

# **CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y SU APLICABILIDAD EN EL USO DE FOLLAJES VERDES COMO FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIMENTOS EN SISTEMAS AGROFORESTALES**

## **Biochemical Changes and their Application for Green Manure use, as Organic Matter and Nutrient Source, in Agroforestry Systems**

Heliodoro Argüello Arias<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

El uso de abonos verdes es una práctica que, potencialmente, puede ofrecer además de beneficios indirectos como conservación de suelos, así como su humedad e incremento de los microorganismos presentes en él, otros beneficios directos como el aporte de materia orgánica y nutrimentos al suelo.

Sin embargo, los agricultores muchas veces omiten esta práctica por la aparente escasez de fuentes de abono verde en sus fincas, ignorando que algunas especies arbóreas, presentes en sus fincas o en las de sus vecinos, pueden constituirse en las fuentes buscadas.

En otro caso, si el agricultor está usando abonos verdes, la mayoría de las veces, ignora si el material usado es capaz de descomponerse y liberar los nutrimentos en el lapso que corresponde al desarrollo del cultivo. En este sentido, lo ideal sería conocer tanto la curva de nutrientes requeridos por el cultivo, como la curva de liberación de los mismos a través del tiempo, a fin de ajustar las dos en el campo para lograr la máxima eficiencia.

En las dos situaciones planteadas, es importante disponer de un indicador que permita elegir una fuente de abono verde en el momento de su aplicación. Hasta ahora, esto se puede lograr a través de estudios exhaustivos de la dinámica de descomposición. Sin embargo, estos estudios son complejos y costosos en dinero y tiempo, por lo tanto inaccesibles para el agricultor.

En este trabajo se evalúan los indicadores más importantes, reportados por la literatura, a través del proceso de descomposición y liberación de nutrimentos del follaje de ocho especies de interés agroforestal en la franja premontana de Colombia y se concluye que, para este grupo de especies, la relación lignina/nitrógeno inicial del follaje resultó ser el indicador más robusto, permitiendo predecir la velocidad de descomposición.

### **SUMMARY**

Using green manure potentially can offer indirect benefits, like soil conservation and improvement of soil humidity and soil microorganisms; as well as direct benefits like organic matter and nutrients. However, some farmers do not adopt this technology due the apparent scarcity of the green manure sources in their farms, ignoring the fact that some species, present in their farms or close to them, can fill their requirements. In other situation, when the farmer already is using green manure, in most cases, he ignores if the used material is able to release the organic matter and nutrients, matching the crop requirements, during the season growth. In this way, the goal could be that the farmer be able to apply both, the curve of the crop nutrient requirements, and the curve of the green manure nutrient release, to achieve the best crop performance. In both of the described situations it is important to have an indicator to choose a green manure source. Today it is possible to know the decomposition and mineralization rates and dynamics, through expensive, in time and money, besides of very complex experiments. In consequence practically no farmers are interested in doing them.

This research tested the most important decomposition indicators, reported by the literature, through the decomposition and nutrient release process

---

<sup>1</sup> M.Sc. en Recursos naturales, profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Apartado 14490. Santafé de Bogotá, Colombia.

observed in the foliage of eight common species from the Colombian Midlands. The findings of this research suggest that for the tested species the lignine/nitrogen ratio is the most robust indicator predicting the decomposition rate.

## KEYWORDS

Decomposition indicators, lignine/nitrogen ratio, green manure, Colombian midlands

## INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de sistemas de producción sostenida, especialmente para las zonas tropicales donde los problemas socioeconómicos sumados a los de alta susceptibilidad a la erosión y baja fertilidad del suelo, producen mermas significativas de la productividad y los sistemas agroforestales parecen ser ventajosos a corto y largo plazo, especialmente por el aporte de materia orgánica y nutrientes a través del componente arbóreo.

La literatura reporta estudios con muchas especies que, adaptadas a diferentes ambientes, aparentemente cumplen este papel, habiéndose evaluado, para algunas de ellas la producción de biomasa en diferentes sistemas de manejo de podas, densidades de plantación y arreglos espaciales y cronológicos, así como, también, la producción del cultivo asociado. Sin embargo se sabe muy poco acerca de la tasa de descomposición y liberación de nutrientes, aspectos de capital importancia que permitirían ajustar las podas del componente arbóreo a los ciclos de los cultivos y/o el manejo del cultivo asociado a las curvas de liberación de nutrientes del follaje en descomposición, dependiendo del material disponible de cualquier sistema agroforestal.

Para incrementar la eficiencia de esta tecnología, es importante encontrar indicadores que, fácilmente, puedan predecir la dinámica de la descomposición y la mineralización. El presente trabajo pretende evaluar algunos indicadores reportados en la literatura, como facilitadores del aporte potencial de materia orgánica y nutrientes a través de la descomposición del follaje de las siguientes especies: *Albizia carbonaria* Britton ex Britton et Wilson, *Ajanus cajan* (L) Pers., *Cassia grandis* L. f., *Erythrina edulis* Triana, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, *Ilex nayana* Cuatr., *Phyllanthus acuminatus* Vahl. y *Sesbania grandiflora* (L.) Pers..

## Los objetivos son

- a) Evaluar la tasa de descomposición del follaje colocado sobre el suelo a campo descubierto, a través de la pérdida de peso seco, de cada una de las especies.
- b) Cuantificar las relaciones bioquímicas iniciales y a través del proceso de descomposición.
- c) Discutir la aplicabilidad de los indicadores reportados por la literatura en el caso de las condiciones del sitio experimental.

El planteamiento de los objetivos surgió de la formulación de la siguiente hipótesis:

Existen diferencias en la tasa de descomposición, del follaje, entre un grupo de especies debido a la composición bioquímica.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### El ciclaje de nutrientes en los sistemas agroforestales.

En un sistema agroforestal, el componente arbóreo puede contribuir al mantenimiento del ciclaje de nutrientes de la siguiente manera (OET-CATIE, 1986):

- a. Desarrollando una estera densa de raíces con micorrizas, asemejándose al bosque natural en su función de disminuir el lavado de nutrientes;
- b. Produciendo hojarasca abundante que contribuye a aumentar la capa de humus;
- c. Proveyendo fuentes adicionales de nitrógeno, por la utilización de especies fijadoras de este nutriente; y
- d. En algunos casos, absorbiendo nutrientes de las capas profundas del suelo, ya sea nutrientes lavados de las capas superiores o aquéllos liberados durante los procesos de meteorización de las rocas, transportándolos a los horizontes superficiales.

Los mecanismos de ciclaje de nutrientes se encuentran, en su mayor parte, localizados en las capas densas de raíces y humus de la superficie del suelo (OET-CATIE, 1986), en el lavado de la lluvia (flujo a lo largo de troncos, ramas y hojas) y en la descomposición tanto del follaje caído como de las raíces (Sánchez, 1981).

Existen en la literatura numerosos ejemplos de la contribución potencial de biomasa y nutrientes de varias especies leguminosas leñosas al ser in-

tegradas dentro de sistemas de producción de cultivos. La contribución de nutrientes es notable, especialmente en nitrógeno y las cantidades de fósforo y potasio pueden ser importantes. Para sólo citar un ejemplo, Barón (1987) reporta un aporte 114 Kg de nitrógeno, 7,4 Kg de fósforo y 51,4 Kg de potasio provenientes de 2630 Kg de follaje de *Gliciridia sepium* (matarratón) obtenidos a través de un cultivo en callejones, asociado con maíz y luego de dos podas.

### **Cambios en composición y habilidad para descomponerse en follajes arbóreos**

Experimentos para medir la habilidad de materiales orgánicos para descomponerse han sido reportados en la literatura por Waksman y Tenny (1932), Rege (1931), Fassbender (1982) y Melillo et al (1982). Waksman y Tenny encontraron que un contenido de nitrógeno de un follaje arbóreo de 1,7% es suficiente para cubrir las necesidades de los microorganismos activos en la descomposición dentro de un período de cuatro semanas. Si el contenido de nitrógeno es menor, se requerirá una fuente adicional de nitrógeno para lograr su descomposición total.

Rege (1931), encontró que la habilidad para que un material se desconponga puede ser predecida a través de la relación pentosan/lignina de un material. Si esta relación es mayor de 1, el material podría descomponerse rápidamente, si la relación está entre 0,5 y 1, lentamente y si menor de 0,5 el material se descompondría muy lentamente. El pentosan (carbohidratos descomponibles fácilmente) es llamado el "factor energético" y la lignina el "factor inhibitorio".

Fassbender (1982) anota que, siendo la descomposición un proceso principalmente microbiano, a causa de ser heterótrofos con respecto al carbono, éstos requieren de un sustrato con cantidades adecuadas de este elemento. Así mismo, señala a la relación C/N del sustrato, la relación lignina/celulosa y el contenido de minerales entre los factores más importantes en el proceso de descomposición. Fassbender (1982) indica que la relación C/N es variable de acuerdo con las especies y la edad de las mismas. Plantas jóvenes y gramíneas pueden presentar relaciones C/N alrededor de 20 y, debido a que a medida que se envejecen los tejidos disminuyen las proteínas, la relación C/N puede llegar a valores mayores de 30. Además, para Fassbender (1982), relaciones lignina/celulosa menores de 0,4 resultan en una mineralización lenta, mientras valores mayores de 0,5 la aceleran.

### **Especies con potencial para uso agroforestal**

Se conocen numerosas especies que presentan potencial para ser involucradas en sistemas agroforestales y que pueden ser utilizadas, dependiendo del ambiente y de la función que deba cumplir la especie en el sistema, con un objetivo específico o múltiple. Según OTS-CATIE (1986) estas especies deben poseer unas características deseables, como rápido crecimiento, facilidad de rebrote, producción abundante de follaje de buena calidad para forraje y/o abono verde u otros usos, requerimiento bajo de nutrientes, de modo que no compita con el cultivo asociado y otras atinentes a cada sistema agroforestal específico.

Se han realizado recopilaciones de especies de uso tradicional en regiones tropicales (Carlowitz, 1986; OTS-CATIE, 1986), donde las leguminosas son el grupo más numeroso, reflejando una mayor adaptación a los requerimientos indicados para una especie en un sistema agroforestal. En el presente estudio, se han elegido ocho especies, de las cuales seis son leguminosas; tres de ellas, a saber: *Ajanus cajan*, *Gliciridia sepium* y *Sesbania grandiflora* se eligieron por ser especies de reconocida importancia y experiencia en la investigación sobre sistemas agroforestales (IITA, 1980; Dale, 1984; Kass, 1985). Mientras las otras tres, a saber: *Albizia carbonaria*, *Cassia grandis* y *Erythrina edulis*, son especies muy utilizadas en el sombrero del café a nivel de la zona cafetera colombiana (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1969). En cuanto a las otras dos especies no leguminosas, *Phyllanthus acuminatus* e *Ilex nayana* son especies muy importantes en la recuperación de la fertilidad del suelo bajo barbechos, especialmente en suelos ácidos y de baja fertilidad de la Costa Pacífica colombiana (Argüello, sin publicar).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del experimento**

El experimento se ubicó en la granja de la Secretaría Departamental de Agricultura en el municipio de La Mesa, departamento de Cundinamarca, República de Colombia, a una distancia de 50 km. al Sur-occidente de Santafé de Bogotá.

### **Condiciones climáticas generales del sitio de estudio**

Según la clasificación de Holdridge, la zona de vida corresponde a la transición Bosque Húmedo-seco Premontano Tropical. La precipitación pluvial total

anual es de 1548 mm., con una distribución bimodal. Se presentan dos períodos de lluvias fuertes durante los meses de febrero a junio y de octubre a diciembre, con un máximo en el mes de octubre y un déficit de agua durante los meses de julio a septiembre, con valor máximo en julio, además de una notable disminución de la precipitación a comienzos de año. La temperatura promedio es de 23,9 °C.

### Suelos

Los suelos se clasifican como Inceptisoles Dístropepts (USDA). Son de color negro a gris muy oscuro y la disponibilidad de nutrientes, para uso agrícola, principalmente fósforo, nitrógeno y magnesio, es baja. Se realizó un muestreo hasta los 15 primeros centímetros del suelo de la parcela, para análisis de caracterización en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Los resultados se presentan en el Cuadro 1.

### Especies comprendidas en el estudio

Las especies seleccionadas fueron: *Albizia carbonaria*, *Ajanus cajan*, *Cassia grandis*, *Erythrina edulis*, *Gliricidia sepium*, *Ilex nayana*, *Phyllanthus acuminatus* y *Sesbania grandiflora*.

**Cuadro 1.** Características del suelo en la parcela experimental en La Mesa, Colombia.

Características	Profundidad (cm.)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 15
<b>Textura</b>	<b>Franco-Arenoso-Fino</b>		
pH: 1:1 (suelo:agua) electrom.	5,10	5,20	4,80
Materia orgánica, g/kg	39,00	39,00	36,00
Fósforo asimilable, mg/kg	10,00	13,00	5,00
C.I.C., cmol/l (real)	10,20	10,60	10,00
Calcio, cmol/l.	2,00	2,50	1,00
Magnesio, cmol/l.	0,50	0,50	0,50
Potasio, cmol/l.	0,12	0,12	0,10
Sodio, cmol/l.	0,22	0,22	0,20
Acidez de cambio, mol/l.	0,50	0,70	1,00

Métodos análisis: M.O: Walkley-Black; P: Bray-2; C.I.C. y Bases: Acetato de Amonio 1N, pH 7,0. Acidez de cambio: KCl 1N y titulación con NaOH y fenolftaleína.

### Métodos en la evaluación de la tasa de descomposición y liberación de nutrientes en las ocho especies seleccionadas

Para evaluar la descomposición, se utilizó la técnica de pérdida de peso seco, utilizando bolsas, en las cuales se colocaron muestras de follaje proveniente de las especies seleccionadas. Grupos de 7 bolsas para cada especie fueron conformados al azar, los cuales fueron asignados a cuatro repeticiones por cada una de las 8 especies. Cada bolsa tenía un tamaño de 40 x 30 cm. y se confeccionó siguiendo la técnica utilizada por Babbar (1983). Para cada especie, se recogió periódicamente una bolsa de cada repetición. La primera recolección se efectuó una semana después de la ubicación en el campo y las siguientes en las semanas 3; 6; 9; 12; 18 y 24. La diferencia en la frecuencia de recolección se debió a que al inicio, se esperaba una pérdida más rápida de material. El tiempo total del estudio fue de 24 semanas, ya que de acuerdo con la literatura, estudios realizados con especies similares se han conducido durante menor tiempo, observándose una rápida descomposición.

Para determinar los contenidos de nutrientes al inicio y el contenido durante las recolecciones siguientes, cada bolsa se analizó por separado. El resultado promedio de los análisis químicos del follaje de las cuatro bolsas permitió obtener la concentración relativa de nutrientes en el material. La determinación de nitrógeno se hizo utilizando un micro-Kjeldahl (adaptado de Müller, 1961) y, para los otros elementos, se siguieron los métodos descritos por Diaz-Romeu y Hunter (1978). La determinación de S y C totales se hizo en el Laboratorio Químico Nacional en Bogotá, donde fueron analizados siguiendo el método instrumental LECO SC32, por combustión de 0,3 g de materia seca y leyendo por fotómetro infrarrojo.

Los análisis de compuestos solubles, lignina y celulosa totales, fueron realizados en el Laboratorio del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias en La Universidad Nacional de Colombia. Se emplearon los métodos enunciados por Rodríguez de Cáceres (1978).

### RESULTADOS

Los cuadros 2 y 3 muestran el peso seco y la concentración inicial de nutrientes y la composición bioquímica para el follaje de cada una de las 8 especies estudiadas. Se observa que *Ilex nayana* y *Phyllanthus acuminatus*, tienen las concentraciones más altas de nitrógeno, sin ser especies legu-

**Cuadro 2.** Peso seco (g) y concentraciones iniciales de nutrimentos (%) por especie, en el follaje de las ocho especies estudiadas en La Mesa, Colombia.

Especie	Peso seco g	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %
<i>Sesbania grandiflora</i>	35,34	3,90	0,090	0,864	1,38	0,174	0,220
<i>Phyllanthus acuminatus</i>	36,20	3,53	0,112	1,082	1,43	0,215	0,194
<i>Gliricidia sepium</i>	49,28	3,70	0,085	0,941	1,36	0,137	0,180
<i>Albizia carbonaria</i>	27,50	3,58	0,118	1,188	2,08	0,215	0,150
<i>Erythrina edulis</i>	28,60	4,06	0,101	1,794	1,66	0,182	0,180
<i>Ilex nayana</i>	25,30	4,22	0,119	1,027	1,98	0,460	0,380
<i>Cajanus cajan</i>	31,90	4,48	0,176	1,862	2,41	0,230	0,240
<i>Cassia grandis</i>	27,50	3,98	0,119	1,521	2,77	0,243	0,187

**Cuadro 3.** Composición y relaciones inherentes a la naturaleza bioquímica de los compuestos orgánicos presentes en las ocho especies estudiadas en La Mesa, Colombia.

Especie	C. Solubles*	Lignina	Celulosa	Relaciones			
				C	C/N	Lig/Cel	Lig/N
<i>Sesbania grandiflora</i>	49,0	24,8	12,1	47,5	12,2	2,04	6,36
<i>Phyllanthus acuminatus</i>	34,2	28,5	29,8	45,7	12,9	0,99	8,08
<i>Gliricidia sepium</i>	40,5	26,8	12,1	47,7	13,0	2,20	7,30
<i>Albizia carbonaria</i>	38,1	23,4	18,7	42,6	11,9	1,25	6,55
<i>Erythrina edulis</i>	46,2	15,4	9,5	45,2	11,1	1,63	3,80
<i>Ilex nayana</i>	31,3	32,9	10,5	43,4	10,3	3,12	7,80
<i>Cajanus cajan</i>	50,0	12,9	14,1	42,3	9,4	0,91	2,88
<i>Cassia grandis</i>	22,7	18,2	20,3	41,1	10,3	0,90	4,58

\* Solubles en mezcla alcohol-benceno (1:1)+ agua hirviendo

minososa. Así mismo, *I. nayana* tiene las concentraciones más altas de Mg; mientras *Ph. acuminatus* las tiene de N, P, y K. Las especies leguminosas tienen concentraciones de nutrimentos más o menos similares. Sobresalen *S. grandiflora* por tener la más alta concentración de Ca, y *C. grandis* por poseer en general las más bajas cifras.

En cuanto a la composición bioquímica, se observa que *C. cajan*, *S. grandiflora* e *I. nayana* tienen los contenidos más bajos en solubles. Sin embargo, *C. cajan* y *S. grandiflora* tienen los contenidos más altos en celulosa, mientras *I. nayana* presenta los contenidos más altos en lignina. Para todas las especies, los contenidos de carbono fluctuaron entre 41 y 48%.

La relación C/N fue baja y similar para todas las especies. *Ph. acuminatus* y *S. grandiflora* tuvieron la relación C/P más baja, mientras *I. nayana* y *Ph. acuminatus* tuvieron el mismo resultado en la relación C/S. La relación lignina/nitrógeno mostró diferencias importantes, siendo los valores más bajos para *Ph. acuminatus*, *S. grandiflora* y *G. sepium*. La relación Lignina/celulosa presentó los valores más bajos para *S. grandiflora*, *Ph. acuminatus* y *C. cajan*.

#### Descomposición del follaje de las ocho especies

##### Pérdida de peso

Como puede observarse en el cuadro 4, hasta la sexta semana *S. grandiflora*, *A. carbonaria*, *G. se-*

**Cuadro 4.** Pérdida de peso seco (porcentaje del inicial) por especie, a través del proceso de descomposición, durante 24 semanas en La Mesa, Colombia.

Especies	Semana						
	1	3	6	9	12	18	24
<i>S. grandiflora</i>	14,55	14,55	21,89	43,93	44,00	83,85	85,89
<i>Ph. acuminatus</i>	0,63	17,05	34,83	49,34	55,97	75,11	82,01
<i>G. sepium</i>	3,78	11,71	19,09	32,13	57,83	72,34	78,08
<i>A. carbonaria</i>	2,04	2,89	21,39	43,18	56,48	70,66	80,93
<i>E. edulis</i>	8,55	14,55	19,13	35,53	36,64	52,98	66,91
<i>I. nayana</i>	1,70	11,42	13,83	19,29	30,4	48,85	65,73
<i>C. cajan</i>	7,46	11,30	15,97	32,87	38,92	50,91	65,88
<i>C. grandis</i>	4,83	6,19	13,35	20,13	24,86	25,41	50,85

**Cuadro 5.** Liberación de nitrógeno (porcentaje del inicial) por especie, a través del proceso de descomposición del follaje, durante 24 semanas en La Mesa, Colombia.

Especies	Semanas						
	1	3	6	9	12	18	24
<i>S. grandiflora</i>	11,894	30,375	37,877	55,993	58,097	90,851	92,132
<i>Ph. acuminatus</i>	13,016	40,168	55,073	68,090	78,167	86,984	93,072
<i>G. sepium</i>	7,580	18,863	34,453	47,545	71,232	85,271	85,616
<i>A. carbonaria</i>	0,508	12,119	29,681	46,372	61,740	79,173	86,430
<i>E. edulis</i>	18,024	27,189	31,466	43,89	49,593	64,766	72,912
<i>I. nayana</i>	2,062	2,433	5,530	8,529	24,742	24,555	64,855
<i>C. cajan</i>	9,859	11,815	20,266	39,437	47,418	63,615	77,308
<i>C. grandis</i>	0,664	14,104	16,095	20,077	20,852	29,812	50,166

*pium*, *E. edulis*, *C. cajan*, *C. grandis* e *I. nayana* tuvieron una disminución de peso más o menos similar. *Ph. acuminatus* aumentó la tasa de descomposición en el período comprendido entre la 3a y 6a semana, mientras que *I. nayana* y *C. grandis* continuaron con un ritmo lento hasta el final de la 9a semana. Las demás especies aumentaron la tasa de descomposición entre la 6a y 9a semanas.

Al finalizar la semana 12, se podían diferenciar dos grupos de especies: Unas que habían degradado entre 44 y 60 % de la biomasa inicial (*S. grandiflora*, *Ph. acuminatus*, *A. carbonaria*, *G. sepium*) y un

segundo grupo que aún conservaban más de 61% del peso inicial sin descomponer y que continuaron con una tasa lenta de descomposición hasta finalizar la semana 18. El primer grupo aumentó notablemente la velocidad de descomposición entre las semanas 12 y 18 para nuevamente disminuir entre las semanas 18 y 24. El grupo de *I. nayana*, *E. edulis*, *C. cajan* y *C. grandis*, sólo, aumentaron la velocidad de descomposición hasta después de la semana 18, con un menor ritmo en el caso de *C. grandis*. *S. grandiflora* fué la especie que descompuso el mayor porcentaje de biomasa.

**Cuadro 6.** Pérdida de Carbono (porcentaje del inicial) por especie, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>	<i>G. sepium</i>	<i>C. cajan</i>	<i>E. edulis</i>				
	<i>Ph. acuminatus</i>		<i>A. carbonaria</i>	<i>I. nayana</i>	<i>C. grandis</i>			
Semana 9	52,42	55,68	47,85	50,60	46,05	24,58	42,75	26,51
Semana 18	86,63	78,71	77,36	75,98	60,25	53,36	50,27	39,86

**Cuadro 7.** Cambios en la relación C/N en los follajes a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>	<i>G. sepium</i>	<i>E. edulis</i>	<i>C. cajan</i>				
	<i>ph. acuminatus</i>		<i>A. carbonaria</i>	<i>I. nayana</i>	<i>C. grandis</i>			
Semana 9	11,18	13,12	11,05	11,22	11,52	8,49	12,26	11,96
Semana 18	14,90	15,47	17,13	13,00	13,48	6,37	14,12	11,16

### Liberación de nitrógeno

Tal como se observa en el cuadro 5 hasta la primera semana *G. sepium*, *C. cajan*, *S. grandiflora* y *Ph. acuminatus* tuvieron una liberación de nitrógeno similar. *A. carbonaria*, *C. grandis* e *I. nayana* prácticamente conservaron sus contenidos iniciales, mientras que *E. edulis* tuvo la tasa de mineralización más alta. Esta tendencia mostrada inicialmente por las especies se mantuvo hasta la semana 9, a excepción de *A. carbonaria* que aumentó su tasa de liberación de nitrógeno, mientras que *E. edulis* la disminuyó.

Al finalizar la semana 18, se podían diferenciar 3 grupos de especies: El primer grupo, conformado por *A. carbonaria*, *G. sepium*, *Ph. acuminatus* y *S. grandiflora*, que habían liberado entre 79 y 91% de su contenido de nitrógeno inicial; el segundo grupo, integrado por *C. cajan* y *E. edulis* que habían liberado alrededor de 64% del nitrógeno inicial y el tercer grupo, constituido por *C. grandis* e *I. nayana* que, aún, conservaban respectivamente el 70 y 75% de su nitrógeno inicial. El primer grupo disminuyó notablemente su tasa de mineralización entre las semanas 18 y 24, mientras que el tercer grupo la aumentó. El segundo grupo mantuvo su tasa de liberación del elemento. *Ph. acuminatus* y *S. gran-*

*diflora* fueron las especies que liberaron el mayor porcentaje de nitrógeno.

### Cambios en la composición bioquímica durante la descomposición

#### Carbono

Como se observa en el Cuadro 6, de acuerdo con el porcentaje de pérdida de carbono la semana 9, se pueden diferenciar dos grupos de especies: El primero, con una pérdida de carbono entre 46 y 56% (*S. grandiflora*, *Ph. acuminatus*, *G. sepium*, *A. carbonaria*, *E. edulis* y *C. cajan*); mientras, el segundo grupo había perdido alrededor del 25%.

Al finalizar la semana 18, las especies del primer grupo disminuyeron moderadamente la tasa de pérdida de carbono, a excepción de *C. cajan* que la disminuyó acentuadamente. *I. nayana* y *C. grandis* tuvieron un aumento moderado. De tal forma, que, en la semana 18 se distinguían 4 grupos de especies: El primero, conformado por *Ph. acuminatus*, *G. sepium* y *A. carbonaria*, que habían liberado alrededor del 77% de carbono; el segundo, integrado por *E. edulis*, *I. nayana* y *C. cajan* que liberaron entre 50 y 60%. *S. grandiflora* liberó el 87% y *C. grandis* el 40% son, respectivamente, las

**Cuadro 8.** Cambios en la composición de lignina (porcentaje) en las especies estudiadas, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>	<i>G. sepium</i>	<i>E. edulis</i>				<i>C. cajan</i>	
	<i>Ph. acuminatus</i>	<i>A. carbonaria</i>	<i>I. nayana</i>				<i>C. grandis</i>	
Semana 9	20,20	25,40	25,40	31,80	24,20	33,30	35,20	43,10
Semana 18	29,80	44,10	28,50	28,60	28,40	31,60	39,80	45,10

**Cuadro 9.** Cambios en la relación lignina/nitrógeno, en los follajes estudiados, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>	<i>G. sepium</i>	<i>E. edulis</i>				<i>C. cajan</i>	
	<i>Ph. acuminatus</i>	<i>A. carbonaria</i>	<i>I. nayana</i>				<i>C. grandis</i>	
Semana 9	20,20	25,40	25,40	31,80	24,20	33,30	35,20	43,10
Semana 18	29,80	44,10	28,50	28,60	28,40	31,60	39,80	45,10

especies con la mayor y menor liberación del elemento.

#### Relación carbono/nitrógeno

Los valores iniciales de la relación C/N fueron similares para todas las especies y fluctuaron entre 9,4 y 13. Sin embargo, como se puede observar en el Cuadro 7, *Ph. acuminatus* y *S. grandiflora* que tienen los valores iniciales de la relación C/N más bajos, aumentaron su valor en la semana 9, mientras las demás especies la disminuyeron. A partir de la semana 9 *C. grandis* e *I. nayana* mantuvieron esta última tendencia, mientras las demás especies aumentaron su relación C/N.

#### Lignina

Inicialmente *Ph. acuminatus*, *G. sepium* y *S. grandiflora* presentaron las concentraciones de lignina más bajas (13-18%); *A. carbonaria*, *E. edulis*, *C. grandis* y *C. cajan* tenían valores intermedios (23-28%) e *I. nayana* tenía el 32% de lignina, por peso seco. Como se observa en el Cuadro 8, al finalizar la semana 9, *S. grandiflora*, *I. nayana* y *E. edulis* habían mantenido constante la concentración inicial, mientras las demás especies la aumentaron. A la semana 18, todas las especies tuvieron más o menos las mismas concentraciones de lignina que

en la semana 9, a excepción de *Ph. acuminatus*, *S. grandiflora* y *C. cajan* que tuvieron un aumento.

#### Relación lignina/nitrógeno

Al comienzo, *Ph. acuminatus* y *G. sepium* tuvieron la relación lignina/nitrógeno más baja (2,9 y 3,8, respectivamente), seguidos por *S. grandiflora* con 4,6. Las demás especies tuvieron valores iniciales entre 6 y 8. El Cuadro 9 registra los cambios a la semana 9 y 18. A la semana 9 existió un aumento importante en la relación lignina/nitrógeno para *Ph. acuminatus* y *G. sepium*, y un aumento moderado para las demás especies, a excepción de *I. nayana* en que la relación disminuyó. A partir de la semana 9 se registró un aumento en los valores de la relación en *S. grandiflora*, *C. cajan* y *E. edulis*.

#### Celulosa

*C. cajan*, *S. grandiflora* y *E. edulis* tuvieron los contenidos iniciales de celulosa más altos (19-30%), mientras las demás especies contenían entre 9 y 14%. Durante el proceso de descomposición (Cuadro 10), al finalizar la 9 semana, cuatro de las cinco especies que al comienzo contenían menos celulosa, aumentaron notablemente su contenido (*G. sepium*, *Ph. acuminatus*, *A. carbonaria* y *C. grandis*), mientras que las demás tuvieron un aumento leve.

**Cuadro 10.** Cambios en la composición de celulosa (porcentaje), en los follajes estudiados, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>		<i>G. sepium</i>		<i>E. edulis</i>		<i>C. cajan</i>	
	<i>Ph. acuminatus</i>		<i>A. carbonaria</i>		<i>I. nayana</i>		<i>C. grandis</i>	
Semana 9	25,00	22,40	28,90	19,10	23,90	12,20	32,00	24,10
Semana 18	19,00	33,70	31,10	34,90	23,90	30,00	31,10	40,00

**Cuadro 11.** Cambios en la relación lignina/celulosa, en los follajes estudiados, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia.

	<i>S. grandiflora</i>		<i>G. sepium</i>		<i>E. edulis</i>		<i>C. cajan</i>	
	<i>Ph. acuminatus</i>		<i>A. carbonaria</i>		<i>I. nayana</i>		<i>C. grandis</i>	
Semana 9	0,81	1,13	0,88	1,66	1,00	2,73	1,10	1,80
Semana 18	1,57	1,17	0,92	0,82	1,19	1,05	1,28	1,13

**Cuadro 12.** Cambios en la composición de compuestos solubles (porcentaje), en los follajes estudiados, a través del proceso de descomposición a las semanas 9 y 18, en La Mesa, Colombia

	<i>S. grandiflora</i>		<i>G. sepium</i>		<i>E. edulis</i>		<i>C. cajan</i>	
	<i>Ph. acuminatus</i>		<i>A. carbonaria</i>		<i>I. nayana</i>		<i>C. grandis</i>	
Semana 9	34,20	22,80	25,00	27,50	25,00	25,00	22,20	21,20
Semana 18	17,50	12,50	18,30	12,60	17,50	19,50	17,50	12,70

Hacia la semana 18, *Ph. acuminatus*, *A. carbonaria*, *C. grandis*, *C. cajan* y *E. edulis* mantuvieron la tendencia inicial. *G. sepium*, prácticamente, mantuvo el porcentaje de celulosa de la semana 9, mientras que los contenidos bajaron en *S. grandiflora* y aumentaron en *I. nayana*.

#### Relación lignina/celulosa

La relación lignina/celulosa tuvo valores iniciales alrededor de 1,0 en *S. grandiflora*, *Ph. acuminatus*, *C. cajan* y *E. edulis*, 1,6 en *G. sepium*, alrededor de 2,0 en *C. grandis* y *A. carbonaria*, mientras que en *I. nayana* se presentó el valor más alto con 3,2. Sin embargo, a la semana 9 (**Cuadro 11**), las especies con la relación lignina/celulosa inicial más baja tienden a mantener los mismos valores, mientras

en las demás especies la relación tiende a bajar de manera notable. Hacia la semana 18 la tendencia siguió igual que al comienzo, a excepción de *S. grandiflora* en la que la relación lignina /celulosa aumentó notablemente.

#### Compuestos solubles

Inicialmente, *Ph. acuminatus*, *A. carbonaria*, *G. sepium* y *C. grandis* tenían la concentración de solubles más alta (40-50%), mientras *E. edulis*, *C. cajan* e *I. nayana* tenían concentraciones intermedias (31-38%) y *S. grandiflora*, la más baja. Hacia la semana 9 (**Cuadro 12**), las especies que tenían mayores concentraciones de solubles tuvieron una disminución rápida en los mismos, mientras, en las demás especies la concentración de solubles dis-

minuyó moderadamente, a excepción de *S. grandiflora*, en la cual la concentración aumentó rápidamente. A partir de la 9a semana la concentración de solubles disminuyó moderadamente, a excepción de *S. grandiflora*, en la cual la disminución fue rápida.

## DISCUSIÓN

La variación observada entre las tasas de descomposición de todas las especies, tanto en las etapas iniciales como en el resto del estudio, bajo las mismas condiciones ambientales, sugieren una explicación basada en la influencia de la composición química del follaje en cada especie. Según la literatura, los factores responsables de este hecho son principalmente las concentraciones iniciales de nitrógeno, compuestos solubles, lignina, así como las relaciones C/N, lignina/celulosa y lignina/nitrógeno (Broadfoot y Pierre, 1939; Witkamp, 1966; Singh, 1969; Melillo *et al*, 1982).

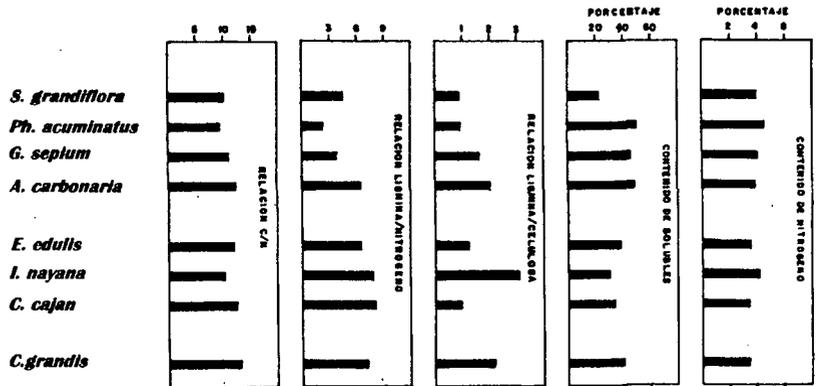
Tal como se observa en la Figura 1, los contenidos iniciales de compuestos solubles, así como las relaciones iniciales lignina/celulosa y lignina/nitrógeno mostraron diferencias importantes entre las especies; mientras, que los contenidos iniciales de nitrógeno y la relación C/N son similares para todas las especies. Así mismo, debido a que la relación compuestos solubles/lignina resultaría mayor que 1 para todas las especies, ésta no permite establecer diferencias, ya que, de acuerdo con la literatura todos los follajes se descompondrían rápidamente.

La relación lignina/celulosa podría explicar la disminución en la tasa de descomposición final a medida que los valores iniciales se hacían más altos entre las especies, pero, solamente, en *S. grandiflora*, *Ph. acuminatus*, *G. sepium* y *A. carbonaria*, ya que en las otras cuatro especies es errática, debido, probablemente, a la influencia que podrían estar ejerciendo, de manera notable, otras sustancias, como la lignina. Un caso similar ocurre con la concentración inicial de solubles.

De acuerdo con un orden jerárquico común, de mayor a menor (Figura 1), la relación lignina/nitrógeno inicial se relacionó inversamente a las tasas de descomposición finalmente encontradas en seis especies. En los casos de *S. grandiflora* y *C. grandis*, no siguieron, estrictamente, el orden jerárquico, pero, también, mostraron la misma relación. Resultados similares fueron encontrados por Melillo *et al* (1982).

Aunque la investigación se debe profundizar para poder estimar el ámbito en el cual la relación lignina/nitrógeno inicial podría determinar una rápida o lenta descomposición, en este estudio se observó que valores iniciales entre 2,9 y 4,6 estuvieron relacionados con tasas de descomposición altas, mientras valores cercanos a 8 estuvieron asociados con tasas de descomposición bajas. Del estudio de Singh, (1969) se observó que la especie con relación lignina/nitrógeno más baja, entre un grupo de diez, fue la que se descompuso más rápido, mientras en un orden jerárquico, especies con relaciones lignina/nitrógeno más altas, se descom-

**Figura 1.** Concentración inicial (porcentaje) de nitrógeno y compuestos solubles, así como las principales relaciones bioquímicas iniciales en el follaje de las ocho especies estudiadas en La Mesa, Cundinamarca.



pusieron lentamente. Así mismo, Melillo *et al* observaron que especies con relaciones lignina/nitrógeno entre 13 y 16 estuvieron asociadas con tasas de descomposición rápidas, comparadas con la tasa de descomposición de especies con valores de la relación superiores a 16.

Las variaciones en la tasa de descomposición para todas las especies, entre el comienzo y el final del experimento, también estuvieron relacionadas con la variación en la composición bioquímica. Así, no obstante a que todas las especies poseen contenidos iniciales de carbono similares, la tasa de liberación del elemento fue diferente y relacionada directamente con la tasa de descomposición propia de cada especie. Tanto en la semana 9 como en la 18, las especies con pérdida de carbono más altas (Cuadro 6) tenían la más alta tasa de descomposición.

La liberación diferencial del carbono se debe a la proporción de lignina, celulosa y compuestos solubles en el follaje, que tienen una tasa propia de descomposición (Swift *et al*, 1979) y la pérdida total de peso se puede considerar la sumatoria de las pérdidas individuales (Minderman, 1968).

En el caso de la lignina, el hecho de que la concentración de este compuesto se mantuviera constante ó disminuyera a pesar de la pérdida de peso, posiblemente, es un reflejo de utilización como fuente energética por los organismos descomponedores. Esto, probablemente, sucedió en el caso de *S. grandiflora*, *I. naryana* y *E. edulis* en las 9 semanas iniciales y, en todas las especies, a excepción de *Ph. acuminatus*, *S. grandiflora* y *C. cajan*, entre las semanas 9 y 18. El por qué la lignina, difícil de degradar, es preferida en los estadios iniciales por los descomponedores radica en que la lignina puede actuar como barrera física, impidiendo el ataque de los microorganismos a sustancias como la celulosa y carbohidratos de fácil descomposición (Reddy, 1985).

En los estadios finales, la degradación de la lignina es obligada, por cuanto las sustancias más fáciles de degradar ya se han agotado, siendo la lignina la única fuente energética (Alexander, 1977).

En el caso de la celulosa, ésta realizó la función de fuente energética para los descomponedores en los estadios iniciales de la descomposición de *C. cajan*, *I. naryana* y *E. edulis* y, en menor grado, de *S. grandiflora*. Así mismo, en los estadios finales cumplió el mismo papel en el follaje de *G. sepium*, *C. cajan* y *E. edulis*.

En el caso de los compuestos solubles, todas las especies, a excepción de *S. grandiflora* (en los períodos iniciales), mostraron una disminución en los porcentajes de compuestos solubles a lo largo de todo el experimento. Esto se debe, posiblemente, a su utilización preferencial como fuente energética por los descomponedores y por la lixiviación. Debido al lavado de la lluvia se produce una pérdida rápida de sustancias solubles, como azúcares simples, carbohidratos y ciertas proteínas (Jordan, 1985).

El aumento en la concentración de solubles hasta la semana 9 en *S. grandiflora*, indica que, probablemente, otras sustancias, como la celulosa, actuaron como fuente energética para los descomponedores, al tiempo que se producía la degradación de la lignina. Sin embargo, a partir de la semana 9, cuando el porcentaje de solubles aumentó a cerca del 35 por ciento, éstos se debieron convertir en la fuente energética preferida, descendiendo rápidamente su concentración hacia la semana 18.

La relación lignina/celulosa, como un reflejo de las variaciones de los dos compuestos, mostró que, en *A. carbonaria*, *G. sepium*, *I. naryana* y *C. grandis*, la relación disminuyó por acumulación de celulosa, mientras que una disminución de la misma a partir de la semana 9 aumentó la relación en *S. grandiflora*.

La relación lignina/celulosa se mantuvo estable a lo largo de 18 semanas en *E. edulis* y *C. cajan* porque los dos compuestos mantuvieron las concentraciones iniciales, a pesar de la pérdida de peso, es decir, fueron degradadas en la misma tasa de la descomposición, limitando la velocidad de la misma, en el sentido que la lignina se degrada lentamente y actúa como barrera física, como ya se ha discutido.

En *Ph. acuminatus*, en cambio, la relación lignina/celulosa, prácticamente se mantuvo estable como consecuencia del aumento en la concentración de los dos compuestos, lo cual revela que, en esta especie, los organismos descomponedores tienen una alta disponibilidad de sustancias solubles, por lo menos hasta la semana 18. Como se vio, los compuestos solubles disminuyeron al final del experimento.

La relación C/N más o menos estable para todas las especies, a excepción de *Ph. acuminatus*, al comienzo del experimento, indica que las pérdidas de los dos elementos fueron similares. En *Ph. acuminatus*, la relación aumentó porque la liberación de N fue más rápida que la de C. Entre las sema-

nas 9 y 18, todas las especies a excepción de *C. grandis* e *I. nayana*, experimentaron un aumento en la relación C/N, debido a una relativa inmovilización de carbono con respecto de la pérdida de nitrógeno. En *C. grandis* e *I. nayana*, la relación bajó, por disminución en los contenidos de C en relación a los de N en la primera, mientras en la segunda especie sucedió lo contrario.

Similares aumentos en la relación C/N a través de la descomposición han sido observados por varios autores (Singh, 1969).

El aumento registrado en la relación lignina/nitrógeno para todas las especies, a excepción de *I. nayana*, se debe a la relativa acumulación de lignina a medida que la descomposición avanzó. En el caso de *I. nayana*, la relación lignina/nitrógeno disminuyó hasta la semana 18, por la inmovilización de nitrógeno; sin embargo, a partir de éste período se observó notablemente una liberación de éste elemento, lo cual, también, se reflejó en el aumento en la tasa de descomposición. Lo anterior indica que entre las semanas 18 y 24 la relación lignina/nitrógeno debió aumentar.

Con base en lo anterior, se ratifica que la relación lignina/nitrógeno fue entre los factores bioquímicos, el de mayor consistencia en la regulación de la tasa de descomposición.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M.** Introduction to soil microbiology. 2a ed., New York, Wiley. 472 p. 1977.
- ARGÜELLO H.** Formación y descomposición del mantillo en sistemas sucesionales del bosque muy húmedo tropical del Bajo Calima, Buenaventura, Colombia. (sin publicar)
- BABBAR, I.L.** Descomposición del follaje en ecosistemas sucesionales en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE/UCR. 76 p. 1983.
- BARON, J.E.** Métodos de establecimiento de *Glicidia sepium* (Jacq) Walp y su efecto sobre la producción de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) sembrados en callejones entre los árboles (Alley cropping). Tesis Mag.Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE/UCR. 98 p. 1987.
- CARLOWITZ, P.G. VON.** Multipurpose tree yield data - their relevance to agroforestry research and development and the current state of knowledge. Agroforestry Systems 4:291-314. 1986.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT).** Métodos para el análisis de suelos ácidos y tejidos vegetales. Cali, Colombia, CIAT. 75 p. 1986.
- CUATRECASAS, J.** *Ilex nayana* cuatr. Lloydia (Col.) 11:212. 1949.
- DALE, E.** Preliminary observations evaluating perennial sesbanias for fodder production. Nitrogen fixing tree research reports ( EE.UU) 2:32-33. 1984.
- DIAZ-PIEDRAHITA, S.** Las leguminosas. Bogotá, Colombia, Editora Dosmil. 128 p. 1979.
- DÍAZ-ROMEU, R. Y A.HUNTER.** Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p. 1978.
- FASSBENDER, H.W.** Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 422 p. 1982.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.** Manual del cafetero colombiano. 3a ed., Bogotá, Colombia, Ed. Bedout. 398 p. 1969.
- JOACHIM, A.W.R y KANDIAH.** The change in composition and decomposability of typical ceylon green manures with age. Trop. Agriculturalist (Ceylon) 32(1):3-20. 1934.
- JORDAN, C.F.** Nutrient cycling in tropical forest ecosystems; principles and their application in management and conservation. New York, Wiley. 179 p. 1985.
- KASS, D.L.** Alley cropping of annual food crops with woody legumes in Costa Rica. Presented at seminar on advances in agroforestry, sponsored by GTZ-CATIE, sept. 1-11 1985. 25 p. 1985.
- MELILLO, J.M.; J.D.ABER. y J.F.MURATORE.** Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology (EE.UU) 63(3):621-626. 1982.
- MINDERMAN, G.** Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. Journal of Ecology (G.B.) 56:355-362. 1968.
- MULLER, L.** Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba (C.R.) 11(1):17-25. 1961.
- ORGANIZACIÓN DE ESTUDIOS TROPICALES (OTS) - CENTRO AGRONÓMICO TRO-**

- PICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE).** Sistemas agroforestales; principios y aplicaciones en los trópicos. San José, Costa Rica, Ed. Trejos. 818 p. 1986.
20. **REDDY, C.A.** Physiology and biochemistry of lignin degradation. Journal article No 11098 from the Michigan Agriculture Station. Michigan. 26 p. 1985.
  21. **REGE, W.** Biochemical decomposition of cellulose material with specific reference to the action of fungi. Annual Applied Biology, XIV, 1. 1931.
  22. **RODRÍGUEZ, L. DE CACERES.** Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander. 156 p. 1978.
  23. **ROSKOSKI, J.** Nodulation and N<sub>2</sub> fixation by Inga jinicuil, a woody legume in coffee plantations; I. measurements of nodule biomass and field C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> reduction rates. Plant and Soil (Holland) 59:201-206. 1981.
  24. **SÁNCHEZ P.** Suelos del trópico; características y manejo. Trad. por Edilberto Camacho, San José, IICA. 660 p. 1981.
  25. **SINGH, K.P.** Nutrient concentration in leaf litter of ten important trees species of deciduos forest at Varanasi. Tropical Ecology (India) 10:83-95. 1969.
  26. **SINGH, J.S. y S.R. GUPTA.** Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review (EE.UU) 43(1):449-528. 1977.
  27. **SWIFT, M.J.; O.W.HEAL. y J.M.ANDERSON.** Decomposition in terrestrial ecosystems. California, University Press. 372 p. 1979.
  28. **SWIFT, M.J.; A. RUSSELL-SMITH. y T.J. PERFECT, T.J.** Decomposition an mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in sub-humid tropical Nigeria. Journal of ecology (G.B.) 69:981-995. 1981.
  29. **TUKEY. H.B.** The leaching of substances from plants. Annual Review of Plant Physiology (EE.UU) 21:305-324. 1970.
  30. **WAKSMAN, S.A. y W. TENNY.** The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil. Soil Science XXVIII, 1. 1932.
  31. **WITKAMP M.** Decomposition of leaf litter in relation to environment microflora an microbial respiration. Ecology (EE.UU) 47(2):194-201. 1966a.