

Estudio de la descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq cv. Likoni

Study of litter decomposition in a pastureland of *Panicum maximum* Jacq cv. Likoni

Saray Sánchez¹, G. Crespo² y Marta Hernández¹

¹ Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

E-mail: saray.sanchez@indio.atenas.inf.cu

² Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba

Resumen

Se realizó un estudio en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Matanzas, con el objetivo de determinar la descomposición de la hojarasca de *Panicum maximum* y su relación con algunos de los factores bióticos y abióticos. La descomposición de la hojarasca se determinó como la pérdida de biomasa a través del tiempo, con relación al peso inicial. Para el estudio de la dinámica de la descomposición se utilizó el método de bolsas de hojarasca (*litter bags*). Las bolsas medían 10 x 10 x 10 cm, con poros de 1 cm de diámetro, lo cual permite el acceso al interior de un amplio rango de la biota edáfica. Se distribuyeron al azar 40 bolsas que contenían hojarasca de *P. maximum*. En cada bolsa se colocaron 20 g de hojarasca (base seca) previamente colectada. Los resultados demostraron que el proceso de descomposición de la hojarasca de *P. maximum* fue lento, ya que a los 210 días la hojarasca aún presentaba el 45,3% de su peso inicial, con una mayor tasa de descomposición en los primeros 30 días. En el material remanente del proceso de descomposición de la hojarasca, la concentración del N-FND se incrementó. La composición taxonómica de la fauna asociada al proceso de descomposición estuvo constituida por tres *phylum*, cinco clases, ocho órdenes, siete géneros y siete especies determinadas. La presencia de una diversa y estable fauna asociada a las bolsas influyó en el proceso de descomposición de la hojarasca. Las especies *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. y *Pycnocelus surinamensis* fueron las de mayor presencia durante todo el proceso. El modelo matemático que contempla el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación, mostró el mejor ajuste en el proceso de descomposición de la hojarasca en este pastizal.

Palabras clave: Factores climáticos, fauna del suelo, hojarasca, *P. maximum*

Abstract

A study was carried out at the Experimental Station of Pastures and Forages "Indio Hatuey", Matanzas, with the objective of determining the litter decomposition of *Panicum maximum* and its relationship to some of the biotic and abiotic factors. The litter decomposition was determined as the loss of biomass in time, with regards to the initial weight. For the study of the decomposition dynamics the method of litter bags was used. The bags measured 10 x 10 x 10 cm, with pores of 1 cm diameter, which allows access inside of a wide range of the edaphic biota. Forty bags that contained litter of *P. maximum* were distributed randomly. In each bag 20 g of previously collected litter (dry base) were put. The results showed that the decomposition process of *P. maximum* litter was slow, because 210 days after being deposited the litter still showed 45,3% of its initial weight, with a higher decomposition rate in the first 30 days. In the remnant material of the process of litter decomposition, the N-NDF concentration increased. The taxonomic composition of the fauna associated to the decomposition process was constituted by three phyla, five classes, eight orders, seven genera and seven determined species. The presence of a diverse and stable fauna associated to the bags influenced the process of litter decomposition.

The species *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. and *Pycnocelus surinamensis* were the ones with higher presence during the whole process. The mathematical model that shows the effect of temperature, relative humidity and rainfall, showed the best adjustment in the process of litter decomposition in this pastureland.

Key words: Climatic factors, litter, *Panicum maximum*, soil fauna

Introducción

La descomposición de la hojarasca constituye la vía de entrada principal de los nutrientes en el suelo y es uno de los puntos clave del reciclado de la materia orgánica y los nutrientes (Vitousek, Turner, Parton y Souford, 1994; Aerts y De Caluwe, 1997). Varios autores han estudiado con detalle la dinámica de la descomposición de la hojarasca de plantas leñosas, tanto en climas templados como en el mediterráneo (González y Gallardo, 1995; Álvarez-Sánchez y Becerra, 1996; Berg, 2000). Sin embargo, hay pocos estudios sobre la dinámica de la descomposición de la hojarasca en pastizales (Bardgett y Shine, 1999), a pesar de su importancia en la producción primaria y secundaria, sobre todo en sistemas donde los nutrientes disponibles para la vegetación escasean, como ocurre en los ecosistemas de pastizales.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la descomposición de la hojarasca y su relación con algunos de los factores bióticos y abióticos presentes en un pastizal de *Panicum maximum*.

Materiales y Métodos

Las investigaciones se realizaron en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", situada entre los 22°, 48' y 7" de latitud Norte y los 81° y 2' de longitud Oeste, a 19,01 msnm, en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

El suelo donde se llevó a cabo la fase experimental se clasifica como Ferralítico Rojo lixiviado (Hernández *et al.*, 1999).

La investigación se inició en febrero del 2004 y se extendió hasta septiembre de ese año. La descomposición de la hojarasca se determinó como la pérdida de biomasa a través del tiempo, con relación al peso inicial (Liu, Fox y Xu, 2000).

Introduction

Litter decomposition constitutes the main entrance way of soil nutrients and is one of the essential points of organic matter and nutrient recycling (Vitousek, Turner, Parton and Souford, 1994; Aerts and De Caluwe, 1997). Several authors have studied in detail the dynamics of litter decomposition of ligneous plants, in temperate as well as Mediterranean climates (González and Gallardo, 1995; Álvarez-Sánchez and Becerra, 1996; Berg, 2000). However, there are few studies about the dynamics of litter decomposition in pasturelands (Bardgett and Shine, 1999), in spite of its importance in primary and secondary production, especially in systems where the available nutrients for vegetation are scarce, as in the pastureland ecosystems.

The objective of this work was to determine the litter decomposition and its relationship to some of the biotic and abiotic factors present in a pastureland of *Panicum maximum*.

Materials and Methods

The research was carried out at the Experimental Station of Pastures and Forages "Indio Hatuey", located between 22°, 48' and 7" latitude North and 81° and 2' longitude West, at 19,01 meters above sea level, in the Perico municipality, Matanzas province, Cuba (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

The soil on which the experimental stage was carried out is classified as lixiviated Ferralitic Red (Hernández *et al.*, 1999).

The study started in February, 2004 and continued until September of the same year. The litter decomposition was determined as the loss of biomass in time, with regards to the initial weight (Liu, Fox and Xu, 2000).

For the study of the decomposition dynamics the method of litter bags of Caldentey, Ibarra and Hernández (2001) was used. The bags measured

Para el estudio de la dinámica de la descomposición se utilizó el método de bolsas de hojarasca (*litter bags*) de Caldentey, Ibarra y Hernández (2001). Las bolsas medían 10 x 10 x 10 cm, con poros de 1 cm de diámetro, lo cual permite el acceso, al interior, de un amplio rango de la biota edáfica. Se distribuyeron al azar 40 bolsas que contenían hojarasca de *P. maximum*. En cada bolsa se colocaron 20 g de hojarasca (base seca) previamente colectada. Las bolsas se enumeraron y se colocaron de manera que toda su superficie estuviera en contacto con el horizonte orgánico y se fijaron al suelo mediante estacas metálicas.

Se escogieron al azar cuatro bolsas a los 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 días de situadas en el pastizal. En cada fecha de recolección, a la hojarasca remanente de cada bolsa se le determinó la población de macrofauna (organismos con diámetro mayor que 2 mm) mediante la separación manual, según la metodología del Programa de Investigación Internacional "Biología y Fertilidad del Suelo Tropical" (TSBF), propuesta por Anderson e Ingram (1993), y se calculó el valor promedio de la densidad (individuos por metro cuadrado), así como la abundancia proporcional (%) para cada taxón. La densidad se determinó a partir del número de individuos y la abundancia relativa mediante la relación entre la cantidad de individuos que pertenecen a un grupo taxonómico y el total de individuos de todos los grupos taxonómicos.

Posteriormente, cada muestra se lavó con agua destilada y desionizada y se puso a secar en estufa a 60°C hasta peso constante. Se calculó la diferencia entre el peso inicial y el peso remanente. La muestra seca se molió a tamaño de partícula menor que 1 mm y se le determinó N, P y Ca en base seca, según las técnicas de la AOAC (1995). Se analizaron las fracciones de la fibra (fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, lignina, celulosa, el N unido a la fibra neutro detergente, N-FND y a la fibra ácido detergente, N-FAD) de acuerdo con Van Soest y Wine (1968). La hemicelulosa se calculó mediante la diferencia de la FND-FAD y el contenido celular mediante 100-FND (Herrera, 1981).

10 x 10 x 10 cm, with pores of 1 cm diameter, which allows the access to the inside of a wide range of the edaphic biota. Forty bags that contained *P. maximum* litter were randomly distributed. In each bag 20 g of previously collected litter (dry base) were put. The bags were numbered and placed so that their entire surface was in contact with the organic horizon and were fixed to the soil by means of metallic stakes.

Four bags were chosen randomly 30, 60, 90, 120, 150, 180 and 210 days after being placed in the pastureland. In each collection date, in the remnant litter of each bag the macrofauna population (organisms with a diameter higher than 2 mm) was determined through manual separation, according to the methodology of the International Research Program "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF), proposed by Anderson and Ingram (1993), and the mean value of density (individuals per square meter) was calculated, as well as the proportional abundance (%) for each taxon. The density was determined from the number of individuals and the relative abundance by means of the relationship between the quantity of individuals that belong to a taxonomic group and the total of individuals of all the taxonomic groups.

Afterwards, each sample was washed with distilled and deionized water and put to dry in stove at 60°C until constant weight. The difference between the initial and remnant weight was calculated. The dry sample was ground at a particle size lower than 1 mm and N, P and Ca on dry base were determined, according to the techniques of the AOAC (1995). The fiber fractions were analyzed (acid detergent fiber, neutral detergent fiber, lignin, cellulose, N bound to neutral detergent fiber, N-NDF and to acid detergent fiber, N-ADF) according to Van Soest and Wine (1968). The hemicellulose was calculated by the difference of NDF-ADF and the cell content by means of 100-NDF (Herrera, 1981).

During the decomposition process the performance of temperature, relative humidity, rainfall and distribution of rainy days were recorded daily.

Durante el proceso de descomposición se registró diariamente el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones y la distribución de los días con lluvias.

Análisis matemático. Se realizó análisis de varianza según modelo lineal de clasificación simple. Se aplicó la dócima de Duncan (1955) en los casos necesarios.

Se comprobaron los supuestos de normalidad de los errores por la prueba modificada de Shapiro Wilk (Royston, 1982), así como la homogeneidad de la varianza según la prueba de Bartlex (1937) para verificar la normalidad de los datos y para la uniformidad de la varianza; en los casos de no cumplirse, se transformó la variable según $\sqrt{x}$.

Se utilizó el análisis de correlación y regresión lineal y múltiple para conocer la interrelación entre las variables y los modelos de mejor ajuste. Se consideró como variables independientes: los días, los factores climáticos y la frecuencia acumulada de la macrofauna; y como variables dependientes la composición química de la hojarasca remanente, el porcentaje de biomasa perdida y el peso de la hojarasca residual.

Para el procesamiento de la información se utilizó el software estadístico INFOSTAT 2001, versión 1.

Resultados y Discusión

La disminución del peso de la hojarasca en este pastizal fue significativa entre las diferentes fechas de descomposición, aunque a los 210 días de colecta la hojarasca aún presentaba el 45,3% de su peso inicial (fig. 1) y la mayor tasa de descomposición ocurrió en los primeros 30 días (tabla 1).

Esta mayor tasa de descomposición en las primeras etapas coincide con lo informado por Martín (1995), quien señaló que el ciclo de descomposición de la hojarasca consta de tres etapas: 1) biodegradación rápida de la mayoría de los compuestos hidrosolubles y polisacáridos, debido a la acción microbiana y a los pluviolavados que ocurren en los primeros 20 ó 30 días; 2) disminución lenta de los compuestos

Mathematical analysis. Variance analysis was carried out according to lineal model of simple classification. Duncan's test (1955) was applied where necessary.

The normalcy assumptions of the errors were tested by means of the modified test of Shapiro Wilk (Royston, 1982), as well as the homogeneity of the variance according to the test of Bartlex (1937) in order to verify the normalcy of the data and for the variance uniformity; in the cases it was not achieved, the variable was transformed according to $\sqrt{x}$.

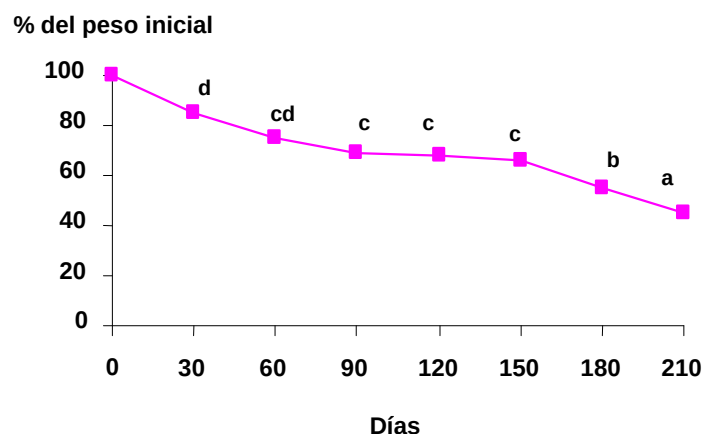
The correlation and lineal and multiple regression analysis was used to know the interrelation among the variables and better adjustment models. The days, climatic factors, and cumulative frequency of the macrofauna were considered as independent variables; and as dependent variables: the chemical composition of remnant litter, percentage of lost biomass and weight of residual litter.

For the information processing the statistical software INFOSTAT 2001, version 1 was used.

Results and Discussion

The litter weight decrease in this pastureland was significant between the different decomposition dates, although at 210 days of collection the litter still showed 45,3% of its initial weight (fig. 1) and the highest decomposition rate occurred in the first 30 days (table 1).

This higher decomposition rate in the first stages coincides with the report by Martín (1995), who pointed out that the cycle of litter decomposition has three stages: 1) fast biodegradation of most of the hydrosoluble and polysaccharide compounds, due to the microbial action and the rain washout that occur in the first 20 or 30 days; 2) slow decrease of phenolic hydrosoluble compounds and hemicelluloses due to fragmentation, transport, mix and biodegradation of litter, due to the microbial and fauna attack; and 3) increase in the content of lignins and proteins, due to the humic and mineral transformations with the washout of newly-formed hydrosoluble compounds. For such



Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias a $P < 0,05$ (Duncan, 1955)

Fig. 1. Comportamiento de la descomposición de la hojarasca en el pastizal de *P. maximum*.

Fig. 1. Performance of litter decomposition in the pastureland of *P. maximum*.

Tabla 1. Tasa de descomposición de la hojarasca en el pastizal de *P. maximum*.

Table 1. Litter decomposition rate in the pastureland of *P. maximum*.

Días	Tasa g g ⁻¹ día ⁻¹
30	0,10 ^a
60	0,03 ^b
90	0,02 ^b
120	0,01 ^b
150	0,009 ^b
180	0,013 ^b
210	0,008 ^b
EE ±	0,014***

a,b Medias con letras diferentes difieren significativamente a $P < 0,05$ (Duncan, 1955)

*** $P < 0,001$

hidrosolubles fenólicos y las hemicelulosas por la fragmentación, el transporte, la mezcla y la biodegradación de la hojarasca, debido al ataque microbiano y faunístico; y 3) aumento en el contenido de ligninas y proteínas, por las transformaciones húmica y mineral con el lavado de los hidrosolubles neoformados. Por ello la velocidad de descomposición decrece en el tiempo, debido a que las sustancias más fáciles de descomponer se agotan primero y queda posteriormente un sustrato lignico más biorresistente.

reason, the decomposition rate decreases in time, because the substances that are easier to decompose are depleted first and remains afterwards a more bio-resistant lignin substratum.

The mean rate of litter decomposition of this grass (0,026 g⁻¹ day⁻¹) was close to that found by other authors in the litter of other grasses. Thus Sandoval (2006), in pasturelands of *Brachiaria brizantha*, obtained a rate of 0,02 g g⁻¹ day⁻¹ during the evaluated period (nine months); while Boddey, Macedo, Tarré, Ferreira, Oliveira, Rezende, Cantauritti, Pereira, Alves and Urquiaga (2004) found a rate of 0,030 g g⁻¹ day⁻¹ in the study of N recycling in pasturelands of *Brachiaria humidicola* in Brazil, with a humid tropical climate.

The correlation between the percentage of lost biomass and the chemical composition of the remnant litter (table 2) showed a higher value with N-NDF and lignin. These two indicators are pointed out by Melillo, Aber and Muratore (1982) and Tian (1992) as materials that decompose with difficulty, for which as the most labile compounds decrease, an increase occurs in the concentration of the most recalcitrant ones.

Taking into consideration the highest correlations found with the lignin and N-NDF

La tasa media de descomposición de la hojarasca de esta gramínea ($0,026 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) fue cercana a lo encontrado por otros autores en la hojarasca de otras gramíneas. Así Sandoval (2006), en pastizales de *Brachiaria brizantha*, obtuvo una tasa de $0,02 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ durante el período evaluado (nueve meses); mientras que Boddey, Macedo, Tarré, Ferreira, Oliveira, Rezende, Cantauritti, Pereira, Alves y Urquiaga (2004) encontraron una tasa de $0,030 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en el estudio de reciclaje de N en pastizales de *Brachiaria humidicola* en Brasil, con un clima tropical húmedo.

La correlación entre el porcentaje de biomasa perdida y la composición química de la hojarasca remanente (tabla 2) mostró un mayor valor con el N-FND y la lignina. Precisamente estos dos indicadores se señalan por Melillo, Aber y Muratore (1982) y Tian (1992) como materiales de difícil descomposición, por lo que en la medida que disminuyen los compuestos más lábiles, se produce un aumento en la concentración de los más recalcitrantes.

Tabla 2. Relación entre el porcentaje de biomasa perdida de *P. maximum* y la composición química de la hojarasca remanente.

Table 2. Relationship between the percentage of lost biomass of *P. maximum* and the chemical composition of the remnant litter.

	Biomasa perdida
Nitrógeno total	0,28
FND	-0,44*
FAD	-0,34
Lignina	0,70**
Celulosa	0,09
Hemicelulosa	0,35
Contenido celular	-0,53**
Relación lignina/Nt	0,64**
N-FND	0,85**
N-FAD	0,63**

Al tomar en consideración las mayores correlaciones encontradas con las concentraciones de lignina y de N-FND, se determinó la variación que experimentaron estos indicadores durante el proceso de descomposición de la hoja-

concentrations, the variation experienced by these indicators during the litter decomposition process was determined. In this sense, it was found that only the N-NDF concentration showed significant adjustment ($R^2 = 0,73$, $P < 0,005$) to the lineal model (fig. 2) and it indicates that as the decomposition passed the concentration of this indicator increased.

These changes could be the response to the effect produced by the soil fauna on the litter during its decomposition process, shown in: the chemical degradation produced by microorganisms, the feeding strategies that are established among some invertebrates and microorganisms, and the action of the mineral-rich excreta of most invertebrates; although it has also been found that as the decomposition process occurs, the substances of easier microbial attack are depleted and those substances that are more difficult to decompose remain in the remnant litter. Nevertheless, it will be necessary to study further the causes of the increase of the concentration of certain chemicals in the litter as its decomposition process occurs.

The literature cites increases in the concentration of diverse indicators of the chemical composition present in litter during the decomposition process. For example, Edmonds and Thomas (1995) and Badejo, Nathaniel and Tian (1998) found increases in the concentration of lignin, tannins, cellulose, hemicellulose, nitrogen and carbon. These changes are related to the colonization and activity of the decomposing fauna (Hunter, Adl, Pringle and Coleman, 2003; Barajas-Guzmán and Álvarez-Sánchez, 2003).

In order to determine the effect of the climatic factors in the decomposition process different models were studied. In this sense, the ones that explained that relationship with higher adjustment range (table 3) showed high coefficients of determination (R^2); however, the model that presents the rain distribution (rainy days) as independent variable showed the highest value. This remarkable action of rainfall on the decomposition process could be due to its direct action on litter fragmentation, as well as on the

rasca. En este sentido, solo se encontró que la concentración de N-FND mostró ajuste significativo ($R^2=0,73$, $P<0,005$) al modelo lineal (fig.2) e indica que a medida que transcurrió el proceso de descomposición se incrementó la concentración de este indicador.

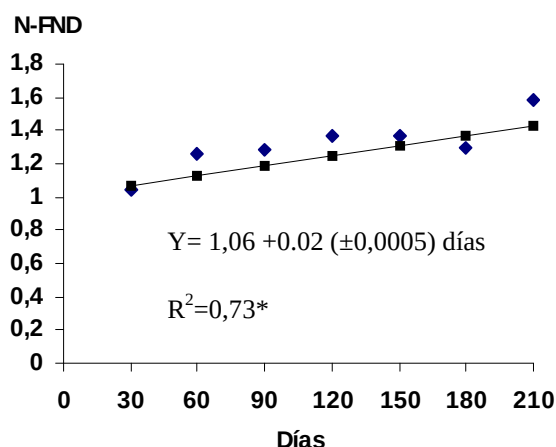


Fig. 2. Variaciones en la concentración del N-FND en la hojarasca del pastizal de *P. maximum* durante su descomposición.

Fig. 2. Variations in the concentration of N-NDF in the litter of the *P. maximum* pastureland during its decomposition.

Estos cambios pudieran ser la respuesta al efecto que produce la fauna del suelo en la hojarasca durante su proceso de descomposición, manifestado en: la degradación bioquímica producida por los microorganismos, las estrategias alimentarias que se establecen entre algunos invertebrados y microorganismos, y la acción de los excrementos ricos en minerales de la mayoría de los invertebrados; aunque también se ha encontrado que en la medida que transcurre el proceso de descomposición, se agotan las sustancias de más fácil ataque microbiano y quedan en la hojarasca remanente aquellas sustancias de difícil descomposición. No obstante, será necesario profundizar en el conocimiento de las causas del aumento de la concentración de determinados compuestos químicos en la hojarasca, en la medida que se produce su proceso de descomposición.

provision of adequate moisture of the substratum, which together with the action of the temperature could offer more favourable conditions for the activity of the biota responsible for decomposition (Smith and Bradford, 2003).

Vanlauwe, Sanginga and Merckx (1997) found that the biomass loss had better correlation with the number of rainy days than with the total quantity of rainfall, although these results were based on artificially applied rainfall regimes and the combined effect of other climatic variables was not taken into consideration.

In this research it is interesting to emphasize that when the combined climatic factors were considered, such as temperature, relative humidity and rainfall (table 4), the model showed the best adjustment, so that its use could contribute to predict, with certain accuracy, the litter that is lost in the pastureland in a certain time period. For such reason it is necessary to test this model in pasturelands under other environmental conditions.

The taxonomic composition of the macrofauna associated to litter decomposition constitutes another extremely important aspect for understanding this process in pasturelands. The characterization of the macrofauna in the pastureland of *P. maximum* is shown in table 5 and was constituted by two *phyla*, five classes, nine orders, seven genera and seven species. *Phylum Arthropoda* was the most represented, with four classes, and among them the class *Insecta* was the most represented one. The community was constituted by 77% detritivores and 11,11% herbivores and predators.

The presence of detritivorous organisms is very important, because their main function, according to Stork and Eggleton (1992), is nutrient recycling, because they are consumers that feed on detritus and the populations of microorganisms related to it.

The highest density of invertebrates was found in the remnant litter 150 days after the beginning of decomposition (fig. 3), which should be associated to the complex interactions of the factors that have influence during the decomposition process, among them the high

En la literatura se citan aumentos en la concentración de diversos indicadores de la composición química presentes en la hojarasca durante el proceso de descomposición. Por ejemplo, Edmonds y Thomas (1995) y Badejo, Nathaniel y Tian (1998) encontraron aumentos de la concentración de lignina, taninos, celulosa, hemicelulosa, nitrógeno y carbono. Estos cambios se relacionan con la colonización y la actividad de la fauna descomponedora (Hunter, Adl, Pringle y Coleman, 2003; Barajas-Guzmán y Álvarez-Sánchez, 2003).

Para determinar el efecto de los factores climáticos en el proceso de descomposición se estudiaron diferentes modelos. En este sentido, los que explicaron con mayor bondad de ajuste esta relación (tabla 3) presentaron elevados coeficientes de determinación (R^2); sin embargo, el modelo que contempla la distribución de las lluvias (días con lluvias) como variable independiente mostró el mayor valor. Esta acción marcada de las lluvias en el proceso de descomposición puede deberse tanto a su acción directa en la fragmentación de la hojarasca, como en la provisión de humedad adecuada del sustrato, que unido a la acción de la temperatura puede ofrecer condiciones más favorables para la actividad de la biota responsable de la descomposición (Smith y Bradford, 2003).

Vanlauwe, Sangina y Merckx (1997) encontraron que la pérdida de biomasa tuvo mejor correlación con el número de días con lluvias que con la cantidad total de lluvias caídas, aunque estos resultados se basaron en regímenes de llu-

values of mean temperature and the higher quantity of rainy days that occurred in such time period (table 6). However, there could be other factors that were not studied in this work, which could have had incidence too on this behaviour, such as the variation in the concentrations of the substances in the remnant litter and the different kinds of interactions that are present in the trophic chain among the biota communities. Hence the need to study more the characterization of the other organisms that participate in the decomposition of plant detritus.

The macrofauna organisms that participated in the process of litter decomposition in the pastureland of *P. maximum* are shown in figure 4. The presence of the orders varied with the days of decomposition. The preference of the fauna groups in each stage showed a dynamic process, in which the succession of organisms was shown as response to the requirements of each one of them. In this sense, there are populations that only make use of litter as nest or refuge when the humidity and temperature are suitable, and others due to the preference for some specific feed type of plant, animal or fungal origin (Ayres, Dromph and Bardgett, 2006).

It is important to point out that the order Isopoda and Ortoptera, represented mainly by the species *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. and *Pycnocelus surinamensis*, were the ones of higher presence during the whole process. Both groups are considered to be dependent on litter, because it constitutes their main feeding source, which suggests that their presence during the

Tabla 3. Modelos de mejor ajuste entre la hojarasca perdida y los factores climáticos.

Table 3. Better adjustment models between the lost litter and climatic factors.

Indicador	Modelo	Probabilidad	R^2	V(e)	Parámetro		
					β_1	β_2	β_3
Temperatura	Lineal	$P < 0,01$	0,82	35,37	-101,47 $\pm 27,93$	5,37 $\pm 1,12$	
Humedad relativa	Lineal	$P < 0,01$	0,77	45,22	-157,51 $\pm 46,10$	2,45 $\pm 0,59$	
Precipitación	Cuadrático	$P < 0,01$	0,92	20,44	7,96 $\pm 4,68$	0,48 $\pm 0,12$	-0,001 $\pm 0,0005$
Días lluvias	Lineal	$P < 0,001$	0,95	9,05	4,15 $\pm 3,00$	1,99 $\pm 0,19$	

vias aplicados artificialmente y no se tomó en consideración el efecto combinado de otras variables climáticas.

En la presente investigación resulta interesante destacar que cuando se consideraron los factores climáticos combinados, como la temperatura, la humedad relativa y la precipitación (tabla 4), el modelo mostró el mejor ajuste, de modo que su uso pudiera contribuir a predecir, con determinada exactitud, la hojarasca que se pierde en el pastizal en cierto período de tiempo. Por ello es preciso comprobar este modelo en pastizales en otras condiciones ambientales.

La composición taxonómica de la macrofauna asociada a la descomposición de la hojarasca constituye otro aspecto de vital importancia para la comprensión de este proceso en los pastizales. La caracterización de la macrofauna en el pastizal de *P. maximum* aparece en la tabla 5 y estuvo constituida por dos *phylum*, cinco clases, nueve

whole process influences the decomposition of organic matter in the system (Cabrera, 2003). Other individuals, such as arachnids and dermaptera, appeared indistinctly in any stage of the decomposition process, which requires future research.

Figure 5 shows the lineal regression ($R^2 = 0,88$, $P < 0,01$) between the increase of the cumulative frequency of macrofauna and the remnant weight of litter during the decomposition process, and indicates that as the appearance frequency of these individuals increased the residual litter weight decreased, that is, there was a higher decomposition rate. This effect could be related to the mechanical comminution produced by this fauna in litter, which should also facilitate the action of other organisms that participate in the decomposition process. In studies carried out by Attignon, Weibel, Lachat, Sensin, Nagel and Peveling (2004) under other

Tabla 4. Regresión múltiple lineal entre la biomasa perdida de la hojarasca de *P. maximum* y el clima.
Table 4. Lineal multiple regression between the lost biomass of *P. maximum* litter and the climate.

Ecuación	R^2	Significación	V(e)
$Y = -227,59 + 4,52 (\pm 0,47)T + 1,98 (\pm 0,24)HR - 0,06 (\pm 0,001)P$	0,96	$P < 0,05$	6,68

T: Temperatura del aire, °C

HR: Humedad relativa, %

P: Precipitación, mm

Tabla 5. Composición taxonómica y funcional de la macrofauna asociada al proceso de descomposición de *P. maximum*.

Table 5. Taxonomic and functional composition of the macrofauna associated to the decomposition process of *P. maximum*.

Phylla	Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Grupo trófico
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Phyllophaga	<i>Phyllophaga</i> sp.	Detritívoro
		Orthoptera	Blaberidae	Pycnocelus	<i>Pycnocelu surinamensis</i>	Detritívoro
		Lepidoptera	Noctuidae	-	-	Herbívoro
		Dermaptera	-	-	-	-
	Diplopoda	Spirobolida	Trigoniulidae	Leptogoniulus	<i>Leptogoniulus sorormus</i>	Detritívoro
		Polydesmida	Paradoxomatidae	Condromorpha	<i>Condromorpha xantotricha</i>	Detritívoro
	Aracnida	Araneae	Gnaphosidae	-	-	Depredador
	Malacostraca	Isopoda	Armadillidae	Venezillo	<i>Venezillo</i> sp.	Detritívoro
Mollusca	Gastropoda	Stylommatophora	Trachelipidae	Nagarus	<i>Nagarus</i> sp.	Detritívoro
			Bradybaenidae	Bradybaena	<i>B. similis</i>	Detritívoro

(-) No determinado

órdenes, siete géneros y siete especies. El *phylum Arthropoda* resultó el más representado, con cuatro clases, y dentro de ellas la clase Insecta fue la más representada. La comunidad estuvo constituida por el 77% de organismos detritívoros y 11,11% de herbívoros y depredadores.

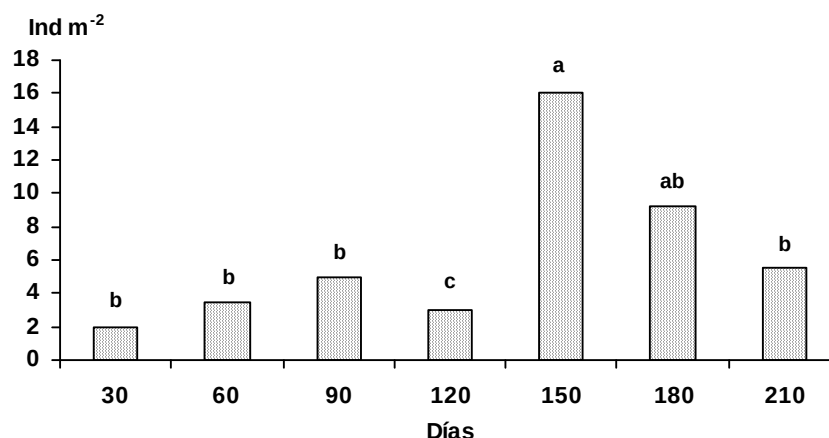
La presencia de organismos detritívoros resulta de gran importancia, pues su función principal, según Stork y Eggleton (1992), es el reciclaje de los nutrientes, debido a que son consumidores que se alimentan del detritus y de las poblaciones de microorganismos asociados a él.

La mayor densidad de invertebrados se encontró en la hojarasca remanente a los 150 días (fig. 3), lo cual debe estar asociado con las complejas interacciones de los factores que influyen durante el proceso de descomposición, entre ellos los elevados valores de la temperatura media y la mayor cantidad de días con lluvias que ocurrieron en dicho período de tiempo (tabla 6). No obstante, pueden existir otros factores no estudiados en el presente trabajo que pudieran haber incidido también en este comportamiento, tales como: la variación en las concentraciones de las sustancias en la hojarasca remanente y las interacciones de diferente índole que se presentan en la cadena trófica entre las comunidades de la biota. De ahí la necesidad de profundizar en la investigación sobre la caracterización del

climatic conditions and different plant species, a similar trend was found; while Ouédraogo, Mando and Brusaard (2004) reported high correlations between the cumulative frequency of organisms (mainly termites) and the decrease of the remnant weight of decomposing litter, in low-input agricultural systems in Africa.

In general, the results showed that the decomposition process of *P. maximum* litter was slow, because 210 days after the beginning of the process the litter still showed 45,3% of its initial weight with a higher decomposition rate in the first 30 days. In the remnant material of the litter decomposition process, the concentration of N-NDF increased. The taxonomic composition of the fauna associated to the decomposition process was constituted by two phyla, five classes, nine orders, seven genera and seven determined species. The presence of a diverse and stable fauna associated to the bags influenced the litter decomposition process. The species *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. and *Pycnocelus surinamensis* were the ones with higher presence during the whole process. The mathematical model that shows the effect of temperature, relative humidity and rainfall, showed the best adjustment in the process of litter decomposition in this pastureland.

--End of the English version--



Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a $P < 0,05$ (Duncan, 1955)

Fig. 3. Densidad de la fauna descomponedora durante el proceso de descomposición de la hojarasca.

Fig. 3. Density of the decomposing fauna during the litter decomposition process.

Tabla 6. Factores climáticos que prevalecieron durante el proceso de descomposición.
Table 6. Climatic factors that prevailed during the decomposition process.

Variable	Días						
	30	60	90	120	150	180	210
Temperatura media, °C	21,44	22,60	24,38	26,04	27,06	26,20	26,76
Humedad relativa media, %	75	73,53	72,32	75,78	80,19	83,65	83,06
Precipitación, mm	23,50	23,10	54,50	68,40	243,30	189,90	165,60
Días con lluvias	5	6	3	11	16	17	16

resto de los organismos que participan en la descomposición del detritus vegetal.

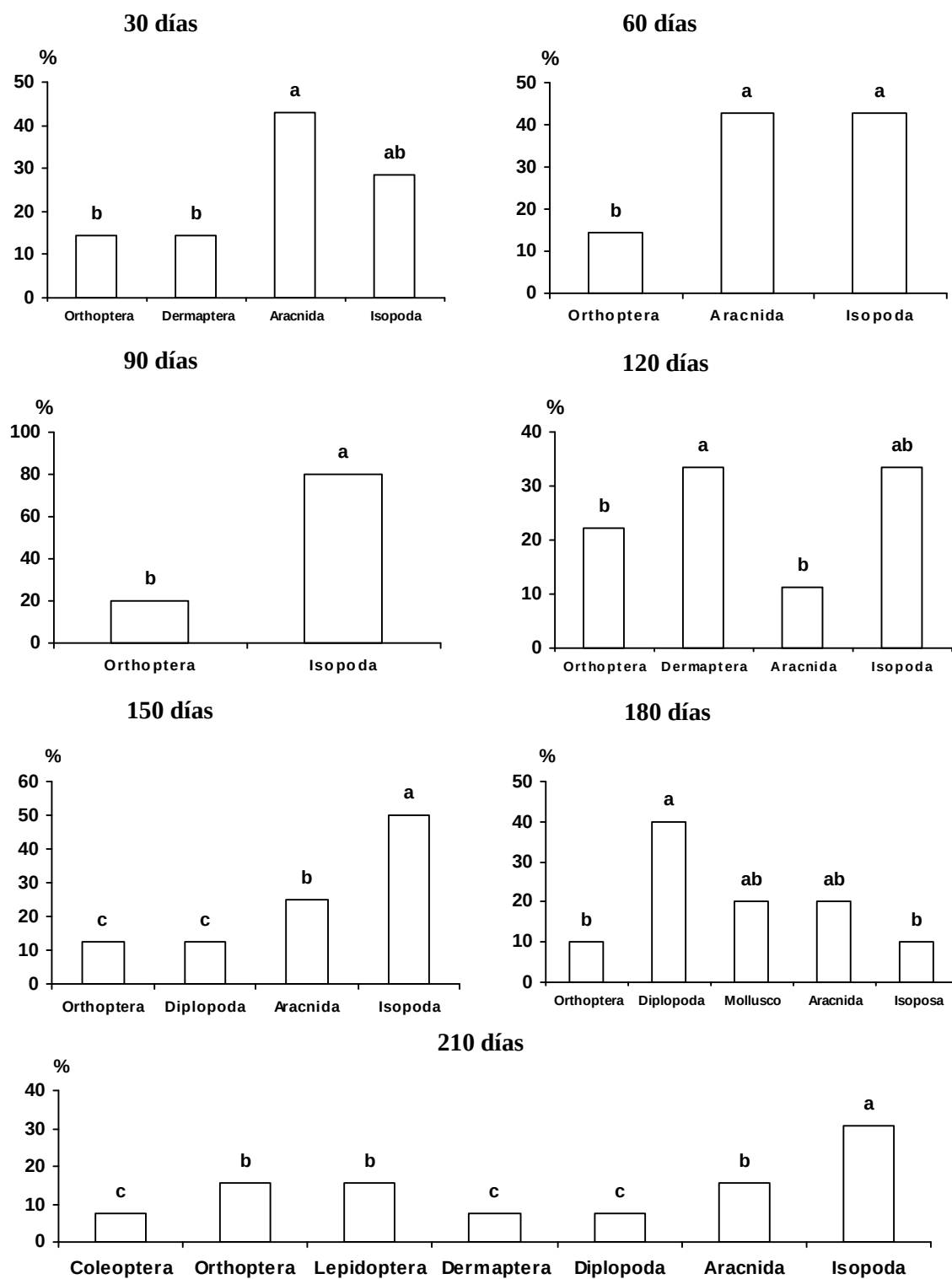
Los organismos de la macrofauna que participaron en el proceso de descomposición de la hojarasca en el pastizal de *P. maximum* se muestran en la figura 4. La presencia de los órdenes varió con los días. La preferencia de los grupos faunísticos en cada etapa mostró un proceso dinámico, donde se manifestó la sucesión de organismos como respuesta a los requerimientos propios de cada uno de ellos. En este sentido, existen poblaciones que solo acuden a la hojarasca como nido o refugio cuando las condiciones de humedad y temperatura son idóneas, y otras por la preferencia de algún tipo específico de alimento de origen vegetal, animal o fúngico (Ayres, Dromph y Bardgett, 2006).

Es importante señalar que los órdenes Isopoda y Orthoptera, representados principalmente por las especies *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. y *Pycnocelus surinamensis*, fueron los de mayor presencia durante todo el proceso. Se considera que ambos grupos son dependientes de la hojarasca, pues constituye su principal fuente de alimento, lo que sugiere que la presencia de ellos durante todo el proceso influye en la descomposición de la materia orgánica en el sistema (Cabrera, 2003). Otros individuos, como los arácnidos y los dermápteros, se presentaron indistintamente en cualquier etapa del proceso, lo cual requiere investigaciones futuras.

La figura 5 muestra la regresión lineal ($R^2=0,88$, $P<0,01$) entre el incremento de la frecuencia acumulada de la macrofauna y el peso remanente de la hojarasca durante el proceso de descomposición, e indica que en la medida que fue mayor la frecuencia de aparición de estos

individuos resultó menor el peso de la hojarasca residual. Este efecto puede estar relacionado con el desmenuzamiento mecánico que produce esta fauna en la hojarasca, lo que también debe facilitar la acción de otros organismos que participan en el proceso de descomposición. En investigaciones realizadas por Attignon, Weibel, Lachat, Sensin, Nagel y Peveling (2004) en otras condiciones climáticas y especies de plantas diferentes, se encontró una tendencia similar; mientras que Ouédraogo, Mando y Brussaard (2004) informaron altas correlaciones entre la frecuencia acumulada de organismos (principalmente las termitas) y la disminución del peso remanente de la hojarasca en sistemas agrícolas de bajos insumos en África.

De forma general, los resultados demostraron que el proceso de descomposición de la hojarasca de *P. maximum* fue lento, ya que a los 210 días la hojarasca aún presentaba el 45,3% de su peso inicial, con una mayor tasa de descomposición en los primeros 30 días. En el material remanente la concentración del N-FND se incrementó. La composición taxonómica de la fauna asociada a dicho proceso estuvo constituida por dos *phylum*, cinco clases, nueve órdenes, siete géneros y siete especies determinadas. La presencia de una diversa y estable fauna asociada a las bolsas influyó en el proceso de descomposición de la hojarasca. Las especies *Venezillo* sp., *Nagarus* sp. y *Pycnocelus surinamensis* fueron las de mayor presencia durante todo el proceso. El modelo matemático que contempla el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación, mostró el mejor ajuste en el proceso de descomposición de la hojarasca en este pastizal.



Letras distintas entre columnas indican diferencia significativa a $P < 0,05$ (Duncan, 1955)

Fig. 4. Abundancia proporcional (%) de los grupos de la fauna asociada a los tiempos de descomposición de la hojarasca.

Fig. 4. Proportional abundance (%) of the fauna groups associated to the litter decomposition times.

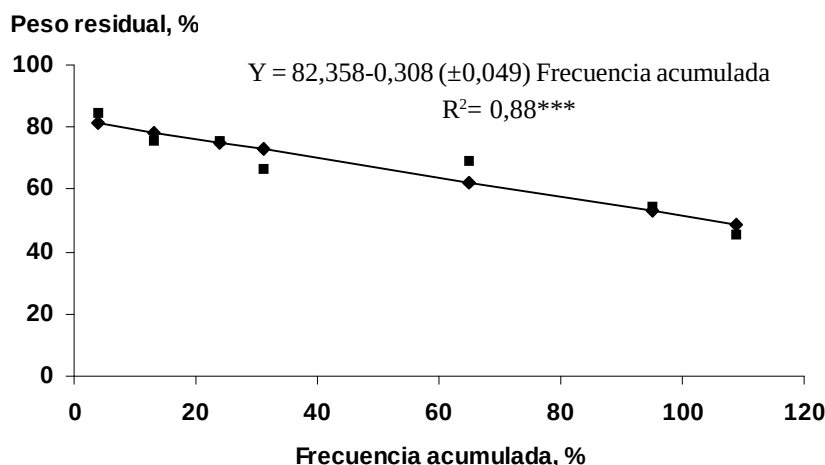


Fig. 5. Relación entre el peso residual de la hojarasca y la frecuencia acumulada de la fauna en el pastizal de guinea.

Fig. 5. Relationship between the residual weight of litter and the cumulative frequency of the fauna in the guinea grass pastureland.

Referencias bibliográficas

- Academia de Ciencias de Cuba. 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana, Cuba. p. 41
- Aerts, R. & De Caluwe, H. 1997. Nutritional and plant mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. *Ecology*. 78:244
- Álvarez-Sánchez, J. & Becerra, R. 1996. Leaf decomposition in a Mexican tropical rain forest. *Biotropica*. 28:657
- Anderson, J.M. & Ingram, J. (Eds.). 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd edition. CAB International. Wallingford, UK. 221 p.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. Ass. Off. Agric. Chem. Washington, D.C.
- Attignon, S.E.; Weibel, D.; Lachat, T.; Sensin, B.; Nagel, P. & Peveling, R. 2004. Leaf litter breakdown in natural and plantation forest of the Lama forest reserve in Benin. *Applied Soil Ecology*. 27:109
- Ayres, E.; Dromph, K.M. & Bardgett, R.D. 2006. Do plant species encourage soil biota that specialise in the rapid decomposition of their litter?. En: <http://www.elsevier.com/locate/soilbio>. [Fecha de consulta: 21 de junio 2007]
- Badejo, M.A.; Nathaniel, T.H. & Tian, G. 1998. Abundance of springtails (Collembola) under four agroforestry trees species with contrasting litter quality. *Biology and Fertility of Soil*. 27:15
- Barajas-Guzmán, G. & Álvarez-Sánchez, J. 2003. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. *Applied Soil Ecology*. 24:91
- Bardgett, R.D. & Shine, A. 1999. Linkages between plant litter diversity, soil microbial biomass and ecosystem functioning temperate grasslands. *Soil Biology & Biochemistry*. 31:317
- Bartlett, M.S. 1937. Properties of sufficiency and statistical test. *Proceedings of the Royal Society of London, Sr. A*. 160:268
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*. 13:133
- Boddey, R.M.; Macedo, R.; Tarré, R.M.; Ferreira, E.; Oliveira, O.C.; Rezende, C.; Cantauritti, R.B.; Pereira, J.M.; Alves, B.J. & Urquiaga, S. 2004. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 103:389
- Cabrera, G. de la C. 2003. Caracterización de la macrofauna del suelo en áreas con manejo agroecológico de Cangrejeras, La Habana, Cuba. Tesis en opción al Título Académico de Master en Ecología y Sistemática Aplicada. Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ciudad de La Habana, Cuba. 36 p.
- Caldentey, J.; Ibarra, M. & Hernández, J. 2001. Litter fluxes and decomposition in *Nothofagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile. *Forest Ecology and Management*. 148:145

- Edmonds, R.L. & Thomas, T.B. 1995. Decomposition and nutrient release from green needles of western hemlock and Pacific silver fir in an old-growth temperate rain forests, Olympic National Park Washington. *Can. J. For. Res.* 25:1049
- González, I.M. & Gallardo, J.F. 1995. El efecto de la hojarasca: una revisión. En: *Anales de Edafología y Agrobiología*. Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca, España. p. 86
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D.; Rivero, L.; Camacho, E.; Ruíz, J.; Salgado, E.J.; Marsán, R.; Obregón, A.; Torres, J.M.; González de la Torre, J.E.; Orellana, R.; Paneque, J.; Nápoles, P.; Fuentes, E.; Durán, J.L.; Peña, J.; Cid, G.; Ponce de León, D.; Hernández, M.; Frómeta, E.; Fernández, L.; Carcés, N.; Morales, M.; Suárez, E.; Martínez, E. & Ruíz de León, J.M. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. p. 26
- Herrera, R.S. 1981. Influencia del fertilizante nitrogenado y la edad del rebrote en la calidad del pasto Bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* vc Coast cross 1). Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 145
- Hunter, M.D.; Adl, S.; Pringle, C.M. & Coleman, D.C. 2003. Relative effects of macroinvertebrates and habitat on the chemistry of litter during decomposition. *Pedobiología*. 47:101
- InfoStat. 2001. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 1. Córdoba, Argentina.
- Liu, W.; Fox, J.E.D. & Xu, Z. 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China. *Ecol. Res.* 15:435
- Martín, A.E. 1995. Reciclado de bioelementos a través de la hojarasca en ecosistemas forestales de la Sierra de Gata. Sistema Central Español. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias Químicas, España.
- Melillo, J.M.; Aber, J.D. & Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. 63:621
- Ouédraogo, E.; Mando, A. & Brussaard, L. 2004. Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Applied Soil Ecology*. 27:259
- Royston, P. 1982. An Extension of Shapiro and wilk's test for normality to large samples. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*. 31:115
- Sandoval, I.E. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy, Muy, Nicaragua. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 160
- Smith, V.C. & Bradford, M.A. 2003. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*. 24:197
- Stork, N.E. & Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicator of soil quality. *Am. J. Altern. Agric.* 7:38
- Tian, G. 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant soil under humid tropical conditions. PhD Thesis. Wageningen Agriculture University, The Netherlands
- Vanlauwe, B.; Sanginga, N. & Merckx, R. 1997. Decomposition of four *Leucaena* y *Senna* prunings in alley cropping systems under sub-humid tropical conditions. The process and its modifiers. *Soil Biology and Biochemistry*. 29:131
- Van Soest, P.J. & Wine, R.H. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fibre with permanganate. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*. 51:780
- Vitousek, P.M.; Turner, D.R.; Parton, W.J. & Souford, R.L. 1994. Litter decomposition on the Manua Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms and models. *Ecology*. 75:418

Recibido el 15 de septiembre del 2007

Aceptado el 3 de octubre del 2007