

DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA COMO CRITERIO EN EL MANEJO DE SITIO. CUENCA DEL RÍO SAN CRISTÓBAL, SANTAFÉ DE BOGOTÁ.

Luis Martín Caballero Rueda.* Olga Aída Sánchez Sáenz *

RESUMEN

Se evaluó la descomposición individual e interactuada de *Cupressus lusitanica*, *Quercus humboldtii*, *Macleania rupestris*, *Clusia grandiflora* y *Weinmannia tomentosa* en bosque húmedo montano bajo (bh-MB), Cuenca del río San Cristóbal, Santafé de Bogotá (Colombia). En parcelas del bosque donde cada especie es dominante y una de campo abierto como control, se establecieron mallas plásticas con 35 g de peso seco (60 - 65 °C) de hoja, corteza y madera en la hojarasca, replicadas 10 veces con sus correspondientes controles de celulosa en base a algodón del 99 % de pureza. Los procesos se analizaron sobre siete muestras durante dos años según la influencia de máximos y mínimos de precipitación, indicados por el climadiograma de la zona. La mayor descomposición foliar y de corteza ocurrió con *C. lusitanica* en la hojarasca de *C. grandiflora* con 31,08 y 64,31 de porcentaje final y la de madera con *Q. humboldtii* en parcela *C. lusitanica* con 55,08 %; las menores son para *M. rupestris* en parcela *C. lusitanica* con 69,16, *W. tomentosa* en parcela *W. tomentosa* con 87,18 y *C. lusitanica* en parcela *M. rupestris* con 93,03 respectivamente para hoja corteza y madera; el control de algodón fue superior en la parcela *C. grandiflora* con 2,48 %. En general la mejor actividad ocurrió en la parcela *C. grandiflora* y lo contrario en la de *C. lusitanica* y Campo abierto. Se encontró que el proceso aumenta con la precipitación y viceversa.

Recibido Agosto de 1995; Aceptado Febrero de 1996.

*Grupo de investigación Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Dpto. Biología, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica, entendida como la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos y sustancias producidas por la biota y cuyo mayor aporte lo constituyen las hojas (NYE, 1961; GOLLEY *et al.*, 1975; BUTRAGO y SALAZAR, 1986), tiene importantes efectos benéficos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Por ejemplo, le permite almacenar y dispensar elementos durante la mineralización así como regular el pH al aumentar la capacidad tam-

pón, modificando directamente la fertilidad del suelo. Es medio importante en la retención de humedad, protección contra la escorrentía superficial y proporciona textura y estructura favorables para el desarrollo radical. Participa en el uso más eficiente del agua por regular la infiltración y reducir la evaporación, estimulando sistemas radicales profundos (ODUM, 1975; KONONOVA, 1982; FASSBENDER y BORMEMISZA, 1987).

La importancia de las propiedades de las especies nativas es poco conocida; en la mayoría de los casos los estudios han sido descriptivos o enmarcados dentro de economías extractivas. Programas agroalimentarios, establecimiento de unidades de repoblación, mejoramiento de la calidad de sitio, entre otros, dentro de la dinámica de los ecosistemas naturales, son estudios que merecen atención.

Entre las características que se deben analizar de las especies, respecto a la relación planta-suelo, sobresalen la actividad de la materia orgánica, la resistencia o facilidad de su incorporación en el suelo por procesos degradativos, humificación y su interacción en la dinámica de sorción, almacenaje y reposición, como expresión de estrategias adaptativas.

Esta dinámica y la particularidad de cómo una especie pueda modificar la descomposición de materiales de otras, son elementos valiosos que permiten seleccionar especies con el fin de establecer unidades de repoblación o para inyectar estrategias de un sitio a otro. Por esta razón se analiza la actividad degradativa de cuatro especies nativas y una exótica, en la búsqueda de alternativas técnicas que eviten el desmonte del bosque natural y permitan manejar con eficiencia los conservados, desde el punto de vista del comportamiento hidrónico y nutricional.

1. MATERIALES

1.1 ÁREA Y ESPECIES DE TRABAJO.

En el área de estudio (Fig. 1), con intervalo altitudinal aproximado de 2.940 a 3.030 m, en 1 km de trayecto con estaciones cada 100 m, se levantó inventario de especies (nativas y exóticas) con intensidad de 0,1 ha y se evaluó el aporte de materia orgánica, para lo cual se tomaron muestras representativas de hojarasca.

Se escogió *Clusia grandiflora* (gaque) y *Quercus humboldtii* (roble) por aporte de materia orgánica; *Weinmannia tomentosa* (encenillo) por dominancia y aporte; *Macleania rupestris* (uva camarona y/o de monte) por aporte dentro del bosque y en el borde sucesional y a *Cupressus lusitanica* (ciprés) como dominante entre exóticas.

1.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS.

Se implementaron en áreas donde cada especie seleccionada fuera predominante y en una sin vegetación; *C. lusitanica* en dos zonas: rodal y en mezcla con vegetación arbórea, para un total de siete parcelas numeradas y llamadas por nombre vernáculo en la forma siguiente:

N	Simb.	Parcela	Característica	Especie Dominante	Simb
1	p. C*	CIPrés*	Plantación	<i>Cupressus lusitanica</i>	sp. 1
2	p. C	CIPrés	Mezcla en bosque	<i>Cupressus lusitanica</i>	sp. 1
3	p. R	ROBLE	En bosque	<i>Quercus humboldtii</i>	sp. 2
4	p. U	UVA	Borde bosque	<i>Macleania rupestris</i>	sp. 3
5	p. G	GAQUE	En bosque	<i>Clusia grandiflora</i>	sp. 4
6	p. E	ENCENILLO	Weinmanneto	<i>Weinmannia tomentosa</i>	sp. 5
7	p. CA	CAMPO A.	Fuera del bosque	Sin vegetación	

La parcela No. 1 (p. C*) presenta establecimiento de *Sphagnum sp.* y pioneras; la parcela No. 7 (p. CA) es el control.

1.3. REPLICACIÓN Y MONTAJE EN CAMPO.

Fueron determinadas las estructuras: hoja, corteza, madera y, como patrón, algodón (celulosa 99 % de pureza); se colectó al azar el material maduro de diferentes árboles, se entremezcló y replicó 10 veces por especie y estructura para cada parcela en cantidad de 35 g de peso seco constante a 60 ~ 65 °C, garantizando un secado gradual y disminuyendo la posibilidad de volatilización de elementos (ARGUELLO, 1988). Las probetas de madera son de pesos diferentes y el algodón de uso comercial.

Se empleó el sistema de bolsas de descomposición (JENNY, 1949; BRAY y GORHAN, 1964; GOLLEY *et al.*, 1975; PÉREZ, 1985; BABBAR y EWEL, 1989, entre otros).

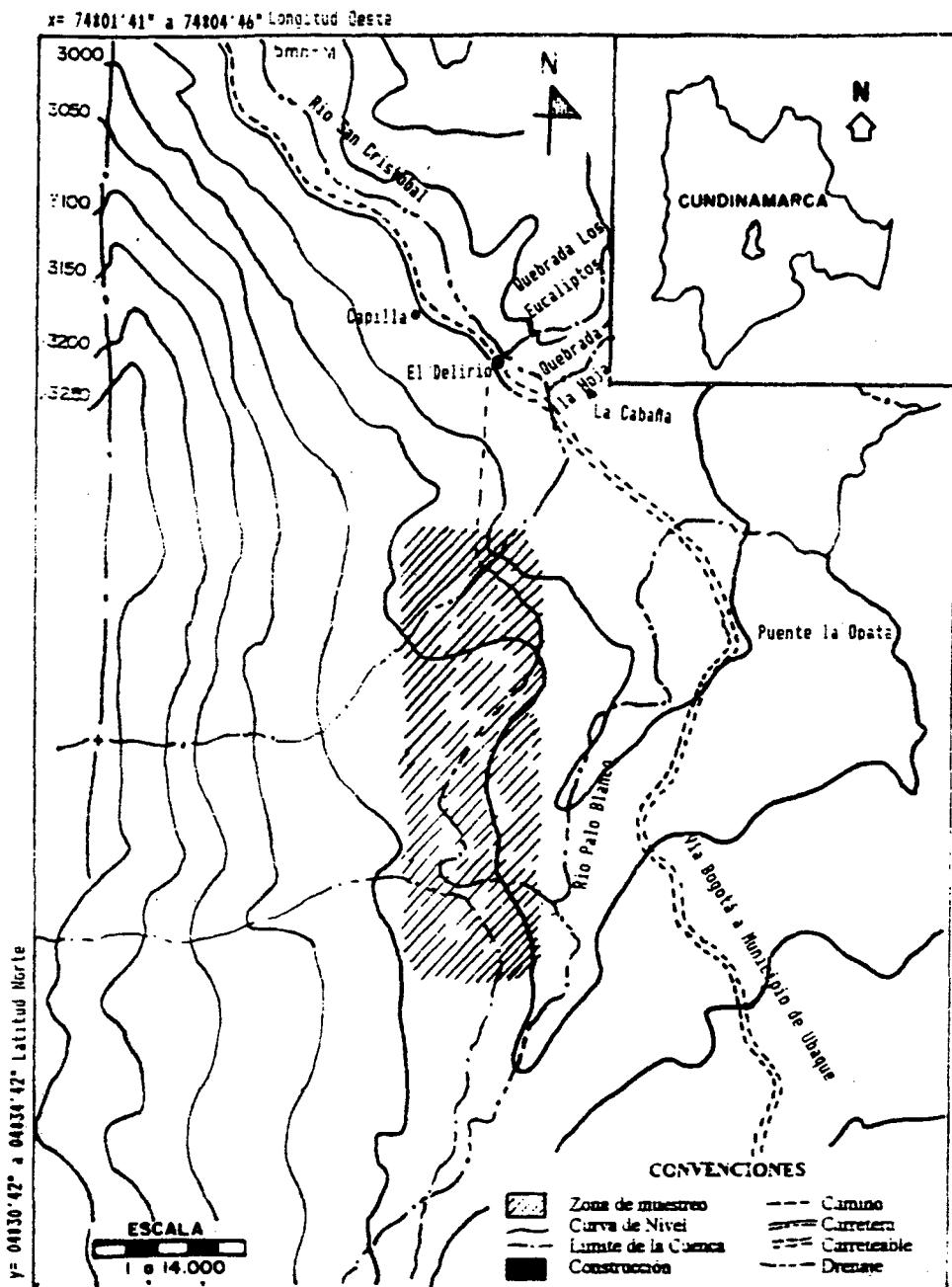


FIGURA 1. Área de estudio -Cuenca del Río San Cristóbal, Santafé de Bogotá-

Las estructuras se colocaron en bolsa de malla plástica de 15 x 20 cm y tramo de 1 mm, se depositaron entre 5 - 10 cm dentro del capote (hojarasca), separadas en líneas por 10 - 15 cm y en surcos no menores a 50 cm entre especies. Se realizaron las correspondientes marcaciones.

En cada parcela se incrementó el efecto de la especie dominante cubriendo toda la superficie con hojarasca. Este procedimiento se realizó con un mes de anticipación a la postura de las muestras y en la fecha de cada lectura.

A lo largo del trabajo se mantienen limpias de nuevas plantas todas las parcelas. En campo abierto se elimina completamente la vegetación y se mantiene así hasta la última lectura.

1.4 MUESTREO

Los registros se hacen según el climadiograma (Fig. 2); durante el incremento de la precipitación, tres lecturas que cubren el período de influencia máxima (febrero, abril y agosto/89) y una cuarta en la de mínima precipitación (diciembre/89); la quinta y sexta sobre el siguiente año con el aumento de las lluvias hasta el máximo (abril y julio/90). Finalmente la séptima lectura se tomó seis meses después (enero/91) debido al descenso de los valores de descomposición, completándose así dos ciclos anuales de evaluación.

En cada lectura se extrajeron tres réplicas por estructura y especie de cada parcela, debidamente marcadas y almacenadas; se eliminó el material extraño a las muestras y se procedió al secado y registro del peso seco remanente.

Dos de las muestras se regresan al campo con el fin de replicar el ensayo, marcando las mallas y su posición en las parcelas. El transporte de las mallas se hace en bolsas individuales, evitando pérdidas de partículas por la fragmentación debido al proceso de descomposición, lo cual permite realizar ajustes; estas réplicas permanecen no menos de seis meses antes de ser extraídas para una nueva lectura.

1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó análisis de varianza y dado un valor de F significativo ($\alpha = 0,005$), se analizaron las diferentes interacciones (especies, zonas fe-

chas) mediante la prueba de Duncan, a fin de identificar en detalle la fuente de variación.

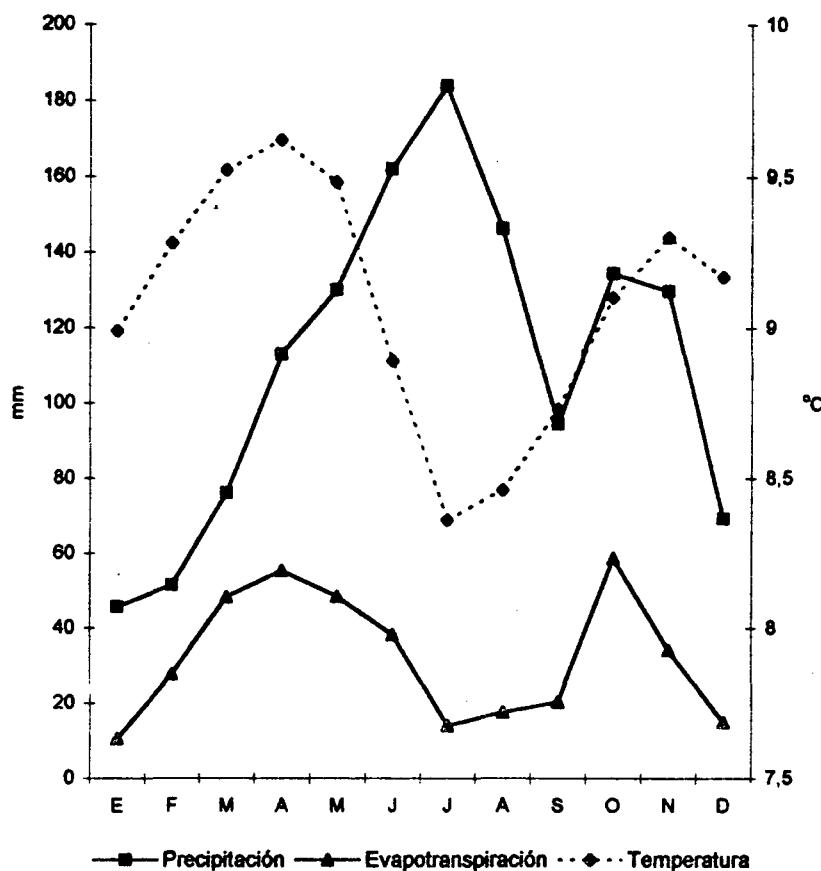


FIGURA 2. Climadiograma de la Cuenca del Río San Cristóbal (CASTILLO Y LÓPEZ, 1983)

2. RESULTADOS

La interpretación del comportamiento del proceso se hace sobre los porcentajes de peso seco remanente presentados en las Tablas 1, 2 y 3; cada valor es el promedio de tres réplicas.

Las curvas que describen la descomposición de cada especie son similares en cuanto a comportamiento, pero varían en intensidad

TABLA 1. Porcentaje de peso seco remanente -Hoja-

Parcela	Lectura / sp.	1	2	3	4	5	6	7
		Feb/89	Abr/89	Ago/89	Dic/89	Abr/90	Jul/90	Ene/91
CIPRES*	1	84,77	68,11	61,83	57,82	52,80	45,61	36,03
	2	89,33	86,08	73,82	66,54	62,31	54,62	41,61
	3	99,41	93,27	79,79	78,97	76,69	59,32	47,03
	4	81,03	75,97	67,25	65,33	63,75	53,75	39,78
	5	89,15	83,51	70,51	69,06	60,63	56,73	41,22
	6	90,66	82,46	64,95	55,47	54,89	50,94	29,18
CIPRES	1	82,10	80,88	75,17	71,72	65,07	58,17	55,99
	2	86,59	86,24	73,26	69,23	65,24	59,28	57,79
	3	96,73	88,22	85,18	82,23	81,69	76,11	69,16
	4	87,83	78,50	69,33	63,54	63,02	55,09	50,86
	5	80,09	77,23	66,94	63,01	51,41	37,60	36,85
	6	89,96	39,23	18,76	13,23	12,37	11,85	5,96
ROBLE	1	69,12	61,21	53,58	52,85	44,75	35,38	35,08
	2	80,67	67,22	54,82	51,45	49,19	44,49	43,40
	3	93,22	92,14	82,85	78,65	74,22	66,92	62,10
	4	79,77	72,49	67,88	63,39	61,68	56,21	53,09
	5	77,66	66,13	60,89	56,71	53,30	41,58	38,97
	6	85,21	76,00	43,23	29,78	22,66	12,58	5,47
UVA	1	75,72	65,04	61,06	58,52	53,37	49,50	36,69
	2	87,78	69,68	68,04	60,67	56,90	53,27	43,88
	3	97,61	87,84	79,69	78,58	77,05	67,56	64,33
	4	88,15	75,08	70,68	68,93	63,03	61,15	50,21
	5	86,30	78,45	63,93	62,50	60,04	50,78	46,30
	6	91,62	79,14	56,28	47,70	33,00	23,49	13,08
GAQUE	1	70,55	56,78	50,60	46,17	42,03	36,46	31,08
	2	87,98	74,41	58,71	56,16	45,86	39,19	36,53
	3	99,35	81,02	79,18	78,69	73,32	58,96	56,04
	4	81,58	74,50	67,53	62,77	52,50	49,05	36,69
	5	78,87	72,30	52,90	51,13	47,93	38,35	34,42
	6	83,70	72,38	36,05	32,54	17,46	8,54	2,48
ENCENILLO	1	73,96	68,23	62,86	59,50	52,20	43,00	40,90
	2	82,95	73,87	68,40	65,53	58,13	50,44	47,53
	3	98,73	89,85	80,74	80,20	78,35	63,18	50,24
	4	82,09	76,30	65,87	65,78	60,81	57,92	53,54
	5	81,85	64,32	55,68	53,98	51,81	47,72	43,67
	6	91,43	84,99	70,69	41,09	32,40	20,15	6,02
CAMPO A.	1	84,13	73,86	62,46	61,66	56,41	52,82	48,93
	2	86,98	77,59	77,42	75,58	69,93	63,73	62,40
	3	99,03	95,52	84,02	81,91	78,93	73,16	67,43
	4	83,26	81,06	74,86	72,04	67,65	60,73	53,70
	5	86,04	80,27	66,93	62,52	56,12	53,38	49,63
	6	87,07	77,03	61,84	31,71	28,76	13,05	5,06

1: *Cupressus lusitanica*4: *Clusia grandiflora*2: *Quercus humboldtii*5: *Weinmannia tomentosa*3: *Macleania rupestris*

6: algodón

TABLA 2. Porcentaje de peso seco remanente -Corteza-

Lectura	1	2	3	4	5	6	7
Parcela / sp.	Feb/89	Abt/89	Agt/89	Dic/89	Abt/90	Jul/90	Ene/91
CIPRES*	1	91,50	84,28	77,82	75,94	74,48	65,59
	2	93,97	91,70	86,30	84,82	83,46	81,52
	3	97,98	93,06	88,51	87,11	86,40	76,70
	4	94,52	92,95	90,60	89,79	89,47	88,24
	5	94,39	93,72	91,18	90,76	86,00	83,55
	6	90,66	82,46	64,95	55,47	54,89	50,94
CIPRES	1	86,32	84,94	83,24	83,07	81,64	74,85
	2	97,25	95,37	90,95	88,08	84,66	82,49
	3	98,65	95,88	91,69	89,04	85,12	83,89
	4	95,04	94,91	91,97	90,22	89,73	85,55
	5	96,42	96,37	93,76	93,65	93,45	92,78
	6	69,96	39,23	18,76	13,23	12,37	11,85
ROBLE	1	86,67	84,35	81,24	77,25	76,67	75,39
	2	96,86	93,33	89,47	87,77	82,07	79,18
	3	99,25	95,33	90,23	89,07	84,70	81,39
	4	93,44	92,93	91,74	89,78	89,36	85,55
	5	95,31	94,33	91,26	90,49	89,66	87,25
	6	85,21	76,00	43,23	29,78	22,66	12,58
UVA	1	91,86	85,04	81,51	80,76	76,23	71,77
	2	97,02	95,23	88,66	85,87	85,10	74,65
	3	98,75	95,60	89,04	88,70	87,35	82,77
	4	95,19	93,50	89,09	88,33	87,10	82,98
	5	94,82	93,29	91,28	89,31	88,47	86,30
	6	91,62	79,14	56,28	47,70	33,00	23,49
GAQUE	1	90,98	85,50	77,45	74,51	72,70	69,17
	2	96,64	94,90	86,04	85,28	83,42	76,65
	3	94,98	93,22	89,67	89,28	83,62	79,71
	4	95,19	93,39	89,47	89,03	85,96	84,74
	5	95,59	94,87	91,67	91,18	88,87	81,40
	6	83,70	72,38	36,05	32,54	17,46	8,54
ENCENILLO	1	90,68	89,33	81,28	78,59	78,00	69,95
	2	96,10	93,03	86,87	84,07	81,53	76,98
	3	96,88	93,79	91,05	89,54	84,72	76,66
	4	93,70	92,65	89,38	88,78	87,76	85,49
	5	94,14	92,51	91,56	90,89	90,31	87,53
	6	91,43	84,99	70,69	41,09	32,40	20,15
CAMPO A.	1	93,06	85,86	82,99	76,24	73,77	71,13
	2	95,94	91,44	83,28	81,11	75,39	72,48
	3	99,69	98,11	96,29	94,91	90,84	86,97
	4	94,88	93,47	89,18	88,26	86,48	77,70
	5	95,19	94,38	91,16	90,42	89,22	83,91
	6	87,07	77,03	61,84	31,71	28,76	13,05

1: *Cupressus lusitanica*4: *Clusia grandiflora*2: *Quercus humboldtii*5: *Weinmannia tomentosa*3: *Macleania rupestris*

6: algodón

5,06

TABLA 3. Porcentaje de peso seco remanente -Madera-

Parcela / sp.	Lectura		1	2	3	4	5	6	7
	Feb/89	Apr/89	Apr/89	Jul/89	Dec/89	Apr/90	Jul/90	Ene/91	
CIPRES*	1	99,51	99,20	98,70	97,85	97,32	94,76	90,11	
	2	98,25	95,77	92,87	91,56	87,00	85,76	73,50	
	3	96,41	94,28	93,21	91,99	90,48	88,28	86,83	
	4	98,43	98,16	94,80	93,67	92,98	92,96	85,50	
	5	97,99	97,98	96,87	95,12	94,08	91,95	84,23	
	6	90,66	82,46	64,95	55,47	54,89	50,94	29,18	
CIPRES	1	98,63	98,08	97,63	97,47	96,94	95,53	92,96	
	2	95,42	91,29	87,05	79,87	79,50	71,83	55,08	
	3	95,17	91,74	88,44	87,78	86,99	86,72	83,08	
	4	94,94	91,50	88,72	87,93	87,27	83,06	82,73	
	5	98,59	93,95	88,60	80,49	77,45	72,14	58,69	
	6	69,98	39,23	18,76	13,23	12,37	11,85	5,98	
ROBLE	1	98,01	97,68	96,84	96,36	95,83	95,10	92,59	
	2	93,15	91,08	86,61	85,07	84,85	83,11	81,09	
	3	97,55	94,05	93,58	92,59	89,97	86,26	83,67	
	4	95,26	94,40	92,04	89,45	86,94	81,88	79,24	
	5	97,68	97,53	94,45	93,95	91,42	90,79	77,83	
	6	85,21	76,00	43,23	29,78	22,66	12,58	5,47	
UVA	1	98,62	98,06	97,22	96,97	96,57	95,57	93,03	
	2	95,46	95,25	91,42	88,26	85,50	84,53	75,52	
	3	97,21	95,45	92,28	92,07	91,25	88,86	88,52	
	4	98,24	95,22	93,87	93,37	92,28	90,42	86,68	
	5	98,45	97,72	93,83	91,76	85,42	81,53	78,37	
	6	91,62	79,14	56,28	47,70	33,00	23,49	13,08	
GAQUE	1	98,24	97,63	97,31	96,42	95,96	92,21	91,89	
	2	96,45	92,18	88,94	88,00	84,47	80,44	68,02	
	3	96,71	94,44	93,83	90,77	90,37	86,33	81,72	
	4	96,30	92,96	91,16	90,01	85,09	83,93	79,60	
	5	96,78	96,17	96,13	92,28	91,09	83,22	82,57	
	6	83,70	72,38	36,05	32,54	17,46	8,54	2,48	
ENCENILLO	1	98,39	97,80	96,45	94,63	93,36	88,24	85,42	
	2	93,93	92,56	89,98	87,28	84,34	79,79	59,87	
	3	96,86	96,54	95,24	92,11	91,44	89,93	87,88	
	4	99,06	98,03	96,18	95,77	91,20	83,63	82,12	
	5	98,11	97,14	96,04	89,96	88,72	86,95	74,74	
	6	91,43	84,99	70,69	41,09	32,40	20,15	6,02	
CAMPO A.	1	98,79	97,96	97,38	96,74	96,59	92,69	91,19	
	2	95,59	91,37	89,73	81,14	79,97	78,44	66,78	
	3	96,02	96,64	93,24	90,74	90,27	86,50	82,48	
	4	99,20	94,97	93,89	91,97	87,32	84,86	80,19	
	5	98,81	96,48	92,33	88,33	87,30	79,54	72,48	
	6	87,07	77,03	61,84	31,71	28,76	13,05	5,06	

- 1: *Cupressus lusitanica* 2: *Quercus humboldtii* 3: *Macleania rupestris*
 4: *Clusioides grandiflora* 5: *Weinmannia tomentosa* 6: algodón

dependiendo del sitio (parcela) y estructura, con la siguiente secuencia que siempre se repite: hoja > corteza > madera.

Transcurridos 25 meses (lectura final) los menores remanentes foliares corresponden a *C. lusitanica* en p. C*, R, U y G, *C. grandiflora* en p. C* y *W. tomentosa* en p. C, R y G, inferiores al 40 %; para la corteza, *C. lusitanica* en p. C*, U, G, E y CA, *Q. humboldtii* en p. R y CA y *M. rupestris* en p. G, entre 64 - 70% y para la madera *Q. humboldtii* en p. C y E, *W. tomentosa* en p. C (54 - 60 %) y *Q. humboldtii* en p. G y CA (66 - 68 %).

La baja degradación foliar se presenta con *M. rupestris* en p. C, R, U y CA con remanentes entre 62-70 %; la de corteza con *W. tomentosa* en p. R, U y E (85-88 %) y madera con *C. lusitanica*, excepto en p. E (85 %), con 90-93 % (Tablas 1, 2 y 3).

Esta variación es esperada pues la oxidación, entre otros factores, depende de la interacción entre sitio (micro y macró clima, acidez y tipo de suelo, calidad del sustrato y microorganismos) y especie (consistencia, contenido de lignina, metabolitos, masa y tamaño de partículas), de acuerdo con BRAY y GORHAN (1964), JENSEN (1974), SWIFT *et al.* (1981), GOLLEY (1983), PÉREZ (1985), DE LAS SALAS (1987), BABBAR y EWEL (1989), ARGUELLO (1988).

Este análisis permite seleccionar y zonificar áreas con fines de mayor rendimiento del suelo. Lo que no varía es el orden decreciente de la ruptura desde azúcares solubles, almidón, celulosa, hemicelulosa hasta lignina, grasas y ceras (SWIFT *et al.*, 1979; KONONOVA, 1982), aunque son atacados simultáneamente al adicionarlos al suelo; las hojas en general, son un sustrato de alta calidad y se degradan más rápidamente que los materiales leñosos.

En las Figuras 3 y 4 se expresa la sumatoria de los gramos totales descompuestos por cada especie y en cada parcela para las diferentes estructuras, en tanto que en la Figura 5 se totalizan las estructuras por especie y parcela, lo que permite interpretar la participación de cada especie (hoja + corteza + madera) zonalmente y la actividad completa en cada parcela; es de gran importancia no olvidar que el componente foliar es la fuente de mayor participación cualitativa y cuantitativa en el proceso y consecuentemente en la retroalimentación de los ciclos biogeoquímicos.

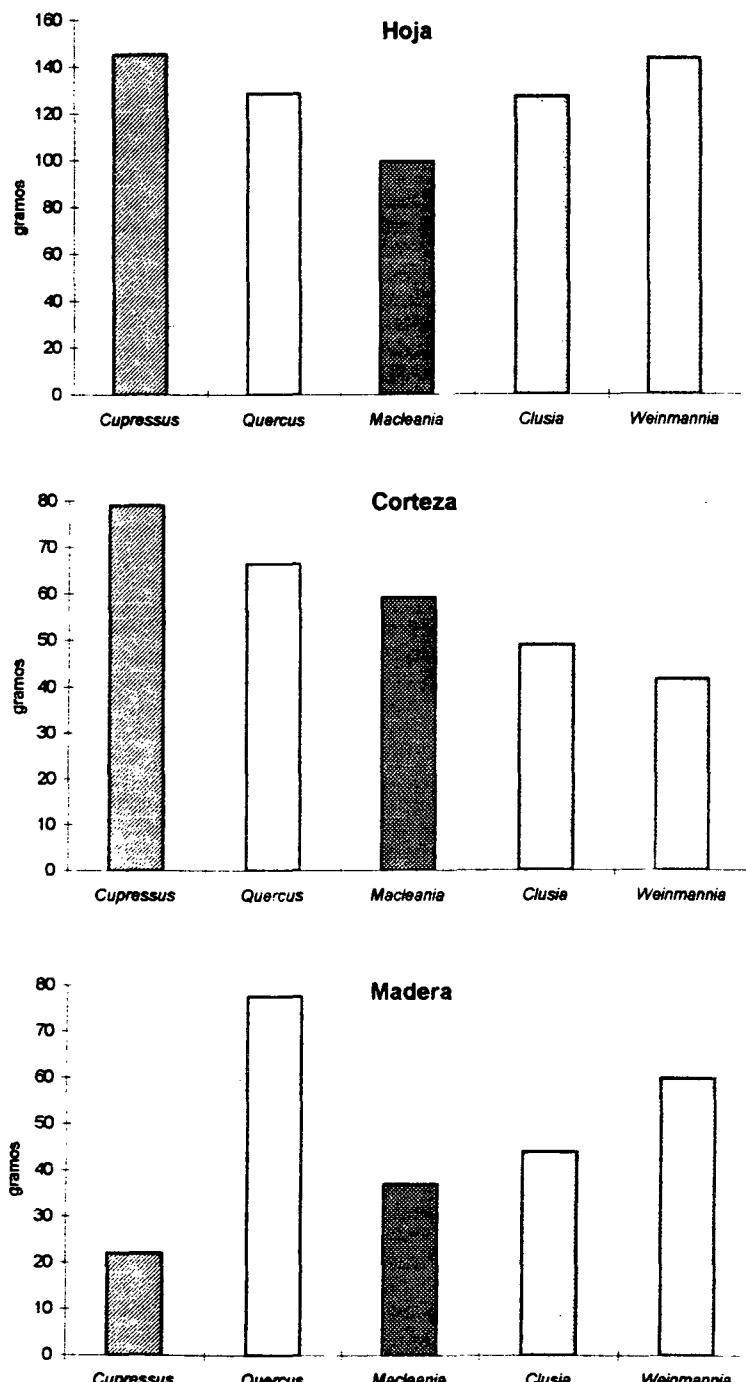


FIGURA 3. Sumatoria de la descomposición por estructura de cada especie

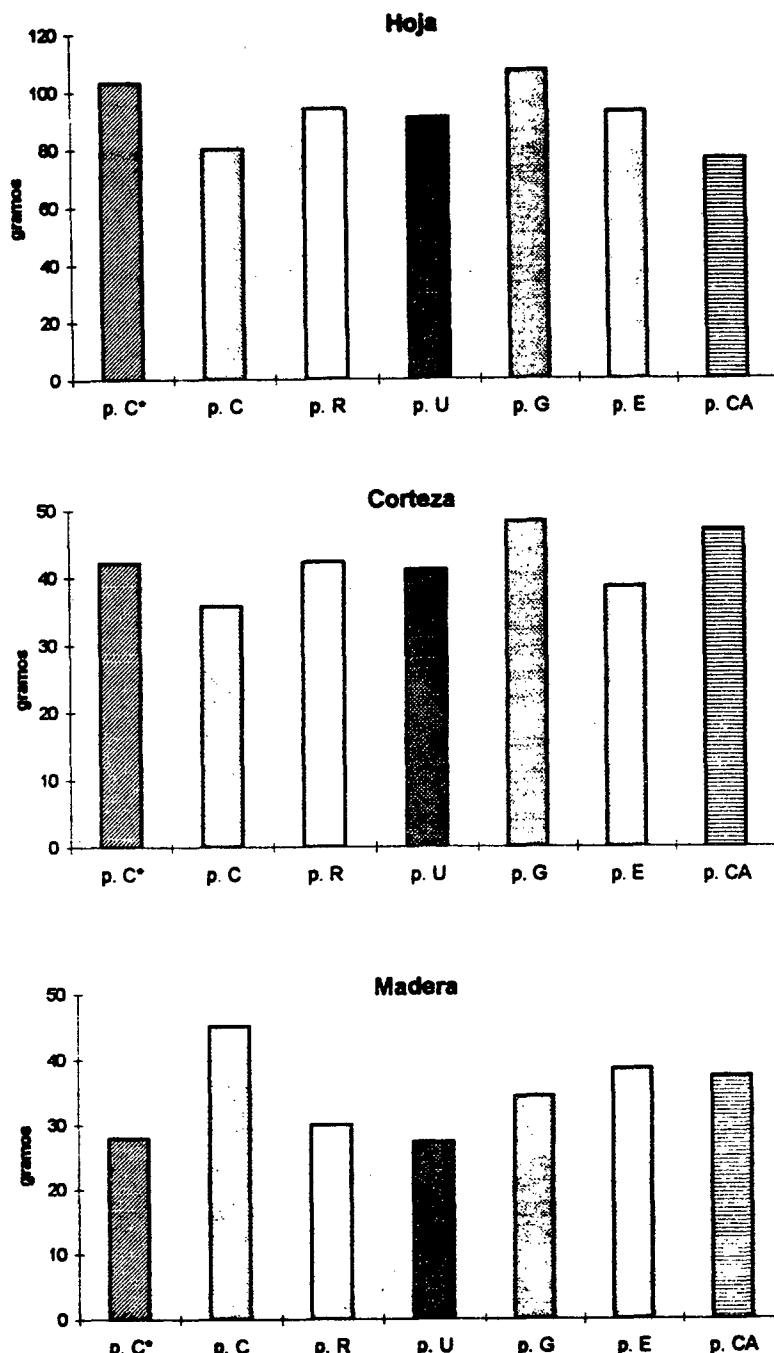


FIGURA 4. Sumatoria de la descomposición por estructura de cada parcela

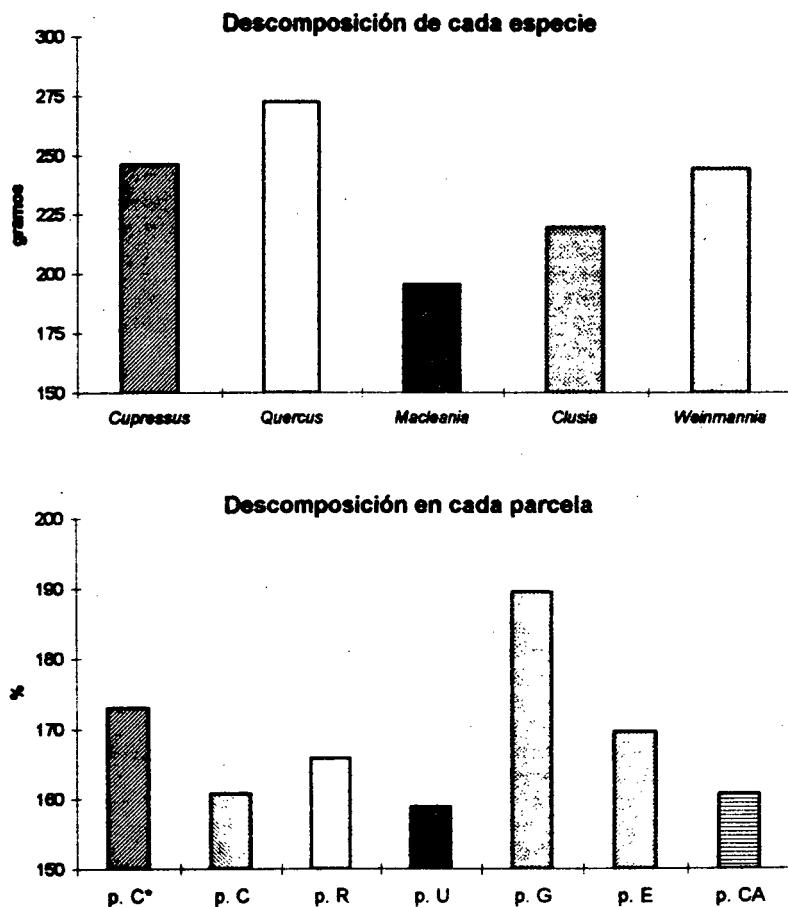


FIGURA 5. Sumatoria total de la descomposición de cada especie y en cada parcela

A pesar de los remanentes foliares se encuentra que *W. tomentosa* pero especialmente *C. Lusitanica*, liberan partículas por intenso fraccionamiento y podría pensarse que debido al menor tamaño sean más lábiles a la ruptura que las otras especies (UNESCO, 1980).

Con *C. lusitanica*, además, dichas partículas son resistentes a completar su degradación, produciendo acumulación y conformando franjas que impermeabilizan el suelo, como lo observado por BALLESTEROS (1983) y CORTES *et al.* (1985), mientras que la descomposición de las latifoliadas tiene continuidad, constituyendo horizontes de humificación en las áreas donde son dominantes, razón por la cual son imprescindibles en los planes de manejo y ordenación de la zona estudiada.

De las características del medio, la composición y cantidad de microfauna y micro flora son los factores edáficos de mayor importancia, de manera que el pH, granulometría, régimen hidrico, temperatura y condiciones de aireación, inciden en el edafón e indirectamente en la mineralización; la propia incorporación de materias orgánicas se constituye en un elemento fundamental que facilita las acciones fisicoquímicas de estos procesos (SWIFT y POSNER, 1977; FASSBENDER y GRIMM, 1981; KONONOVA, 1982). Con esta investigación se contribuye al conocimiento de que la especie *Clusia grandiflora* (p. G) es la que genera sobre las diversas materias orgánicas la mayor acción inductiva de degradación, en especial sobre hoja y corteza mientras que sobre la madera, principalmente, *Weinmannia tomentosa* (p. E) y *Cupressus lusitanica* (p. C) son especies con más éxito.

La acción oxidativa de las plantas estudiadas, expresa el ensamblaje estratégico de las estructuras con fines de digestibilidad, es decir, se constituyen como nivel trófico de los organismos detritívoros y transformadores, sustituyendo o reemplazando condiciones difíciles. Por ejemplo, en la parcela C*, se puede detectar la acción del Sphagnal, que aunque se desarrolla en ambientes adversos, facilita la degradación de las estructuras incluidas, en comparación con las demás parcelas, sin embargo de la alta resistencia de sus propios componentes que demoran muchos años en llegar a conformar la turba. Para el caso de la celulosa ocurre que su descomposición no se favorece y sigue los delineamientos encontrados por KONONOVA (1982) sobre la dificultad causada por sobresaturación de agua y solutos generando condiciones anaeróbicas cuando la mayor parte del edafón es aeróbico.

Llama la atención el comportamiento degradativo de algodón y las estructuras de corteza y madera en la parcela de campo abierto (ver Tabla 3), donde no hay amortiguación ni regulación por la vegetación estando, por el contrario, expuesta a permanentes variaciones climáticas y cambios continuos de humedad (fuertes variaciones diarias

de temperatura y alta humedad relativa), lo cual afecta los remanentes incluyendo perdidas a través de la malla, en un proceso de lavado y arrastre similar a lo planteado por YACOVCHENKO, cit. por ARGUELLO (1988), implicando fenómenos de escorrentía superficial con fraccionamiento y erosión de las estructuras antes de ser incorporados.

La actividad celulolítica sobre algodón es intensa en todas las parcelas si se relaciona con las restantes estructuras, pero es baja si se observa que después de dos años aún existen remanentes, lo que sugiere la acción de resistencia al proceso, dadas las condiciones de excedentes de humedad y reacción sostenida del suelo de pH 3,0 - 3,6 con bajas tensiones de oxígeno y bajas temperaturas, situación que a su vez dificulta el trabajo enzimático de los descomponedores.

2.1 RELACIÓN DE LA DEGRADACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN.

De las pérdidas de peso en el intervalo entre lecturas se puede colegir que los materiales más lábiles (hoja y corteza) indican una dependencia relacionada con la precipitación como lo encontrado por CABALLERO y PÉREZ (1993) en Neusa (Cund.) donde la mayor descomposición se presenta con el aumento de la precipitación y viceversa (SWIFT *et al.*, 1981; MADGE, cit. por BABBAR y EWEL, 1989), y en consecuencia con el aumento y disminución de los organismos del suelo (BERNHARD-REVERSAT, cit. por UNESCO, 1980; WITKAMP, cit. por GOLLEY, 1983).

Al mismo tiempo la degradación en las primeras etapas exhibe un "pico" que expresa una intensa actividad inicial; al respecto SINGH y GUPTA (1977) indican que la relación C/N es determinante en el proceso inicial, dado por el contenido de carbohidratos simples y N soluble. Según FASSBENDER y BORMEMIZSA (1987) plantas jóvenes y gramíneas presentan relaciones de 20 y en tejidos maduros, con bajo contenido de proteínas y minerales y mayor lignina, de 30, valor al cual ocurre resistencia a la mineralización. BOCOCK, cit. por BABBAR y EWEL (1989), explica una fase de pérdida inicial rápida debida a la lixiviación de compuestos solubles, en tanto que WIEDER y LANG, cit. por ARGUELLO (1988), implican el uso de estas sustancias como fuente de energía por los descomponedores; JORDAN (1985) indica que todos estos factores son complementarios y pueden ocurrir simultáneamente.

Las mayores pérdidas foliares de peso ocurren durante los ocho primeros meses, sobre pasando el 45 % del total descompuesto, a excepción de *M. rupestris* en p. C* y E. Sobre el mes 12 la mayoría alcanza el 52 - 85 % pero *M. rupestris* en p. C*, G y E solo expresa entre el 40 - 48 %.

En corteza se da la misma tendencia pero con menor intensidad; en el mes 12 las muestras se han degradado entre 51 - 77 % con excepción de *M. rupestris* en p. C*, G, E y CA, *W. tomentosa* en p. C y G, *Q. humboldtii* en p. R y *C. grandiflora* en p. G y CA.

En madera el proceso es tan lento que su intensidad es mayor durante el segundo año, aunque en el mes 12 *M. rupestris* en p. C*, C, U, E y CA, *C. grandiflora* en p. C y *Q. humboldtii* en p. R y CA han alcanzado el 52 - 78 %.

Este comportamiento es el reflejo de la composición de las estructuras, en donde a medida que aumenta la proporción de materiales resistentes, se necesita mayor tiempo para que la actividad de los organismos logre romper física y químicamente dichos compuestos.

La relación de la degradación de madera con el régimen lluvioso no es tan apreciable; solo hacia el final del estudio, cuando parece superarse las resistencias, empieza a sugerirse esta situación.

Los promedios de cada especie y parcela por estructura permiten analizar este comportamiento en toda la zona (Fig. 6) y para las especies en conjunto dentro de cada parcela (Fig. 7). En uno u otro caso la acción de la precipitación es muy influyente (Fig. 2) y en forma similar para hoja y corteza; nótese la respuesta inicial del proceso.

El control de celulosa, de acuerdo a la relación enunciada, se desfasa en p. E y CA cuando la precipitación disminuye, lo que evidencia acciones sobre el proceso muy propias de cada microambiente. Es importante tener en cuenta que la celulosa es un polímero que necesita condiciones de "maduración" química antes de liberar la glucosa, situación que es intensa en la p. C especialmente por el alto contenido de celulosa de los hongos descomponedores propios de su hojarasca (KONONOVA, 1982; PEREZ, 1995).

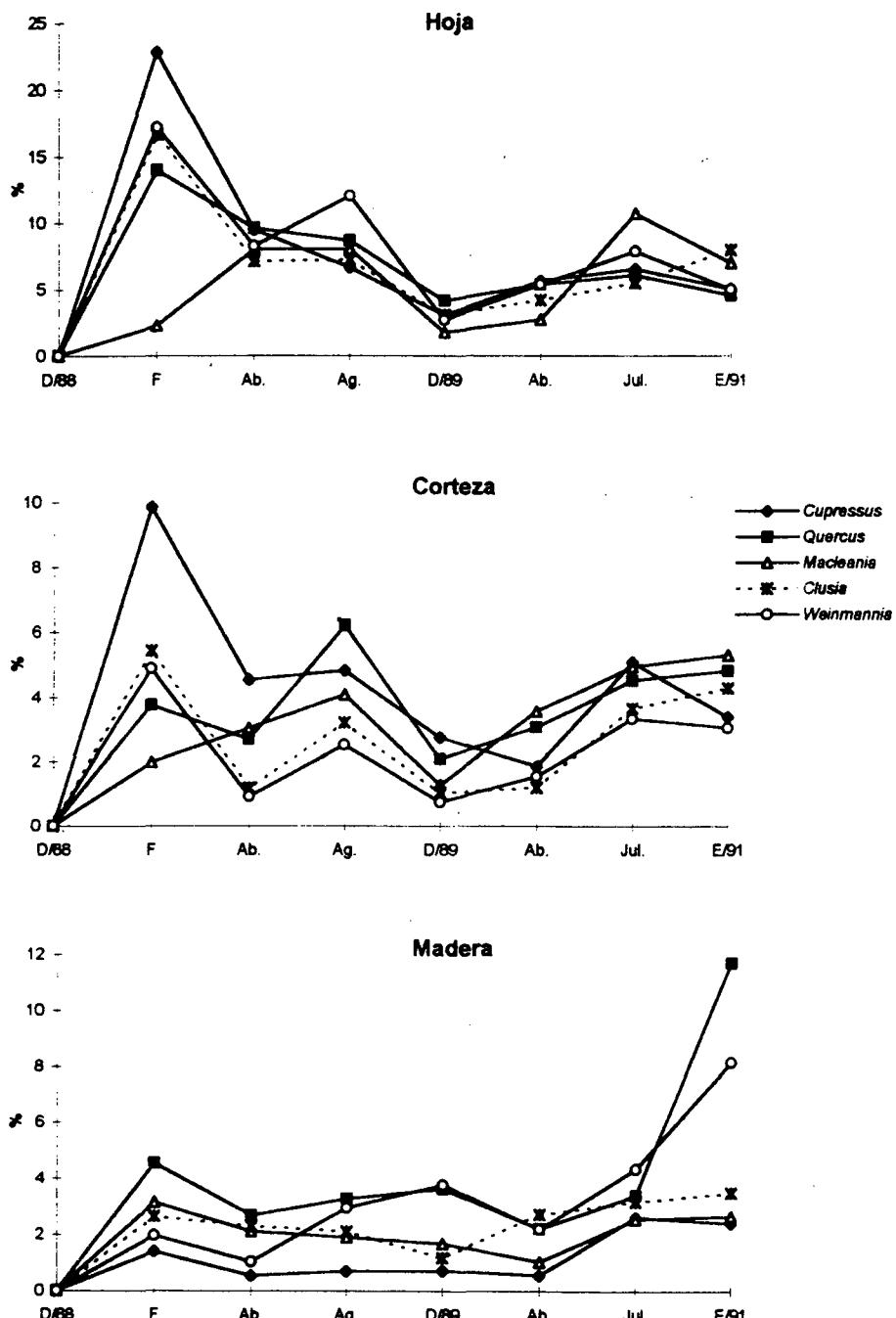


FIGURA 6. Porcentaje promedio degradado en cada lectura/especie

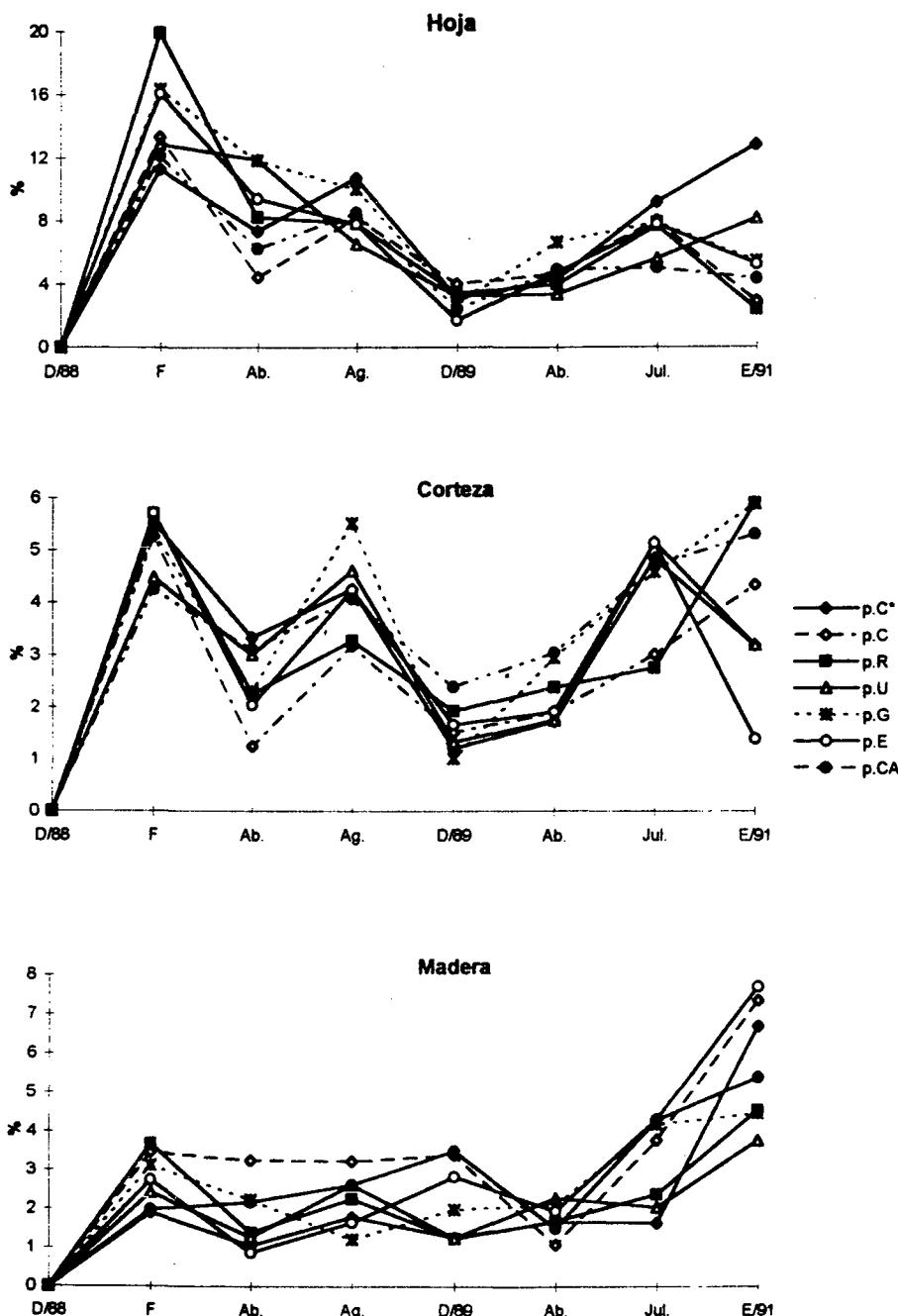


FIGURA 7. Porcentaje promedio degradado en cada lectura/parcela

Las anteriores tendencias dejan ver con claridad que los componentes o materiales de menor peso se degradan rápidamente cubriendo los primeros 12 meses y los de mayor peso o resistentes necesitan más tiempo para su incorporación. Unos y otros, son la forma de garantizar la continuidad en la formación de humus y permitir el desarrollo de procesos como el redox, la mineralización y la constitución funcional de las diferentes fases del suelo.

En cuanto al agua se refiere, en ningún tiempo de la investigación se presentó déficit hídrico en las parcelas, excepto en p. CA, aunque muchas de las especies representativas del alto andino tienen características xeromórficas. Se debe tener en cuenta que evolucionan en ambientes fisiológicamente secos por exceso de agua y fuerte acidez, situación que afecta la descomposición pero que no la detiene o elimina.

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con las pruebas de Duncan realizadas para las especies, zonas y fechas de muestreo, se corroboró la interpretación hecha de los valores registrados. A manera de ilustración, solo se presenta el resultado inicial, intermedio y final.

2.3.1. Prueba de Duncan para las especies. Para todas las estructuras el proceso inicial presenta similitudes entre especies, lo que depende de la cantidad de compuestos digestibles o perdidos por lavado. Posteriormente, los valores diferentes se deben a la especificidad de los descomponedores por parcela (JENSEN, 1974) y dependen de la riqueza de compuestos resistentes.

Esta prueba permite observar en cada parcela la actividad de las especies en el proceso y, en consecuencia, si la mayor o menor resistencia guarda más relación con estas o con las zonas (Tabla 4.).

2.3.2. Prueba de Duncan para las zonas. Con esta prueba se aprecia, complementariamente, qué sitio induce mayor intensidad para cada especie, encontrándose que también se presenta similitud entre parcelas para las especies, semejanza que tiende a concentrarse en las lecturas iniciales, intermedias o finales respectivamente para hoja, corteza y madera, lo cual indica una jerarquía de actividad degradativa proporcional a la labilidad de las estructuras, de acuerdo con lo discutido sobre la intensidad del proceso (Tabla 5.).

TABLA 4. Prueba de Duncan para las especies (registro inicial, medio y final) *

Parcela	HOJA			CORTEZA			MADERA		
	Feb/89	Dic/89	Ene/91	Feb/89	Dic/89	Ene/91	Feb/89	Dic/89	Ene/91
C*	4 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	1 b	1 a	1 b	1 b	1 b	1 b	3 b	2 b	2 b
	5 c	4 b	4 c	2 c	2 c	3 c	5 c	3 b	5 c
	2 c	2 b	5 c	5 c	3 c	2 d	2 c	4 bc	4 cd
	6 c	5 b	2 c	4 c	4 d	5 e	4 c	5 c	3 d
	3 d	3 c	3 d	3 d	5 d	4 e	1 d	1 d	1 e
C	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	5 b	5 b	5 b	1 b	1 b	1 b	4 b	2 b	2 b
	1 b	4 b	4 c	4 c	2 c	2 c	3 b	5 b	5 c
	2 c	2 c	1 d	5 d	3 c	5 cd	2 b	3 c	4 d
	4 c	1 c	2 d	2 d	4 c	3 de	5 c	4 c	3 d
	3 d	3 d	3 e	3 e	5 d	4 e	1 c	1 d	1 e
R	1 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	5 b	2 b	1 b	1 b	1 b	2 b	2 b	2 b	2 b
	4 b	1 b	5 c	4 c	2 c	1 c	4 c	4 c	1 c
	2 b	5 b	2 d	5 d	3 cd	3 d	3 d	3 d	3 d
	8 c	4 c	4 e	2 d	4 d	4 e	5 d	5 d	4 e
	3 d	3 d	3 f	3 e	5 d	5 f	1 d	1 e	5 f
U	1 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	5 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	2 b	2 b	2 b
	2 b	2 bc	2 c	5 c	2 c	2 c	3 c	5 c	5 c
	4 b	5 c	5 d	4 c	4 d	4 d	4 d	3 cd	4 d
	6 c	4 d	4 e	2 d	3 d	3 d	5 d	4 d	3 e
	3 d	3 e	3 f	3 e	5 d	5 e	1 d	1 e	1 f
G	1 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	5 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	4 b	2 b	2 b
	4 c	5 bc	5 c	3 c	2 c	3 c	2 b	4 bc	4 c
	6 c	2 c	2 c	4 c	4 cd	2 d	3 b	3 c	3 d
	2 d	4 d	4 c	5 c	3 cd	4 e	5 b	5 c	5 d
	3 e	3 e	3 d	2 c	5 d	5 f	1 c	1 d	1 e
E	1 a	6 a	6 a	1 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	5 b	5 b	1 b	6 b	1 b	1 b	2 b	2 b	2 b
	4 b	1 c	5 c	4 c	2 c	3 c	3 c	5 bc	5 c
	2 b	2 d	2 d	5 cd	4 d	2 c	5 d	3 cd	4 d
	6 c	4 d	4 e	2 de	3 d	4 d	1 d	1 de	1 e
	3 d	3 e	3 f	3 e	5 d	5 e	4 d	4 e	3 f
C.A.	4 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a	6 a
	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	1 b	2 b	2 b	2 b
	5 bc	5 b	5 b	4 b	2 c	2 c	3 c	5 c	5 c
	2 c	4 c	4 c	5 c	4 d	3 d	5 c	3 cd	4 d
	6 c	2 c	2 d	2 c	5 d	4 d	1 c	4 d	3 e
	3 d	3 d	3 e	3 d	3 e	5 e	4 c	1 e	1 f

1: *Cupressus lusitanica*2: *Quercus humboldtii*3: *Macleania rupestris*4: *Clusia grandiflora*5: *Weinmannia tomentosa*

6: Algodón

* Letras distintas indican diferencias significativas

TABLA 5. Prueba de Duncan para las zonas (registro inicial, medio y final) *

Especie	HOJA			CORTEZA			MADERA		
	F/89	D/89	E/91	F/89	D/89	E/91	F/89	D/89	E/91
<i>Cupressus lusitanica</i>	R a	G a	G a	C a	G a	G a	R a	E a	E a
	G a	R b	R b	R a	C* a	CA ab	G ab	R b	C* b
	E b	U bc	C* b	E b	CA a	C* ab	E bc	G b	CA c
	U b	C* cd	U b	G b	R ab	U bc	U cd	CA bc	G d
	C b	E cd	E c	C* bc	E ab	E c	C cd	U bc	R e
	CA cd	CA d	CA d	U bc	U bc	R d	CA d	C bc	C e
	C* d	C e	C e	CA c	C c	C e	C* e	C* c	U e
<i>Quercus humboldtii</i>	R a	R a	G a	C* a	CA a	R a	R a	C a	C a
	E b	G ab	C* b	CA b	E ab	CA b	E b	CA a	E b
	C c	U bc	R c	E b	C* abc	G c	C c	R b	CA c
	CA c	E cd	U c	G b	G bc	U c	U c	E c	G c
	U cd	C* cd	E d	R b	U bc	E d	CA c	G c	C* d
	G cd	C d	C e	U b	R bc	C* de	G d	U c	U d
	C* d	CA e	CA f	C c	C c	C e	C* e	C* d	R e
<i>Macleania rupestris</i>	R a	U a	C* a	G a	C* a	G a	C a	C a	G a
	C b	R a	E b	E b	U ab	C* b	C* b	CA b	CA ab
	U bc	G a	G c	C* bc	C ab	E c	G c	G b	C ab
	E cd	C* a	R d	C cd	R ab	CA c	E d	C* c	R b
	CA cd	E a	U d	U cd	G ab	R d	U e	U c	C* c
	G d	CA a	CA e	R d	E b	U d	R f	E c	E cd
	C* d	C a	C e	CA d	CA c	C e	CA g	R c	U d
<i>Clusia grandiflora</i>	R a	G a	G a	R a	CA a	CA a	C a	C a	R a
	C* ab	R a	C* b	E ab	U a	G a	R b	R ab	G a
	G bc	C a	U c	C* ab	E ab	U b	G c	G bc	CA a
	E bc	C* ab	C c	CA ab	G ab	R c	U d	CA cd	E b
	CA c	E ab	R d	C ab	R ab	E d	C* d	U d	C b
	C d	U bc	E d	G b	C* ab	C e	E e	C* d	C* c
	U d	CA c	CA d	U b	C b	C* e	CA e	E e	U c
<i>Weinmannia tomentosa</i>	R a	G a	G a	E a	U a	C a	G a	C a	C a
	G ab	E a	C ab	C* a	CA ab	G a	R b	CA b	CA b
	C ab	R ab	R bc	U a	R ab	CA b	C* bc	E bc	E c
	E b	U bc	C* cd	CA ab	C* b	C* b	E c	U cd	R d
	CA c	CA bc	E d	R ab	E b	R c	U d	G d	U d
	U c	C bc	U e	G ab	G b	U c	C d	R de	G e
	C* c	C* c	CA f	C c	C c	E d	CA d	C* e	C* e
Algodón	C a	C a	G a	C a	C a	G a	C a	C a	G a
	G b	R b	CA ab	G b	R b	CA ab	G b	R b	CA ab
	R bc	G b	R ab	R bc	G b	R ab	R bc	G b	R ab
	CA c	CA c	C b	CA c	CA c	C b	CA c	CA c	C b
	C* d	E d	E b	C* d	E d	E b	C* d	E d	E b
	E d	U d	U c	E d	U d	U c	E d	U d	U c
	U d	C* e	C* d	U d	C* e	C* d	U d	C* e	C* d

Parcelas: C*: Ciprés (influencia *Sphagnum*)

C: Ciprés

R: Roble

U: Uva

G: Gaque

E: Encenillo

* Letras distintas indican diferencias significativas

2.3.3. Prueba de Duncan para las fechas de muestreo. De acuerdo a lo analizado, con las excepciones correspondientes, se verifica la intensidad en la primera lectura y en general la participación de las lluvias se hace manifiesta, aunque existen casos en que no hay diferencias significativas entre la época húmeda y la seca.

No obstante, como ya se apreció en relación con el climadiograma, en esta investigación se ha considerado la influencia de la precipitación como un hecho de consistencia directa.

3. CONCLUSIONES

Se concluye que la actividad degradativa de una especie puede ser inducida o retardada por otra. El primer caso ocurre en hojarasca de *Clusia grandiflora* (parcela gaque), el segundo en la de *Cupressus lusitanica* (parcela ciprés) con registros inferiores a los que las especies expresan en su propia hojarasca, a excepción de *W. tomentosa*.

Cada especie tiene su tasa intrínseca de descomposición, la cual puede ser variada en su intensidad por el clima y microclima, pero fundamentalmente por la variación de la interacción temperatura - humedad, en donde es más determinante el contenido de agua.

Se verifica la influencia de la precipitación en el proceso, siendo más intenso con el aumento de humedad y viceversa, así como la intensidad de degradación inicial que depende de la descomposición química y estructural del sustrato a descomponer.

El proceso de descomposición es un criterio irrefutable en el análisis de índice y capacidad de sustentación de sitio, conocimiento que permite seleccionar las especies que puedan inducir la incorporación de materias orgánicas de especies introducidas como pinos, eucaliptos y ciprés, en programas de recuperación directa, rápida y segura dentro de planes de ordenación.

Dentro de los planes de manejo silvicultural y ordenación de la Cuenca del río San Cristóbal, se pueden incorporar las especies evaluadas *Quercus humboldtii* y *Weinmannia tomentosa* como las que más se descomponen (hoja, corteza y madera juntas) y a *Clusia grandiflora* como la que más induce la oxidación, con fines de repoblación y conservación en el interior del bosque y a la especie *Macleania*

rupestris en las zonas de borde que, aunque presenta retardos en la descomposición, conduce a la construcción de humus de alta calidad (según análisis químicos).

La descomposición total o parcial en función de la actividad celulolítica, permite utilizar el proceso como criterio básico, entre otros, de selección de especies inductoras, extractoras y liberadoras de energía y materiales al ecosistema, desde hierbas hasta árboles, individuales o en unidades de repoblación, de fácil o difícil digestión y que contribuyan en la evolución de elementos y en la nutrición mineral del consorcio vegetal. Se deduce que el proceso es el resultado de la interacción del complejo de componentes, incluyendo la vegetación asociada a la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Depto. de Ingeniería Forestal y a la Universidad Nacional de Colombia, Depto. de Biología, por su apoyo y colaboración permanente para el desarrollo de la presente investigación, dentro de los programas del Campo Biológico Experimental de las dos instituciones. De igual manera, a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B.) por permitir el acceso a la zona de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARGUELLO, H. 1988. Tasa de descomposición y liberación de nutrientes en el follaje de ocho especies de interés agroforestal en la franja premontano de Colombia. Tesis (Magister Scientiae). Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 132 p.
- BABBAR, L. y EWEL, J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica* 21(1): 20-29
- BALLESTEROS, M. 1983. Balance hídrico comparativo de una asociación de *Weinmannia* con los bosques de *Pinus* y *Eucalyptus* en Neusa. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Bogotá.

BRAY R. y GORHAN E. 1964. Litter production in forest on the world.. Advances in Ecological Research. De. By J.B. Cragg. Academic Press London & New York. P. 101 ~ 157.

BUITRAGO, C. y SALAZAR, L. 1986. Acción de *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* y ocho especies nativas del alto andino sobre el suelo. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Bogotá. 80 p.

CABALLERO, L.M. y PÉREZ, L. 1993. Contribución al índice de sitio de *Pinus patula*, Neusa (Cund.). Rev. Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Santafé de Bogotá. Vol. 6 Nº1. En prensa.

CASTILLO, G. y LÓPEZ, M. 1983. Evaluación del efecto de la cobertura vegetal sobre los caudales de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal Bogotá D.E. Tesis de grado. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Facultad de Ingeniería Forestal. Bogotá. 132 p.: il. + mapas.

CORTES, A., CHAMORRO, C. y VEGA, A. 1985. Cambio en el suelo por implantación de coníferas y eucaliptos en el área aledaña al embalse del Neusa (Cund.). Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 95 p.

DE LAS SALAS, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 447 p.

FASSBENDER, H.W. y GRIMM, U. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes occidentales de Venezuela, II. Producción y descomposición de residuos vegetales. Turrialba 31(1): 39-47

FASSBENDER, H.W. y BORMEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 419 p.

GOLLEY, F. B. 1983. Descomposition. In: Tropical rain forest ecosystems. De. by F. B. Golley. Amsterdam-Oxford-New York. p. 171-189.

GOLLEY, F. B. , Mc GINNIS, J. T., CLEMENTS, R. G., CHILD, G. L. and DUEVER, M. J. 1975. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Univ. of Georgia Press, Athens. 248 p.

JENNY, H., GESSEL, S. P. and BINGHAM, H. 1949. Comparative study of descomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Science 68: 419-432.

JENSEN, V. 1974. Descomposition of angiosperm tree leaf litter. In: Biology of Plant Litter Descomposition. Ed. by C. H. Dickinson and G. J. Pugh. Vol. 1. Academic Press London & New York. p. 69-104.

JORDAN, C. F. 1985. Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems: Principles and Their Application in Management and Conservation. Ed. by John Wiley & Sons. Chichester. 189 p.

KONONOVA, M. M. 1982. La materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-tau s.a. Ediciones. España. 325 p.

NYE, P. H. 1961. Organic matter cycles under moist tropical forest. Plant and Soil 13(4): 333-346.

ODUM, E. 1975. Ecología. Editorial Interamericana. México. 639 p.

PÉREZ, L. E. 1985. Actividad biológica y celulolítica como contribución al índice de calidad de sitio del *Pinus patula* en la región del Neusa, Cundinamarca. Tesis de grado. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Facultad de Ingeniería Forestal. Bogotá. 82 p.

SINGH, J. S. y GUPTA, S. R. 1977. Plant descomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review (USA) 43(1): 449-528.

SWIFT, M. J., HEAL, O. W. And ANDERSON, J. M. 1979. Descomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press. 372 p.

_____, RUSSELL-SMITH, A. y PERFEC, T. J. 1981. Descomposition an mineral nutrient dynamics of plant litter in a

regeneration bush-fallow in subhumid tropical Nigeria. *Journal of Ecology* 69: 981-995.

SWIFT, R. S. and POSNER, A. M. 1977 . Humification of plant materials: Properties of humic acid extracts. In: *Soil Organic Matter Studies Vol. I*. Ed. by International Atomic Energy Agency. Vienna. p. 171-181.

UNESCO/CIFCA. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales, informe sobre el estado de conocimientos preparado por Unesco/PNUMA/FAO. Ed. Altamira Madrid. p. 291-323.