



Ciclo de los macronutrientes en el sistema detritus-suelo en dos ecosistemas de bosque en Sierra del Rosario.

María E. Rodríguez
Instituto de Botánica, Academia de Ciencias de Cuba

Blanka Ulehlová
Instituto de Fitotécnica y Ecología Experimental
Academia de Ciencias de Checoslovaquia

RESUMEN

Se calcularon los ciclos de nutrientes en el sistema detritus-suelo sobre la base de los datos previamente obtenidos de tasa de descomposición de la hojarasca, contenido de nutrientes de la hojarasca y el suelo, y respiración del suelo. Los ciclos del C, N, P y K calculados mostraron dos estrategias diferentes en los ecosistemas estudiados. En la plantación de *Hibiscus elatus*, la producción es más dependiente de los nutrientes rápidamente liberados en la descomposición de la hojarasca. En el bosque natural, existe una reserva de nutrientes en la hojarasca acumulada en el horizonte A₀, la hojarasca se descompone más lentamente y la existencia de una estera radical asegura la retención de los nutrientes liberados de la hojarasca en descomposición.

ABSTRACT

Based on the previously obtained data concerning litter decomposition rate, litter and soil nutrient content and soil respiration, C, N, P and K cyclings were calculated in the soil-detritus system in two forests: a natural one, corresponding to a tropical evergreen submontane forest and

a *Hibiscus elatus* plantation of 10 years. Two different cycling strategies were found. That of the plantation based in a rapid turnover, in which production is more dependent on the nutrients released in litter decomposition, and that of the natural forest, in which there is a nutrient pool in the litter accumulated in A₀ horizon, litter decomposition is slower and a root mat plays an important role in conserving nutrients released from decomposing litter.

INTRODUCCIÓN _____

La evaluación de los ciclos de nutrientes constituye un instrumento muy útil para apreciar el funcionamiento de un ecosistema.

El subsistema de los detritus realiza dos funciones muy importantes:

- la mineralización de los nutrientes esenciales
- y la formación de la materia orgánica del suelo.

Según Swift *et al.*, (1979) la forma en que llevan a cabo estos dos procesos, -mineración y -humificación de la materia orgánica, los descomponedores (microflora y fauna edáfica) determina, en gran medida, las características estructurales y funcionales del ecosistema.

Estos autores consideran que el ciclaje de la materia orgánica es determinante principal de la estructura del ecosistema, mientras que el ciclo de los nutrientes representa un aspecto de la dinámica interna del mismo. Así, la velocidad con que se ciclan los nutrientes esenciales a través del subsistema de los descomponedores, funciona como un regulador de la productividad primaria.

En el caso de los ecosistemas tropicales, Odum (1971) y Jordan y Kline (1972) han señalado que el patrón de los ciclos de nutrientes en los trópicos es en muchos aspectos diferente al de los países templados. En estos, una gran parte de la materia orgánica y de los nutrientes está siempre depositada en el suelo o en los sedimentos. En los trópicos, la mayor parte de ellos está en la biomasa y son reci-

clados dentro de las estructuras orgánicas del ecosistema.

En los estudios realizados en Puerto Rico por Odum y Pidgeon (1970, en Odum, 1971) en un bosque húmedo, fueron reportados varios mecanismos conservativos. Uno de estos fue que la mayoría de los nutrientes minerales disponibles en el ecosistema estaban atados a los sistemas orgánicos vivos o muertos. Por ejemplo en un bosque tropical, el 58% del N total estaba en la biomasa, del cual el 44% estaba presente en la parte aérea, en comparación con un 6% y un 3% respectivamente, para un bosque de pinos en la Gran Bretaña.

Golley (1968, en Pomeroy, 1970) planteó que los bosques tropicales han desarrollado mecanismos para conservar los nutrientes esenciales como respuesta a una elevada tasa de descomposición y un elevado flujo de agua a través del sistema. Otros autores como Stark (1971) y Herrera *et al.*; (1978), en Herrera y Jordan (1981) han propuesto la teoría del ciclaje directo de los nutrientes minerales a través de la trama de raíces con micorrizas que se forman en las capas del horizonte A₀, como otro de los mecanismos de conservación de los nutrientes en los bosques tropicales. Asimismo, Golley *et al.*; (1975) utilizando el modelaje matemático encontraron otro mecanismo de estabilidad en algunos bosques de Panamá, en relación con la cinética química del sistema. El tejido leñoso de los troncos funcionaba como una gran masa casi insensible a las perturbaciones a corto plazo, actuando así no sólo como parte de la conservación de los nutrientes,

¹ Descomposition of organic matter in a tropical submontane evergreen forest at the Ecological Station in Sierra del Rosario, Cuba. Tesis de candidato a doctor, Instituto de Botánica ACCh, 1983, 209 pp.

sino pudiendo ejercer influencia en el control del ciclo de los mismos.

Sobre la base de los estudios previamente realizados por M.E. Rodríguez, (inédito)¹ del ecosistema de bosque tropical siempre verde submontano y de la plantación en terraza de *Hibiscus elatus* Sw (majagua) existentes en la Estación Ecológica de Sierra del Rosario, se cuantificaron los ciclos del C; del N; del P y del K en el subsistema de los detritus (hojarasca-suelo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se calcularon las entradas de C; N; P y K a la cadena alimentaria de los detritus a partir de los valores de la caída de la hojarasca y su contenido de nutrientes. El C en la hojarasca fue calculado como el 45% de la materia orgánica total (libre de cenizas). El C en el suelo fue calculado asumiendo el 58% de C en el contenido de M.O. total.

Las pérdidas de C se calcularon por:

- 1) La desaparición de la hojarasca sobre la base de la diferencia entre el máximo y el mínimo de mantillo acumulado en el suelo.
- 2) Por el CO₂ desprendido durante la mineralización de la materia orgánica y la actividad biológica global del suelo, medido *in situ* y en el laboratorio.

La liberación de los otros elementos se calculó sobre la base de la cantidad de hojarasca descompuesta (ver 1) y su contenido de nutrientes y el contenido de elementos en la hojarasca que cae. Los nutrientes fijados en el suelo a distintas profundidades se calcularon sobre la base del peso (densidad aparente x volumen), según datos reportados en M.E. Rodríguez (inédito)¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra el contenido de carbono en los componentes del sistema detritus-suelo y la cantidad que cicla de carbono en el bosque natural y en la plantación de *Hibiscus elatus* Sw. El C del CO₂ producido se asumió como el promedio calculado de todas las mediciones de CO₂ realizadas en cada uno de los ecosistemas de bosque, (9) en la figura.

En el bosque natural, la madera muerta que está sobre el suelo, (2) mantiene fijado cerca de 46 ton/ha/ de C. Las hojas y ramitas que caen con la hojarasca aportan 2 ton/ha de C al año, al suelo. En el horizonte A₀ existe un *pool* de cerca de 7.6 ton/ha de C y en el suelo mineral hay cerca de 120 ton/ha de C en la capa de 0 a 40 cm (4, 5, 6 y 7 en la figura). En la figura 2 se muestran las distribuciones relativas de estas cantidades en cada ecosistema.

Durante la descomposición de la hojarasca (8) se liberan 6,9 ton/ha/año de C; el C - CO₂ producido por la respiración de todos los componentes bióticos del suelo es como promedio de 4,3 ton/ha/año. La parte de C que está ciclando como C - CO₂ liberado y durante la descomposición de la hojarasca es de cerca del 9% de todo el *pool* de carbono del sistema.

Comparando el ciclo del C en los dos ecosistemas estudiados podemos resumir que en la terraza existe mucho menor cantidad de C fijado en la materia orgánica contenida en la parte mineral del suelo (cerca de la mitad) y una parte muy pequeña, seis veces menor, está contenida en el horizonte A₀. Sin embargo, en lo que respecta al flujo del C, el que se encuentra ciclando es 1,3 veces mayor en la terraza que en el bosque natural.

La entrada de C con la hojarasca caída (retorno) es 1,3 veces mayor en la terraza, pero prácticamente, toda esta hojarasca se descompone antes de medio año.

El total de CO₂ liberado incluye no sólo el producido por la respiración de la biota del suelo y de componentes tales como las raíces muertas, los exudados radicales; la biomas microbiana muerta y el humus; sino también la respiración de las raíces vivas de los árboles, arbustos y hierbas del bosque, así como de la respiración de toda la biota del suelo que se alimenta de otros organismos vivos. Por eso, este índice de la mineralización de la materia orgánica del suelo, no puede corresponderse directamente con la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación.

La cantidad relativa de C que corresponde al horizonte A₀ y al suelo mineral son diferentes en ca-

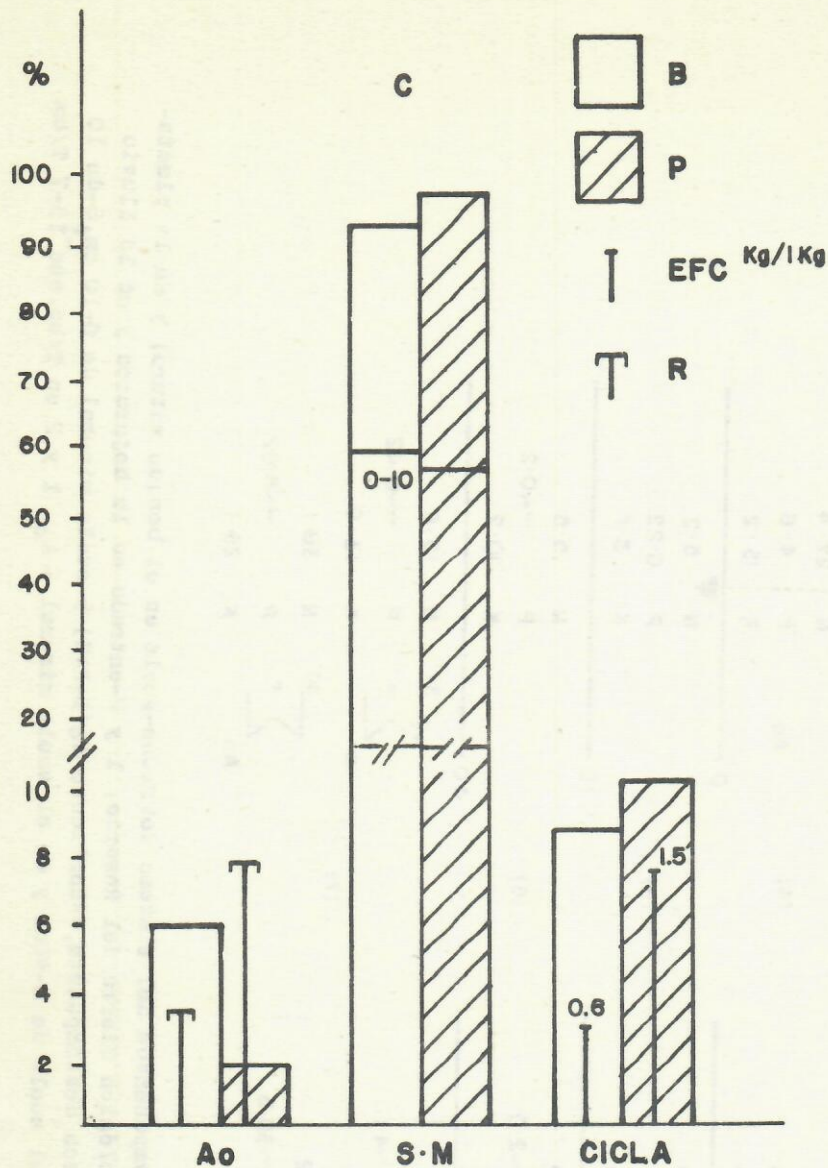


Figura 2.

Porcentaje del carbono, que contiene el horizonte A₀ y el suelo mineral (SM); que cicla y que retorna en la hojarasca (T), en la plantación (P) y el bosque (B) de S.del Rosario. EFC = eficiencia (ver texto).

mayores en este último. En el horizonte A₀ las reservas de nitrógeno son casi 6 veces mayores en el bosque que en la plantación, y el nitrógeno contenido en todo el suelo es 2 veces mayor.

Durante los diez años de siembra, la plantación de *Hibiscus elatus* ha acumulado en el horizonte A₀ parte de la energía transformada del sol, correspondiente a 1,23 ton/ha de C; 27,36 kg/ha de N y 46 kg/ha de P. Estas cantidades, junto con los nutrientes fijados en la biomasa vegetal y los nutrientes liberados en la descomposición, así como en el crecimiento (N, P, K, en las estructuras que se renuevan) dan la base para evaluar la eficiencia total del bosque.

Las cifras de N acumulado mues-

tran que este es conservado especialmente en los horizontes superiores del suelo. En el bosque natural del total de N almacenado en el suelo, el 90% se localiza en el horizonte A₀ y 16% cicla. En la terraza, aproximadamente el 71% del N se localiza en el horizonte A₀ y una cantidad equivalente al 125% del N total del suelo está ciclando.

Esta tasa mayor de N, que cicla en el proceso de la descomposición, suponiendo incluso que en este suelo hay mayores pérdidas, es probablemente parte de la estrategia de la plantación para mantener un buen abastecimiento de este elemento que garantice el crecimiento rápido de las plantas.

La mayor parte del N almacenado en el suelo está fuertemente unido

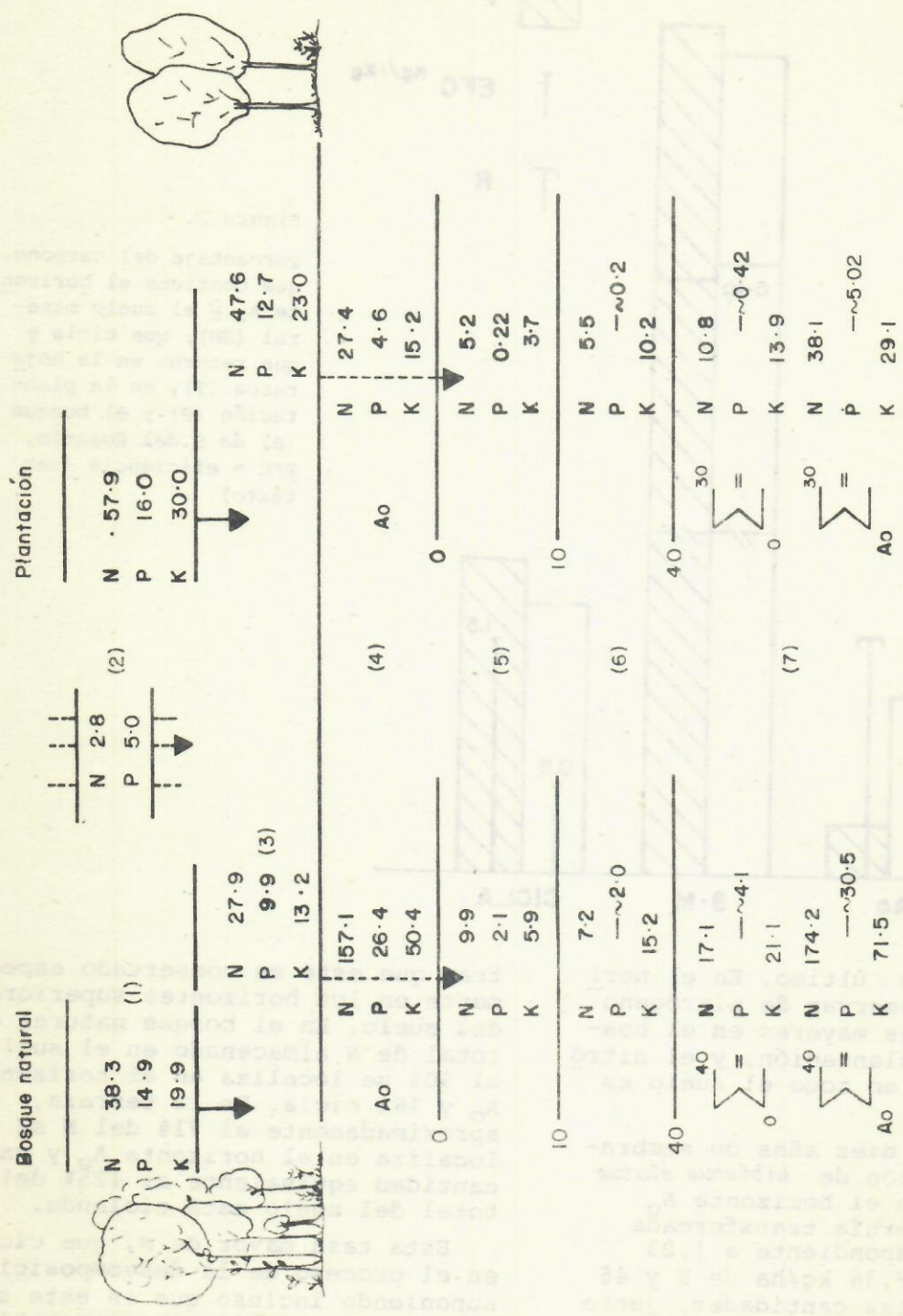


Fig. 3-Contenido de N, P y K en los componentes del sistema detritus-suelo en el bosque natural y en la plantación de *E. elatus* en la Estación Ecológica Sierra del Rosario. 1 y 2-entrada en la hojarasca y en la lluvia 3-nutrientes liberados en la hojarasca descompuesta, 4-horizonte A₀(L+F+H) 5-suelo mineral de 0-10 cm, 6-du 10 a 40 cm, 7-nutrientes contenidos en el suelo de 0-40cm y en el suelo mineral + A₀. 1 y 2 en T/ha.año⁻¹ 3-7 T/ha.

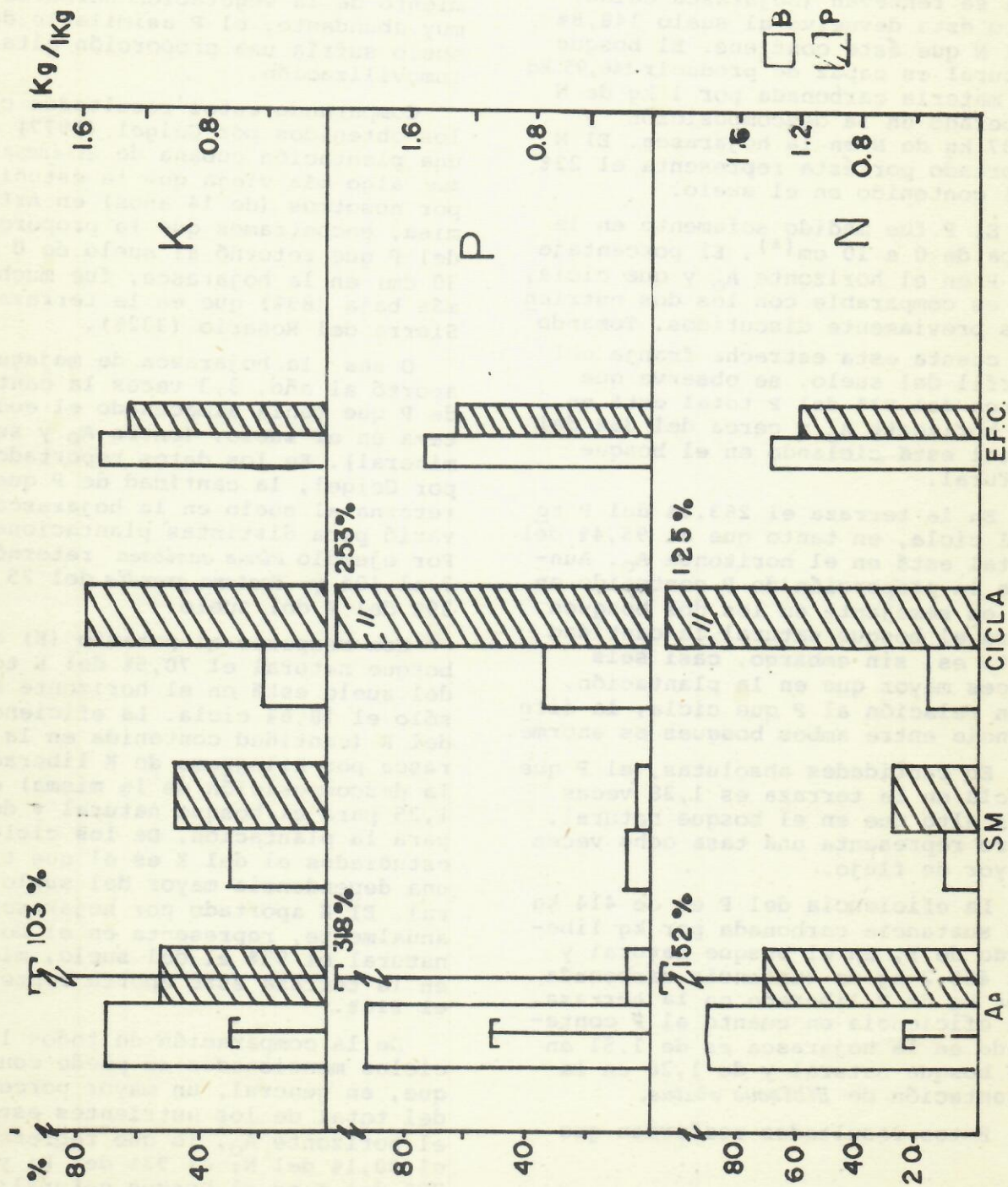


Figura 4.

Porcentaje de N, P y K, que contiene el horizonte A₀ y el suelo mineral (SM): que cicla y que retorna en la hoja rasca (T), en la planta ción (P) y el bosque (B) de S.del Rosario. EFC = eficiencia (ver texto).

a las sustancias húmicas. En el bosque natural con mayor contenido de materia orgánica, el contenido de N total del suelo (0 - 40 cm) es 1,6 veces mayor que en la terraza.

Al calcular la eficiencia de los rodales se estimó que en la terraza, 1 kg de N liberado por la descomposición de la hojarasca, es capaz de producir 113 kg de materia carbonada y solamente 1,2 kg de material nitrogenado en las estructuras vegetales que se renuevan (hojarasca caída) pero ésta devuelve al suelo 148,8% del N que éste contiene. El bosque natural es capaz de producir 146,95 kg de materia carbonada por 1 kg de N liberado en la descomposición y 1,37 kg de N en la hojarasca. El N aportado por ésta representa el 22% del contenido en el suelo.

El P fue medido solamente en la capa de 0 a 10 cm^(*). El porcentaje de P en el horizonte A₀ y que cicla, no es comparable con los dos nutrientes previamente discutidos. Tomando en cuenta esta estrecha franja del perfil del suelo, se observa que cerca del 93% del P total está en el horizonte A₀ y cerca del 35% del total está ciclando en el bosque natural.

En la terraza el 263,5% del P total cicla, en tanto que el 95,4% del total está en el horizonte A₀. Aunque la proporción de P contenido en A₀ es semejante en los dos bosques, para el bosque natural la cantidad neta es, sin embargo, casi seis veces mayor que en la plantación. Con relación al P que cicla, la diferencia entre ambos bosques es enorme.

En cantidades absolutas, el P que cicla en la terraza es 1,28 veces más alto que en el bosque natural, pero representa una tasa ocho veces mayor de flujo.

La eficiencia del P es de 414 kg de sustancia carbonada por kg liberado de P, en el bosque natural y de 425,2 kg de sustancia carbonada por kg de P liberado en la terraza. La eficiencia en cuanto al P contenido en la hojarasca es de 1,51 en el bosque natural y de 1,26 en la plantación de *Hibiscus elatus*.

Estos resultados reafirman que

(*)

y se estimó de 10 - 40 cm

para el mantenimiento del ecosistema, "la tasa de flujo es más importante que la concentración" como planteó Odum (1971). Este autor consideró que una tasa de flujo de P muy rápida es típica de los sistemas altamente productivos. En algunos bosques tropicales, Golley *et.al.*; (1975) encontraron que el P puede ser un factor potencialmente limitante. En la terraza estudiada, Rodríguez *et.al.*; (en prensa) reportaron que durante el período lluvioso, en que el crecimiento de la vegetación herbácea es muy abundante, el P asimilable del suelo sufría una proporción alta de inmovilización.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Geigel (1977) en una plantación cubana de *Hibiscus elatus* algo más vieja que la estudiada por nosotros (de 14 años) en Artemisa, encontramos que la proporción del P que retornó al suelo de 0 a 30 cm en la hojarasca, fue mucho más baja (89%) que en la terraza de Sierra del Rosario (332%).

O sea la hojarasca de majagua aportó al año, 3,3 veces la cantidad de P que tenía almacenado el ecosistema en el suelo, (entre A₀ y suelo mineral). En los datos reportados por Geigel, la cantidad de P que retorna al suelo en la hojarasca varió para distintas plantaciones. Por ejemplo *Pinus caribaea* retornó del 7 al 10% y *Tectona grandis* del 25 al 39% del P del suelo.

Con respecto al potasio (K) en el bosque natural el 70,5% del K total del suelo está en el horizonte A₀ y sólo el 18,6% cicla. La eficiencia del K (cantidad contenida en la hojarasca por kilogramo de K liberado en la descomposición de la misma) es de 1,25 para el bosque natural y de 1,3 para la plantación. De los ciclos estudiados el del K es el que tiene una dependencia mayor del suelo mineral. El K aportado por hojarasca anualmente, representa en el bosque natural el 95% el del suelo, mientras en la terraza este aporte representa el 216%.

De la comparación de todos los ciclos mencionados se puede concluir que, en general, un mayor porcentaje del total de los nutrientes está en el horizonte A₀, lo que representa el 90,1% del N; el 93% del P; y el 70% del K en el bosque natural; y el 87% del N; 95% del P; y 52% de K en la plantación. Por el contrario,

la proporción de los nutrientes que ciclan son en la plantación mucho mayores; 125% de N; 263% de P y 79% de K en comparación con sólo el 16% de N; 35% de P y 18% de K en el bosque natural.

Estos bosques parecen tener dos mecanismos distintos de conservación de los nutrientes del suelo: el del bosque natural, basado en la acumulación en el horizonte A₀ con una descomposición más lenta, menor producción de hojarasca y mayor movilización de los nutrientes (menor aporte de N P K en la hojarasca) así como una tasa de flujo de los nutrientes menor. El otro, el de la plantación de *Hibiscus elatus*, en que la estrategia de conservación de los nutrientes depende de un flujo rápido, debido a una mayor tasa de descomposición de hojarasca, de la cual depende la producción de la masa vegetal.

La eficiencia de todos los ciclos fue ligeramente mayor en el bosque natural, y sus valores oscilaron de 1,4 a 1,5 aproximadamente. En la plantación la eficiencia tuvo valores de 1,2 a 1,3 de N, P, ó K/kg de nutrientes liberado en la descomposición de la hojarasca.

En el bosque natural se han desarrollado además, otros mecanismos de conservación de los nutrientes. Uno de ellos es la formación de una trama o estera de raíces en las capas F y H que asociadas a las micorrizas actúan como un filtro para los nutrientes liberados en la descomposición de la hojarasca. Esta observación dio lugar a la teoría de la "absorción directa" primeramente planteada por Went y Stark (1968, en Stark 1971) y corroborada más tarde por Jordán y Kline (1972) y por Herrera *et. al.*; (1978) Herrera y Jordán (1981) en la cuenca amazónica. En Cuba, Rodríguez *et. al.*; (en prensa) plantearon la importancia de la trama de raíces formada entre las capas del horizonte A₀ y el papel de las micorrizas para la nutrición del P en el bosque de Sierra del Rosario. Actualmente Herrera *et. al.*; (1985) y Herrera (comunicación personal) están realizando una serie de estudios sobre las esteras radicales y la cantidad de micelio micorrícico V-A presente en ellas en distintos ecosistemas cubanos.

CONCLUSIONES

Se observaron dos estrategias de

ciclaje diferentes:

La entrada de nutrientes en la hojarasca producida fue mucho mayor en la plantación de *Hibiscus elatus* en la terraza que en el bosque natural. En la terraza existe una menor acumulación de nutrientes en el horizonte superior del suelo, pero un flujo muy elevado en la liberación de los mismos.

El bosque natural mostró una gran cantidad de nutrientes acumulados en el horizonte A₀ pero una menor parte de los mismos ciclando en el sistema. En la plantación la producción es más dependiente de los nutrientes que se liberan durante la rápida descomposición de la hojarasca, mientras que mecanismos de conservación más complejos se han desarrollado en el bosque natural, con un sistema edáfico más evolucionado y una comunidad vegetal más compleja.

BIBLIOGRAFÍA

- Geigel, P.B.
(1977). Materia orgánica y Nutrientes devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies forestales. *Revista Baracoa* 7(3-4): 15-39, jul-dic. 1977.
- Golley, FB.; J.T. McGinnis; R.G. Clements; G.I. Child and M.J. Duever
(1975). *Mineral cycling in a Tropical Moist Forest ecosystem* 248 pp.
- Herrera, R. and C.F. Jordán
(1981). Nitrogen cycle in a Tropical Amazonian Rain forest: the coating of low mineral nutrient states. En Clark F.E., Rosswall, E.T. (eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycles Ecol. Bull.* (Stockholm) 33: 493-505.
- Herrera, R.; H. Klinge and E. Medina
(1978). Amazon Ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia* 3(4): 223-231.
- Herrera, R.A.; M.E. Rodríguez; M.O. Orozco y R.L. Ferrer (en prensa): Estrategia nutricional de los bosques tropicales: La Estera radical y las micorrizas V-A. Ciclo lec-

tivo sobre Técnicas de Investigación en Micorrizas IFS-CATIE, Turrialba, Costa Rica, 18-28, sept. 1985.

Jordan, C.F. and J.R.Kline (1972). Mineral cycling: Some basic concepts and their application in a tropical rain forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 3: 33-50.

Odum, E.P. (1971). *Fundamentals of Ecology* third edition. W.B.Saunders Co. Philadelphia. 574 pp.

Odum, H.T. y R.F.Pigeon (1970). *A tropical rain forest: a study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico.* USAEC. 113-152 pp.

Pomeroy, I.R. (1970). The strategy of mineral

cycling. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1: 171-190.

Rodríguez, M.F.; M.O.Orozco; C.Alonso y M. Lescaille (en prensa): Variación de algunos factores edáficos en relación con afectaciones de la vegetación en un área de la estación Ecológica de Sierra del Rosario I- Humedad, M.O, N, P, relación C/N y pH. *Ciencias Biológicas.*

Stark, N. (1971). Nutrient cycling 1. Nutrient distribution in some amazonian soils. *Trop. Ecol.* 12: 24-50.

Swift, M.J.; O.W.Heal, and J.M.Anderson (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems.* University California Press, Berkeley, Los Angeles. 372 pp.

Recibido: 22 de Enero de 1986.