION

A nivel piloto, se hicieron tres réplicas para las pruebas de cinco mezclas diferentes (luego de obtener promedios) y se humedecieron en un 70 % para ser apiladas a una altura de 1,20 m, en armazones cuadrados de bambú de 2x1,80 m, con base en la superficie del suelo. Dentro de los armazones se colocaron cinco palos, en posición vertical (uno en el centro y cuatro laterales), con una distancia de 1 m entre los palos. Una vez apiladas las mezclas, se extrajeron los palos para dejar orificios o

ventiladeros dentro de ellas y facilitar el proceso de descomposición aeróbica y evitar los frecuentes volteos de las pilas que generalmente es una labor intensiva (Rodríguez, 1992) (Figura 1).

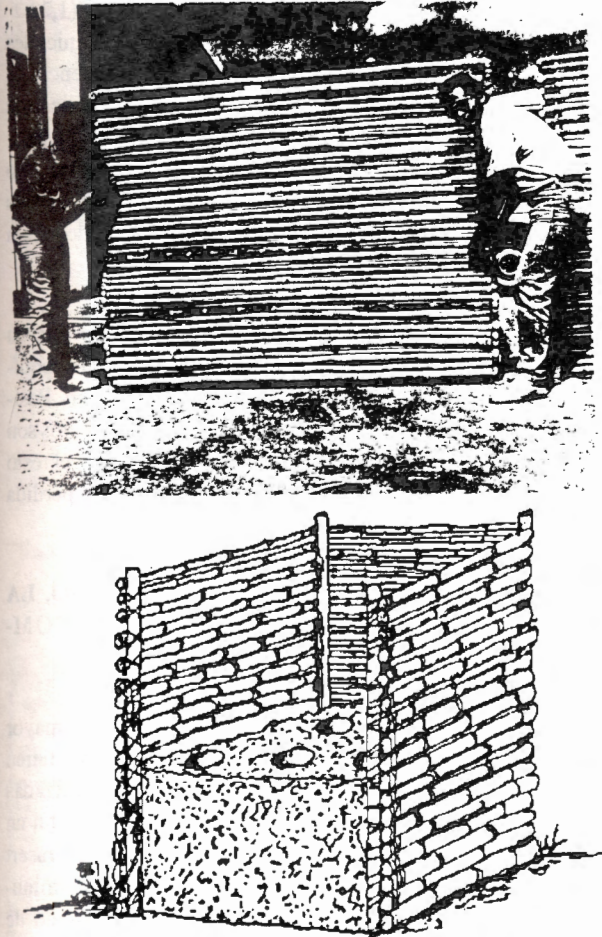


Fig. 1. Método de descomposición aeróbica utilizado para el compostaje de las mezclas iniciales con diferentes balance de la relación carbono y nitrógeno (C/N). A. Armazón de bambú de 2 x 1,80 m. B. Apilamiento de la mezcla.

Las pilas fueron cubiertas, en su parte superior, con hojas de palmeras para controlar la pérdida de calor y humedad. El tiempo de maduración del composte duró tres meses. En este período se midieron las variaciones de temperatura en los ventiladeros con frecuencia de cada cuatro días durante los primeros ocho días y posteriormente cada quince días durante 75 días, utilizando un termómetro digital marca Testoterm con sensor de penetración Pt100 y rango de medida -50°C a $+200^{\circ}\text{C}$.

Durante los noventa días del proceso de descomposición, las pilas fueron volteadas una sola vez, cuando la temperatura promedio de los ventiladeros disminuyó a

temperatura ambiente (a los cuarenta y cinco días de compostaje) Rodríguez (1992). Posteriormente, a los 55 días, el abono orgánico ya maduro presentó una coloración pardo-oscuro, la temperatura entre 27 a 30°C ; la relación C/N de 10 y el olor a tierra húmeda de campo (Dalzell *et al.*, 1991). El pH se determinó según el método estándar de Rand *et al.* (1985), utilizando una relación suelo:agua, 1:2,5 en presencia de KCl 1N. La frecuencia de medida en las pilas fue similar a la de la temperatura. Para la determinación de la humedad, las muestras se secaron en una estufa a 105°C hasta peso seco constante.

Los análisis químicos tanto de los materiales iniciales de la mezcla como los de los diferentes compostes obtenidos, fueron realizados en el laboratorio de Análisis Químico de Suelos y Aguas de la Fundación Servicio al Agricultor (FUSAGRI, Cagua), utilizando los siguientes métodos: El fósforo se determinó según Olsen *et al.* (1954). El potasio y el calcio por fotometría de llama (fotómetro de llama Jenway modelo PFP7). El magnesio por espectrofotometría de absorción atómica y el nitrógeno según la técnica macro-kjeldahl señalada por Bremner (1965).

Los datos experimentales fueron probados en un diseño completamente aleatorio (Análisis de Varianza Simple). Los promedios fueron comparados entre sí por el método de amplitudes de Duncan, tal como lo describe Steel y Torrie (1960).

RESULTADOS Y DISCUSION

NITROGENO, FOSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

En la Tabla 3, se observa que la concentración de nitrógeno en los tres materiales (bora, estiércol y aserrín) varió notoriamente desde el punto de vista estadístico ($P < 0,01$). La prueba Duncan ($P < 0,01$) determinó que el contenido de este nutrimento en el estiércol ($1,46\% \pm 0,27$) fue altamente significativo mayor que aquel en la bora y el aserrín ($1,02\% \pm 0,23$ y $0,44 \pm 0,26$ respectivamente).

Los porcentajes de fósforo y de potasio no variaron significativamente en la bora, el estiércol y el aserrín.

Los porcentajes de calcio y de magnesio variaron significativamente en la bora, el estiércol y el aserrín ($P < 0,001$ y $P < 0,05$ respectivamente). Sin embargo, de acuerdo al contenido de calcio, la prueba Duncan

($P < 0,01$) (Tabla 3) separó dos grupos de materiales: uno de menor porcentaje (estiércol y aserrín) y otro que presentaba el mayor porcentaje (la bora). En cuanto al magnesio, a través de la prueba Duncan ($P < 0,01$) también se distinguieron dos grupos: uno de menor porcentaje (el aserrín) y otro de mayor porcentaje (la bora y el estiércol). Esto significa que la bora podría causar en el compostaje una eficiente regulación en el pH que permitiría elaborar compostes moderadamente alcalinos que puedan mejorar la fertilización de los suelos ácidos (Polprasert, 1989).

Las comparaciones de los porcentajes totales de los macronutrientes entre los compostes con diferentes relaciones C/N se observan en la Tabla 4. Estadísticamente, no se diferenciaron significativamente en cuanto al contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, por lo tanto, no pueden considerarse como diferentes tipos de abonos. Posiblemente, la lenta degradación del aserrín por lo resistente de sus tejidos ante la acción microbiana, el alto contenido de carbono y bajo de nitrógeno requiera un mayor tiempo de maduración de los compostes. Sin embargo, si se comparasen las concentraciones de los macronutrientes disponibles entre los diferentes compostes, quizás se encontrarían variaciones diferenciales. Polprasert (1980) encontró un mayor contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en los compostes con la relación C/N de 20 en comparación con los de 30, utilizando como mezcla inicial lodo, bora y hojas de árboles.

La mineralización de los residuos de plantas han sido discutidos por varios autores (Cheshire *et al.*, 1973; y Jenkinson, 1977). Este proceso, de carácter biocatalítico donde ocurren reacciones bioquímicas de hidrólisis y redox, es considerado muy complicado y puede ser entendido si se toma en cuenta la actividad de los microorganismos. Elserafy *et al.*, (1980) señalan que para acelerar la mineralización de la bora, los microorganismos tienen que consumir el carbono proveniente de otros materiales cuya composición orgánica sea relativamente más fácil de degradar, como por ejemplo celulosa y hemicelulosa. Uno de los componentes principales del tejido de la bora es la lignina, muy resistente a la acción microbial.

Entre los macronutrientes de los materiales de las mezclas iniciales y de los compostes se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0,001$). La prueba Duncan ($P < 0,01$) demostró que el potasio fue el macronutriente que presentó la mayor concentración en los materiales y en los compostes elaborados ($2,31 \% \pm 1,38$ y $2,78 \% \pm 0,66$ respectivamente); seguido del

nitrógeno total con porcentajes de $0,98 \pm 0,47$ y $1,22 \pm 0,24$ respectivamente (Tabla 5). Mientras que el fósforo, el magnesio y el calcio presentaron los menores porcentajes.

El contenido de nitrógeno de los compostes ($1,22 \pm 0,24$) en comparación con el de los materiales iniciales de la mezcla ($0,98 \pm 0,47$) aumentó a consecuencia de la pérdida de carbono por las reacciones metabólicas de los microorganismos aeróbicos. Polprasert (1980) señala que durante la descomposición orgánica el nitrógeno que se incrementa por la disminución del carbono es oxidado a nitrato y normalmente fijado dentro de la pila del composte.

El fósforo, potasio, calcio y magnesio mostraron ligeros cambios al final del compostaje, ya que fisicoquímicamente son menos móviles que el nitrógeno. Posiblemente, la mayor parte de estos macronutrientes son incorporados dentro de las células microbiales y el resto permanecen en el composte, a menos que haya pérdida por lixiviación (Polprasert *op cit.*)

VARIACION DEL VOLUMEN, EL PESO, LA TEMPERATURA Y EL pH EN LOS COMPOSTEROS.

A los 90 días, después de haber tenido lugar la mayor parte del proceso de descomposición, tanto el volumen como el peso de las pilas de todas las mezclas realizadas disminuyeron en un promedio de $45 \pm 4,56 \%$ con un contenido de humedad de $43,7 \pm 0,86 \%$. Polprasert (1989) y Dalzell *et al.* (1991) señalan que esta disminución se debe a la oxidación del carbono a dióxido de carbono y a la pérdida de humedad. Asimismo, por la reducción en tamaño de las partículas por descomposición, lo que originó un mayor empaquetamiento.

Las variaciones de la temperatura en los cinco ventiladeros de cada compostero no se diferenciaron significativamente. En las Figuras 2 y 3 se muestran las curvas normales de la temperatura- tiempo promedio de los cinco ventiladeros de las pilas de compostes, y de cada una de las pilas con diferentes relaciones C/N, respectivamente. Se observa que las pilas pasan a través de etapas de calentamiento gradual (mesófilo, 30° - 45°C), temperatura máxima (termofílica, 46° - 60°C), enfriamiento ($< 60^{\circ}\text{C}$) y maduración ($< 30^{\circ}\text{C}$). Esto coincide con los señalados por Dalzell (1991) y Polprasert (1989). Rodríguez (1994) diferenció tres fases térmicas, denominadas descomposición (55° - 70°C), reconstrucción (35° - 54°C) y síntesis (34° - 54°C) relacionados con la presencia de organismos.

TABLA 3. Comparación del contenido (%) de macronutrientes entre los materiales utilizados para la elaboración de los compostes. (X=promedio; DS= Desviación Estandar; N= Número de Determinacione, F= Prueba Fischer ANOVA I)

MACRONUTRI- MENTOS (%)	N	MATERIALES BORA		DE LA ESTIERCOL		MEZCLA ASERRIN		F
		X	DS	X	DS	X	DS	
Nitrógeno	3	+1,02	0,23	+1,46	0,27	++0,44	0,26	18,48**
Fósforo	3	0,16	0,06	0,50	0,05	0,03	0,01	1,10ns
Potasio	3	3,26	0,93	1,54	1,20	2,12	1,73	1,30ns
Calcio	3	+0,52	0,10	++0,14	0,03	++0,21	0,02	31,70***
Magnesio	3	+0,49	0,10	+0,30	0,16	++0,07	0,04	10,88*

* Primer grupo significativo (Duncan $p<0,05$); ** segundo grupo significativo (Duncan $P<0,05$); * diferencias significativas ($P<0,05$); ** diferencias muy significativas ($P<0,01$); *** diferencias altamente significativas ($P<0,001$).

TABLA 4. Comparación del contenido (%) de macronutrientes totales entre los compostes elaborados con diferentes balance de la relación carbono y nitrógeno (CN) después de los 90 días de descomposición \bar{X} = promedio; DS= Desviación Estandar; N= Número de Determinaciones; F= Prueba Fischer ANOVA I).

MACRONUTRI- MENTOS (%)	N	B(C/N=18/1)		B:E(C/N=14/1)		B:E(C/N=16/1)		B:E:AS(C/N=20/1)		B:E:AS(C/N=25/1)		F
		X	DS	X	DS	X	DS	X	DS	X	DS	
Nitrógeno	3	1,09	0,48	1,37	0,22	1,32	0,12	1,12	0,08	1,24	0,02	0,78ns
Fósforo	3	0,26	0,12	0,32	0,11	0,18	0,06	0,11	0,02	0,17	0,03	3,34ns
Potasio	3	2,50	0,23	2,48	0,05	3,19	1,01	3,16	0,05	2,56	0,64	0,90ns
Calcio	3	0,39	0,25	0,29	0,05	0,48	0,12	0,42	0,04	0,18	0,04	2,51ns
Magnecio	3	0,32	0,09	0,36	0,05	0,31	0,05	0,28	0,01	0,27	0,01	1,53ns

B= bora; E= estiércol; AS= Aserrín; ns= no significativo.

TABLA 5. Comparación entre los porcentajes (%) de macronutrientes totales presentes en los materiales de la mezcla inicial y en los compostes elaborados después de 90 días de descomposición. (X=promedio; DS=Desviación Estandar; F= Prueba Fisher ANOVA I; D=Prueba Duncan ($P<0,01$)).

MACRONUTRIMENTOS (%)	MEZCLA INICIAL (F=17,04; $P<0,01$)			COMPOSTES (F = 167,86; $P<0,001$)		
	X	DS	D	X	DS	D
Fósforo	0,23	0,40		0,21	0,10	
Magnesio	0,29	0,21		0,31	0,05	
Calcio	0,29	0,18		0,33	0,15	
Nitrógeno	0,98	0,47		1,22	0,24	
Potasio	2,31	1,38		2,78	0,66	

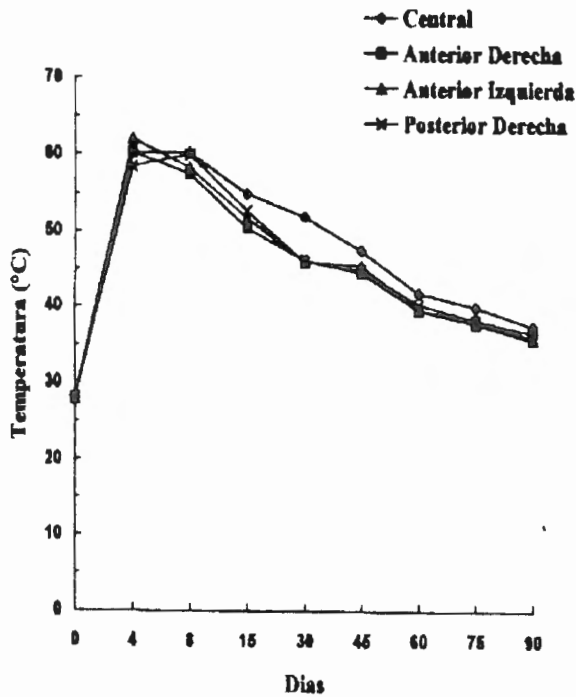


Fig. 2. Variación de la temperatura (°C) en los ventiladeros de las pilas de los composteros durante los 90 días de descomposición.

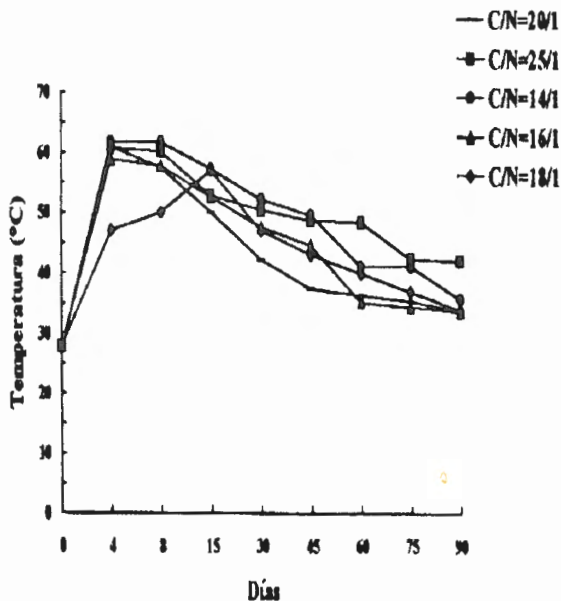


Fig. 3. Variación de la temperatura en los composteros con diferentes balance de la relación carbono y nitrógeno (C/N) durante los 90 días de descomposición.

En la Figura 4, se observan los cambios promedios del pH durante el proceso. El material es ligeramente ácido al comienzo del compostaje (0-4 días), posiblemente, por la liberación de ácidos orgánicos. A los 5 días, las pilas se vuelven ligeramente alcalina hasta alcanzar un valor de 7,80 a los 90 días, tal vez, por la degradación de los ácidos orgánicos que liberan el nitrógeno. Dalzell *et al.* (1991) afirma que al inicio de la descomposición de la materia orgánica se liberan ácidos orgánicos simples, para posteriormente volverse alcalina a medida que las proteínas son atacadas y se libera amoníaco.

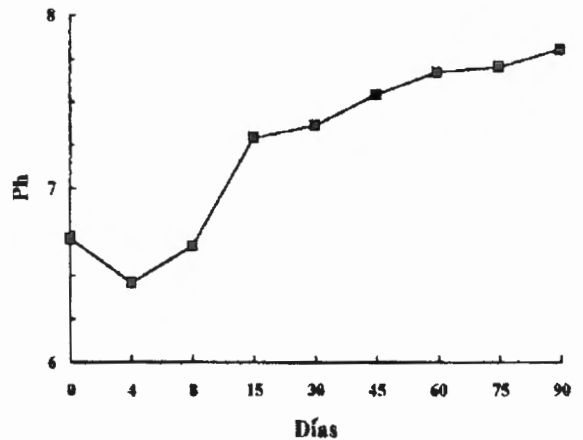


Fig. 4. Variación del pH en las pilas de composteros durante los 90 días de descomposición.

CONCLUSIONES

Existe una variación diferencial de los porcentajes de nitrógeno, calcio y magnesio en los tres materiales de la mezcla inicial, siendo mayor la concentración de nitrógeno en el estiércol, el calcio en la bora y el magnesio en la bora y el estiércol; mientras que los porcentajes de fósforo y potasio no se diferenciaron notoriamente en la bora, el estiércol y aserrín.

El potasio es el macronutriente que presentó la mayor concentración tanto en los materiales de la mezcla como en los compostes elaborados.

La variación de la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en los compostes con balance de la relación C/N de 20/1 y 25/1 no se diferenciaron estadísticamente de aquellos compostes que tenían relación C/N menores de 20/1.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su gratitud al Sr. José Elías González por la realización del dibujo ilustrado en éste trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BREMNER, J.M. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Black, C.A. (Ed). American Soc. of Agron. Madison, Wisconsin, U.S.A. pp.1146.

CHESHIRE, M.V., MUNDIE, C.M., and SHEPPERD, H. 1973. The origin of soil polysaccharide: Transformation of sugars during the decomposition in soil of plant material labelled with ^{14}C , J. Soil Sci., 24:54-68.

DALZELL, H.W., BIDDLESTONE, A.J., GRAY, K.R. y THURANAJAN, 1991. Manejo de suelos: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín de suelos N° 56. FAO, ROMA. 178 pp.

ELSERAFY, Z.M., SONBOL, H.A. y ELTANTAWY, I. M. 1980. The problem of water hyacinth in rivers and canals. I. Production of compost from plant. Soil Sci. Plant Nutr., 26(1):135-138.

JENKINSON, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil.V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C labelled ryegrass decomposing under field conditions, J. Soil Sci., 28:424-434.

OLSEN, S.R., COLE, C. V., WATANABE, F. S. and DEAN, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil extracted with sodium bicarbonato. USDA. CIRC. 939. U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C., USA.

POLPRASERT, C., WANGSUPHACHART, S. and MUTTAMARA, S. 1980. Composting night-soil and water hyacinth in the tropics. Compost Science/Land Utilization 21 (2):25-27.

POLPRASERT, C. 1989. Organic wastes Recycling. Environmental Engineering Division Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. John Wiley & Sons. 357 pp.

RAND, M.C., GREENBERG, A. R. and TARAS, M. J. 1985. Standard method for the examination of water and wastewater, 16th edn. APHA, Washington D.C. 365 pp.

RODRÍGUEZ, J.C. 1992. Conversión de la bora en abono orgánico: Proceso de descomposición aeróbica. Bol. VIII Jornadas Cient. Tec. Educ. Guayana. 66 p.

_____. 1994a. Harvesting and drying Hyacinths the natural way. Aquaphyte 14(2):4-5.

_____. 1994b. Conversión de la bora (*Eichhornia* sp.) en abono orgánico: Evaluación de la temperatura. Saber 6:21-23.

STEEL, R.G.D. and J.H. TORRIE. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw Hill Book Company inc. New York. 481p.