

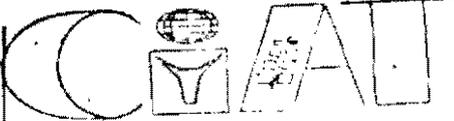
53  
153  
56

**EL RECICLAJE DE NUTRIMENTOS EN PASTOS TROPICALES**

J. M. Spain y J. G. Salinas



**CIAT**  
COLECCION HISTORICA



**BIBLIOTECA**  
ADQUISICIONES - CANJE  
19 NOV. 1987  
63404

Programa de Pastos Tropicales

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Cali, Colombia

# EL RECICLAJE DE NUTRIMENTOS, EN PASTOS TROPICALES<sup>1</sup>

J.M. Spain y J.G. Salinas<sup>2</sup>

## I. INTRODUCCION

La gran mayoría de los pastos tropicales en América se encuentran en suelos que por su ubicación en zonas de frontera y/o condiciones químicas, problemas de drenaje, o una topografía muy accidentada, se consideran como marginales. Casi sin excepción, son suelos ácidos, pobres en nutrientes esenciales y caracterizados por arcillas de baja actividad. Por lo tanto, el reciclaje eficiente de nutrientes tiene una importancia especial y a la vez, representa un gran desafío. El factor económico impide el uso de grandes cantidades de fertilizantes y cal para corregir los problemas químicos. La conservación de la fertilidad nativa y de los nutrientes provenientes de pequeñas cantidades de fertilizantes usadas en forma estratégica es vital para que los pastos sean productivos, estables y persistentes y que resulten rentables.

## II. REVISION DE LITERATURA

La presente revisión de literatura ha revelado algunas lagunas grandes en la investigación relacionada con pastos tropicales. El reciclaje de nutrientes ha sido poco estudiado en forma directa, se ha tratado de incluir los trabajos que en una manera indirecta contribuyan a un mejor entendimiento del tema.

Se ha estudiado ampliamente el requerimiento nutricional de

- 
- 1/ Trabajo presentado en el "Simposio de reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos", en la XVI Reunião Brasileira de Fertilidade do solo. 22-27 Julio 1984, CEPLAC, Itabuna, Brasil.
  - 2/ Científicos de suelos, Programa de Pastos Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)- Cali, Colombia.

## C O N T E N I D O

	<u>Página No.:</u>
I. INTRODUCCION .....	4
II. REVISION DE LITERATURA .....	4
A. PRINCIPIOS DEL RECICLAMIENTO DE NUTRIMENTOS .....	5
1. Compartimientos en el sistema de pasturas .....	5
a. Planta .....	6
b. Animal .....	6
c. Suelo .....	6
B. FUENTES DE NUTRIMENTOS EN EL SISTEMA DE RECICLAMIENTO ...	7
1. Retorno de nutrimentos en las excreciones de los animales en pastoreo .....	8
a. Distribución de las excreciones .....	8
b. Composición química de las excreciones .....	9
c. Distribución de los nutrimentos de la planta entre las heces y la orina .....	9
d. Pérdidas de nutrimentos de las excreciones depositadas en el suelo .....	9
e. Valor de las excreciones como fertilizantes ...	11
2. Fertilizantes .....	11
3. Alimentación suplementaria .....	11
4. Nutrimentos de la atmósfera .....	12
a. Precipitación atmosférica .....	12
b. Fijación simbiótica y no simbiótica de N .....	12

C.	EL MANEJO DE LA PRADERA .....	34
1.	Cobertura .....	35
2.	Balance .....	35
3.	El manejo de los residuos .....	36
IV.	UN MODELO DE RECICLAMIENTO DE NUTRIMENTOS EN PASTURAS DEL TROPICO HUMEDO .....	37
A.	LA IMPORTANCIA DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA .....	37
B.	LA CONCENTRACION DEL RECICLAMIENTO EN LA ZONA DE LOS RESIDUOS .....	37
V.	CONCLUSIONES .....	38
VI.	BIBLIOGRAFIA .....	40

pastos en la etapa de establecimiento pero no en la etapa de producción, bajo pastoreo. Así que no existen datos muy confiables sobre los requerimientos nutricionales de mantenimiento.

#### A. PRINCIPIOS DEL RECICLAMIENTO DE NUTRIMENTOS

Los nutrientes, esenciales para el crecimiento de las plantas y animales, son transferidos a través del sistema suelo, planta, animal, residuos de origen vegetal y animal y el suelo nuevamente. Esta secuencia de transferencias, a través de una serie de compartimientos, representa en la forma más simple reciclaje de nutrientes. En la práctica, así como existen diversos sistemas naturales como controlados por el hombre, hay muchos más compartimientos y transferencias involucradas en el reciclaje de los nutrientes que las indicadas en este esquema simplificado.

Muchos ciclos son policíclicos, lo que significa que un elemento puede ciclar a través de varios procesos dentro de un compartimiento (i.e. suelo) antes de ser pasado al próximo compartimiento (i.e. planta). El tiempo requerido para que un nutriente complete un ciclo varía de minutos en transferencias que envuelven microorganismos, a meses para la absorción y crecimiento de las plantas en cultivos anuales, a años para el consumo y crecimiento de animales y a miles y millones de años para las transferencias que envuelven el ambiente físico (i.e. de la atmósfera a la tierra y el mar y la formación de las rocas). Por lo tanto, la escala de tiempo del ciclo de cualquier nutriente bajo estudio debe ser cuidadosamente definido. Cualquier medida en una constante de tiempo, la cual es única, usualmente descuida algunos aspectos de la naturaleza dinámica del reciclaje de los nutrientes minerales (Newbould, 1978).

##### 1. Compartimientos en el sistema de pasturas.

Para comprender y cuantificar el reciclaje de cualquier elemento es necesario diseñar un modelo conceptual para representar los principales compartimientos y transferencias. Muchos modelos descriptivos, con varios grados de complejidad, han sido descritos en revisiones recientes (Tell and May, 1973; Mott, 1974; Heady, 1975).

Wilkinson y Lowrey (1973) adoptaron un modelo muy refinado con tres compartimientos o "pools" principales: planta, animal y suelo, siendo este último dividido en tres sub-pools: disponible, no disponible (minerales del suelo) y residuos (materia orgánica del suelo).

Newbould (1978) reportó que para cuantificar el reciclaje de los nutrimentos, se requiere conocimiento del elemento bajo estudio, los compartimientos y senderos entre ellos, la cantidad y velocidad de transferencia de los nutrimentos a través de ellos, la referencia del período de tiempo y definición del área y límites del sistema bajo consideración (i.e. pastura, granja o ecosistema agrícola).

Las características más importantes de los elementos, las cuales determinarán su patrón de reciclamiento, son: solubilidad en agua, volatilidad y su potencial electroquímico o grado de reactividad química. Por ejemplo, el nitrógeno y sus compuestos gaseosos son volátiles y sus compuestos sólidos tienen una alta solubilidad en agua; lo que implica que ciclos del nitrógeno sean extremadamente dinámicos y tengan muchos compartimientos y transferencias. Los ciclos del fósforo, en cambio, son menos vistosos que los del nitrógeno debido a que los compuestos del fósforo tienen una baja solubilidad en agua. Los ciclos del potasio son intermedios en complejidad porque a pesar de que los compuestos potásicos generalmente no son volátiles, estos tienen una relativa alta solubilidad en agua (Newbould, 1978).

a. Compartimiento de la planta. Este incluye todas las partes de la planta (parte aérea y raíces vivas). En la mayoría de las praderas intensamente pastoreadas, los nutrimentos duran una pequeña parte del tiempo total del ciclo en el compartimiento de la planta. Sin embargo, en el caso de vegetación nativa subutilizada o de bosques, los nutrimentos pueden permanecer en el compartimiento de la planta por largos períodos de tiempo. En estos casos, es a menudo difícil definir el tamaño del pool. Es a veces provechoso dividir la planta en pools de nutrimentos sostenidos en la parte aérea y los sostenidos en las raíces (Wilkinson y Lowrey, 1973; Newbould, 1978).

b. Compartimiento del animal. Este consiste en los nutrimentos sostenidos en los animales que consumen los productos de las plantas.

La absorción de los nutrimentos por las plantas y su consumo por los animales bajo pastoreo, sólo representa un retraso temporal en su flujo en el sistema. La retención de los nutrimentos por el animal bajo pastoreo es sólo una muy pequeña parte de la cantidad consumida y la mayoría son retornados al suelo en las heces y la orina del animal (Watkins, 1954; Herriott et al., 1959; Herriott y Wells, 1963; Newbould, 1978). Al momento que las excreciones del animal alcanzan la superficie del suelo, se convierten en parte del pool del suelo. (Newbould, 1978)

c. Compartimiento del suelo. Este incluye los residuos de las plantas y animales, los nutrimentos disponibles y los no disponibles.

La reserva mineral del suelo esta en un estado de equilibrio con el pool de los residuos, la cual ha sido definida por Till et al. (1970) como la fracción orgánica en el suelo, material muerto de las plantas, organismos, excreciones, etc. Este pool representa un estado transitorio, debido a que los residuos constituyen el sendero principal para el retorno de los nutrimentos dentro del ciclo. Las plantas obtienen sus nutrimentos de la reserva disponible del suelo. Por lo tanto, es posible considerar el suelo como un solo compartimiento constituido de tres sub-pools: disponible, no disponible y residuos. Es importante considerar el pool de residuos como una entidad separada porque es muy variable y además porque se necesita un tiempo largo antes que los nutrimentos sean mineralizados y transferidos al pool de nutrimentos disponibles (Wilkinson y Lowrey, 1973; Newbould, 1978).

Un concepto simplificado del mecanismo de reciclaje para un ecosistema de pastura es ilustrado en la Figura 1.

## B. FUENTES DE NUTRIMENTOS EN EL SISTEMA DE RECICLAMIENTO

La fuente primaria de los nutrimentos esta constituida por los materiales parentales, de los cuales los suelos fueron originalmente derivados. A continuación se intentará revisar las fuentes internas de los nutrimentos involucrados en el sistema de reciclamiento y las adiciones de nutrimentos al sistema.

CUADRO 1. Especies promisorias de forrajeras tropicales para los ecosistemas de sabanas bien drenados y bosques. (Tentativa, Octubre 1983).

Especies	Sabanas bien drenadas		Bosque tropical
	Llanos	Cerrados	
<i>Andropogon gayanus</i>	SI	SI	SI
<i>Brachiaria decumbens</i>	SI	SI	SI
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	SI	(NO)	(SI)
<i>Brachiaria humidicola</i>	SI	NO	SI
<i>Centrosema brasilianum</i>	SI	SI	(NO)
<i>Centrosema macrocarpum</i>	SI	SI	SI
<i>Centrosema</i> sp. (type CIAT 5112)	SI	(NO)	SI
<i>Desmodium ovalifolium</i>	SI	NO	SI
<i>Pueraria phasecoloides</i>	SI	NO	SI
<i>Stylosanthes capitata</i>	SI	SI	(NO)
<i>Stylosanthes guianensis</i> "tardío"	SI	SI	(SI)
<i>Stylosanthes guianensis</i> (común)	NO	NO	SI
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	SI	SI	(NO)
<i>Zornia</i>	SI	(SI)	SI

Fuente: Schultze-Kraft, comunicación privada.

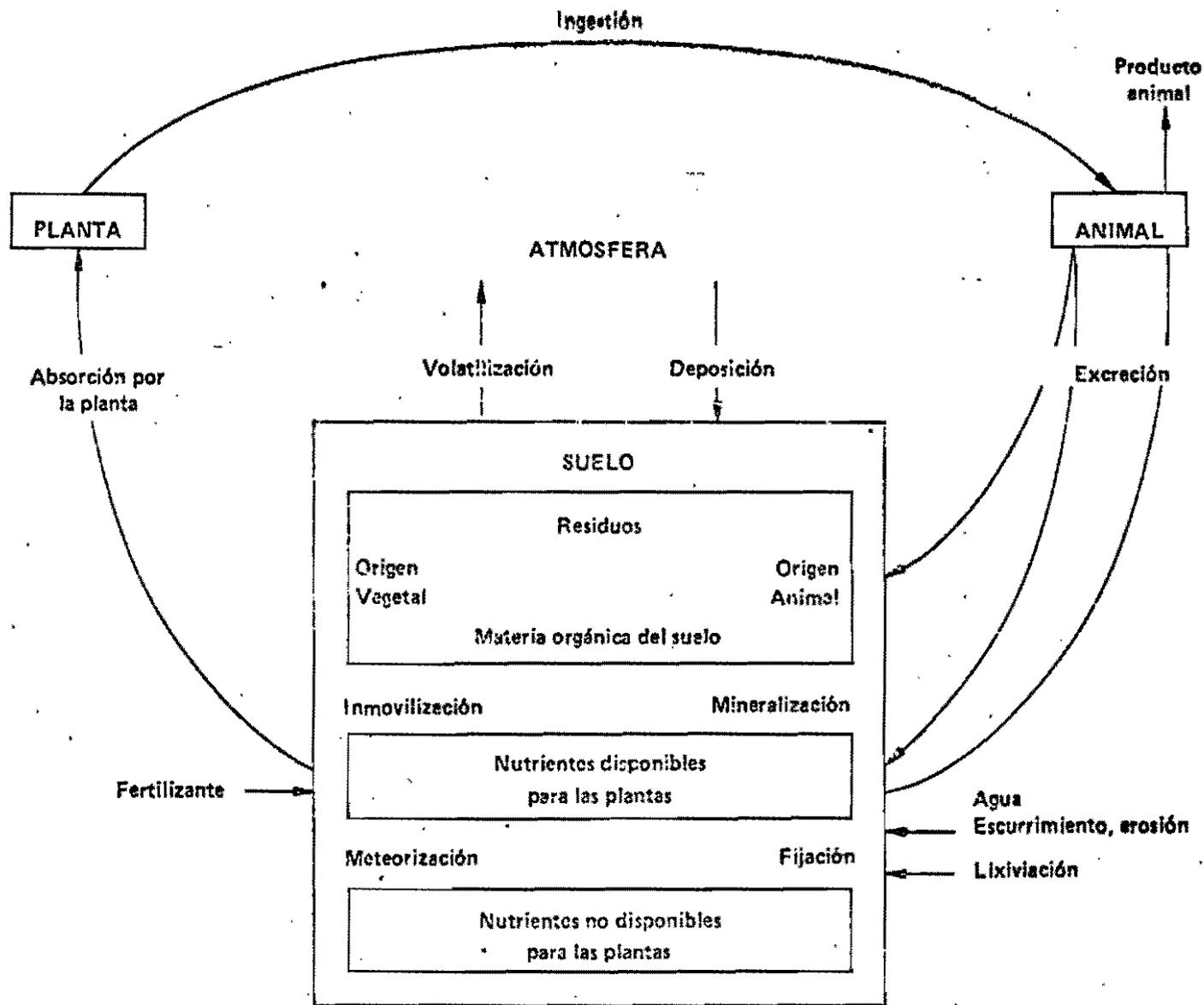


FIGURA 1. Reciclaje simplificado de nutrientes para un ecosistema de pastura (Wilkinson y Lowrey, 1973).

## 1. Retorno de Nutrimientos en las Excreciones de los Animales en Pastoreo

El retorno de los nutrimentos en las excreciones de los animales representa un sendero crítico en su reciclaje en un ecosistema de pastura. Debido a que el animal es móvil, el reciclaje de los nutrimentos de los residuos del animal será una función de esa movilidad, mientras que el reciclaje de los nutrimentos minerales de los residuos de las plantas no es complicado por factores de movilidad. El valor de la excreción del animal como fuente de nutrimentos, depende principalmente de su distribución sobre la pradera y su composición química.

a. Distribución de las excreciones. El área afectada por cada excreción, la frecuencia y distribución de las excreciones en relación con el área de pastura, son críticos para la eficiencia en el reciclaje de los nutrimentos.

Milkinson y Lowrey (1973) reportaron que los principales factores que afectan la distribución de las excreciones son: la carga, patrón de pastoreo que sigue los animales, área de descanso, tipo de animal (especies, sexo) y la cantidad y frecuencia de las excreciones. Los sistemas de manejo también afectarían los patrones de la distribución de las excreciones.

El número de excreciones producidas diariamente por el ganado vacuno en pastoreo, ha sido estudiada por algunos investigadores. Waite et al. (1951) reportaron que en promedio, una vaca adulta puede defecar cada 2 horas y producir una micción cada 3 horas.

Petersen et al. (1956) y más tarde Lotero et al. (1966) reportaron que el ganado vacuno adulto, de más o menos 2 años de edad, produce en promedio 56 libras (25.5 kg) de estiércol y 20 libras (9 kg) de orina por día.

En la literatura se reportan algunas estimaciones del área cubierta por excreciones individuales. Así, el área cubierta por una defecación varía desde 0.049 a 0.129 m<sup>2</sup> (Petersen et al., 1956); mientras que el área cubierta por una micción individual varía de 0.189 a 0.419 m<sup>2</sup> (Doak, 1956).

b. Composición química de las excreciones. Lotero et al. (1966) señalaron: que una parte significativa de los nutrientes contenidos en un forraje, son retornados a la pradera en las excreciones de los animales en pastoreo. Ha sido estimado que aproximadamente el 75% del N, el 80% del P y el 85% del K que ingieren los rumiantes en el forraje, son retornados a la pastura en el estiércol y la orina (Salter y Schollenberger, 1939; Peterson, Woodhouse y Lucas, 1956).

La composición química de excreciones frescas varía, dependiendo del alimento y la clase de animal. En promedio, éstas contienen 0.38%N, 0.18%  $P_2O_5$  y 0.22%  $K_2O$ , mientras que la orina fresca contiene aproximadamente 1.10% N, 0.01%  $P_2O_5$  y 1.15%  $K_2O$  (Doak, 1952; McClusky, 1960).

c. Distribución de los nutrientes de la planta entre las heces y la orina. La remoción más grande ocurre con el calcio y el fósforo (Handreck y Godwin, 1970). La retención mineral por los animales está influida por la edad, condición, estado de lactancia, etc., y por el nivel de consumo. En la etapa de crecimiento de los animales, se espera que la retención mineral sea mayor; de igual manera, esta sería mayor en vacas lecheras que en ganado de carne (Wilkinson y Lowrey, 1973).

Barrow y Lambourne (1962) reportaron que el N, K y el B son fácilmente absorbidos por el animal y son excretados en la orina; mientras que el P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu son principalmente excretados en las heces. De igual manera, ellos reportaron que el 55% del S fue excretado en las heces. Esto fue más tarde confirmado por Hansard y Mohammed's (1969).

Los nutrientes de las plantas que son excretados en la orina, son considerados estar en una forma más fácil disponible para las plantas (Wilkinson y Lowrey, 1973).

d. Pérdidas de nutrientes de las excreciones depositadas en el suelo. Existen varias formas por medio de las cuales los nutrientes presentes en la zona de las raíces se pueden perder: volatilización, lixiviación, fijación y remoción por el cultivo. Esto dependerá de las condiciones ambientales existentes y de la naturaleza de los nutrientes.

La relación entre concentración residual en la zona radicular y el tiempo después de la aplicación de los nutrimentos, ha recibido mucha atención por parte de algunos investigadores. Krantz et al. (1943) indicaron que las pérdidas por unidad de tiempo del nitrógeno son proporcionales a la concentración de este elemento en la zona radicular. Aunque no hay una evidencia directa, existen algunas indicaciones de que la pérdida de potasio, desde la zona de las raíces, también es proporcional a su concentración (Seay et al. 1949).

Lotero (1966) indicó que la tasa de desaparición desde la zona de las raíces, de elementos contenidos en la excreción depositada directamente por animales en pastoreo, parece ser una función lineal del tiempo, comenzando desde el primer mes siguiente a la deposición de la orina.

La suma total de pérdidas de nutrientes de las excreciones depositadas por animales en pastoreo, pueden ser significativas. Algunos autores han reportado que las pérdidas de nitrógeno de las excreciones son altas y que el efecto benéfico que puede ser esperado de las heces y orina en la pastura es muy poco (Peterson, Woodhouse y Lucas, 1956; Jonsson, 1963). Sin embargo, otros autores sugieren que las pérdidas son muy pequeñas y que una gran cantidad del N de las excreciones es absorbida; ya sea por las plantas de la pradera o por la materia orgánica del suelo (Richardson et al., 1939; Harmsen et al., 1955).

During y MaNaught citados por Lotero (1966), demostraron indirectamente que, con aplicaciones de orina en cantidad y concentración equivalentes a las deposiciones de animales en pastoreo, la recuperación en el forraje, fue sólo del 10% para el N y 23% para el K. En este mismo estudio, se encontró que el efecto del N de la orina sobre la producción de forraje y la concentración en el pasto, se perdió a los 2 meses, mientras que el efecto del K fue significativo durante 2 años.

Doak (1952) reportó que la concentración de N en el área cubierta por una micción, puede variar de 200 a 550 kg/ha y que es lógico asumir que con concentraciones de N de tales proporciones, puedan ocurrir grandes pérdidas. El mismo investigador sugirió que el N podía perderse de la orina, por diferentes caminos: 1) En forma de amonio, desde las hojas del pasto, 2) En

forma de amonio o N gaseoso, desde el suelo por desnitrificación o reacción del nitrato con úrea, 3) Por lixiviación como úrea, nitrito o nitrato.

e. Valor de las excreciones como fertilizantes. Lotero (1966) indicó que la disponibilidad del N de las excreciones puede variar, desde fácilmente aprovechable en la orina hasta muy lentamente aprovechable en las heces.

Sears et al. (1949), en Nueva Zelandia, reportaron que la producción de las pasturas, fue significativamente incrementada por las excreciones de ovejas en pastoreo. Luego, Sears y Thurston (1953), no encontraron aumento en la producción total del forraje debido a las excreciones pero sí en la calidad.

Herriott y Wells (1963) realizaron estudios que incluyeron el retorno y no retorno de las excreciones sobre un período de 5 años. En estos estudios, los contenidos de materia seca, N, P y K en el tratamiento que incluyó las excreciones, fueron mayores que los del tratamiento sin excreciones.

Algunos investigadores (Peterson, Woodhouse y Lucas, 1956; MaClusky, 1960; Lotero et al., 1966) han indicado que las concentraciones de los nutrimentos en las excreciones son altas, pero los efectos de éstos en la fertilidad total de la pastura, puede ser de poca importancia porque las excreciones están muy localizadas y mal distribuidas.

## 2. Fertilizantes

Aunque las cantidades de fertilizantes que se utilizan en los pastos en regiones tropicales son inferiores a las que se utilizan en las regiones templadas, las respuestas son generalmente más grandes que las obtenidas en las regiones templadas. El uso estratégico de pequeñas cantidades de fertilizantes es vital en muchos suelos. Este tópico no será tratado en más detalle porque escapa a los lineamientos de este trabajo.

## 3. Alimentación Suplementaria

Alimentos transportados al sistema desde fuentes externas pueden cons-

tituir una significativa contribución a las reservas de nutrimentos. Los nutrimentos en las excreciones del animal, generados de una alimentación suplementaria (granos, heno, minerales, etc.), entran el sistema de reciclamiento y aumentan la cantidad y calidad del forraje producido y el producto animal por unidad de área (Wilkinson y Lowrey, 1973).

Para mayores detalles sobre el efecto residual de la alimentación suplementaria sobre la productividad de la pastura y la composición nutricional del suelo, se recomienda los trabajos de Benacchio et al. (1969) y Benacchio, Baumgardner y Mott (1970).

#### 4. Nutrimentos de la Atmósfera

a. Precipitación atmosférica. Las cantidades, principalmente de N, depositadas en la precipitación sobre la superficie de la tierra varía grandemente de acuerdo a las localidades. Henzell y Norris (1962) indicaron deposiciones de N menores de 1 kg/ha/año a casi 50 kg. La cantidad normal añadida al sistema por esta fuente externa, no es probablemente significativa como para producir mucha influencia en praderas manejadas intensivamente.

b. Fijación simbiótica y no simbiótica de N. Adiciones de N por fijación simbiótica a la reserva de nutrimentos del suelo ha sido bien documentada; pero estimativos de la cantidad de N añadida varía grandemente, dependiendo de varias circunstancias y diferentes especies de plantas. Se estima que la cantidad, añadida por la simbiosis leguminosa-Rhizobium, varía entre 200 y 300 kg N/ha/año (Mott, 1974). Sin embargo, cantidades más grandes han sido reportadas en la literatura (Henzell y Norris, 1962).

Pequeñas cantidades de N (10-15 kg N/ha/año) pueden ser fijadas por otros géneros de bacteria como Azotobacter en forma no simbiótica. Sin embargo, estos organismos son de dudosa importancia económica debido a que el ambiente del suelo, con respecto al pH, temperatura y competencia con otros microorganismos del suelo por el carbono orgánico no les favorece.

#### C. MODELOS EN EL RECICLAMIENTO DE NUTRIMENTOS

Según Wilkinson y Lowrey (1973), los modelos pueden ser estáticos o

dinámicos. Los modelos estáticos no estiman el flujo entre compartimientos; mientras que los dinámicos sí lo estiman. Los modelos son de mucha ayuda en la organización de datos y en la predicción de efectos de cambios en las entradas del sistema.

Van Dyne en 1969, citado por Wilkinson y Lowrey (1973), presentó un macromodelo generalizado de un ecosistema de pastura; el cual entre otras cosas, presentaba 4 funciones de control. Las 4 funciones de control estaban representadas por: la comunidad vegetal, comunidad animal, comunidad microbiana y los efectos de la manipulación humana. Los efectos de la comunidad vegetal incluían: competición por nutrientes, características en la absorción de nutrientes, morfología, longevidad y distribución de las raíces, requerimiento de nutrientes para el óptimo crecimiento de las plantas, etc. Los efectos de la comunidad animal incluían: patrones de pastoreo y deposición de las excreciones, los cuales afectarían la eficiencia del reciclamiento de los nutrientes. Los submodelos de interacción microbiana incluían: efectos antibióticos, antagonismo y sinergismo. El submodelo de manipulación humana por último abarca: prácticas de manejo y experimentación, las cuales incluyen fertilización, irrigación, movimiento del ganado, siembra y cosecha de cultivos, etc.

El arte y la ciencia en el desarrollo de modelos, es relativamente nueva y no es la intención de este trabajo, la discusión de las ventajas y requerimientos de los modelos, sistemas de análisis, desarrollo de modelos y simulación de sistemas. Para una amplia discusión de estos tópicos, se recomienda la revisión de los trabajos de Dale (1970); Jeffers (1978) y Webster et al. (1979).

#### D. NUTRIMENTOS ESPECIFICOS

##### 1. Nitrógeno

Las tres principales fuentes de N disponible para el crecimiento de las pasturas tropicales son: a) materia orgánica del suelo; b) leguminosas

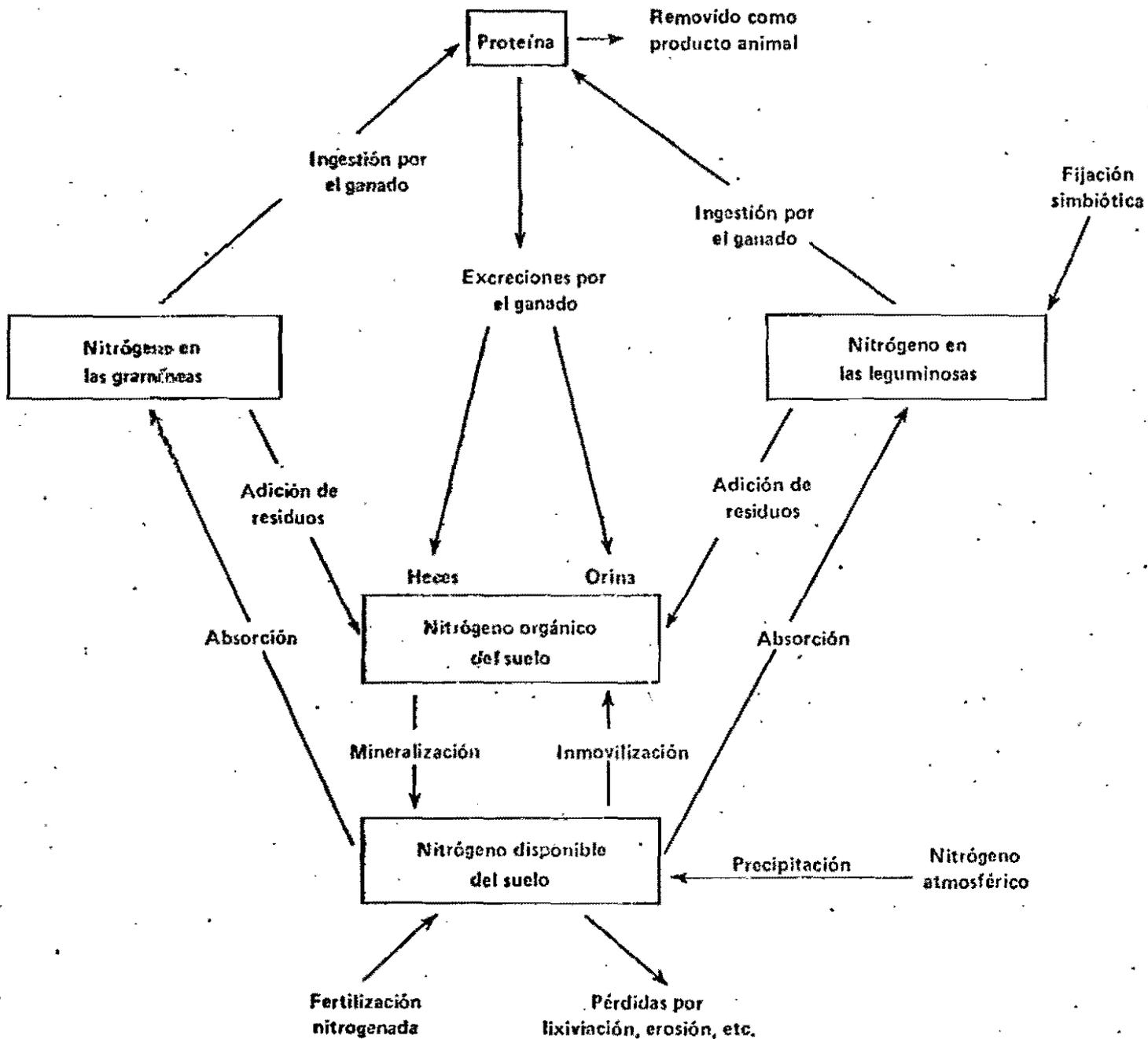


FIGURA 2. El reciclaje del nitrógeno en una mezcla de gramínea-leguminosa, bajo pastoreo. (Adaptado de Henzell, 1970).

noduladas, y c) fertilizantes nitrogenados sintéticos. En la Figura 2 se presenta un diagrama con los más importantes compartimentos y senderos que sigue el N en una mezcla de gramínea-leguminosa bajo pastoreo. El ciclo del N es abierto; hay cantidades significantes del elemento que pueden ser añadidas al ecosistema de fuentes externas como son:  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  de la atmósfera,  $\text{N}_2$  de la fijación por leguminosas, adición de fertilizantes nitrogenados sintéticos, excreciones de los animales en pastoreo, etc. Sin embargo, hay cantidades significantes también de N que se pueden perder del sistema por: lixiviación, volatización, desnitrificación, etc.

a. Entradas al sistema. La principal fuente de N para los cultivos es comúnmente la materia orgánica del suelo, la cual es en gran parte un producto residual de adiciones previas de los residuos de plantas y animales. Normalmente, la materia orgánica del suelo es convertida, por el proceso de mineralización, en amonio y entonces en nitritos y nitratos, los cuales son formas disponibles para las plantas. La tasa de mineralización del N bajo praderas no disturbadas es muy baja, usualmente menos de 1% por año para todo el perfil y un poco más alta para la capa superficial del suelo. Por lo tanto, la cantidad de N disponible para el crecimiento de la planta es usualmente menos de 100 kg-ha-año y a veces solamente de 10 a 20 kg (Brockington, 1960; Norman, 1963). Tasas un poco más altas de mineralización ocurren por un corto período después que los suelos han sido disturbados en cultivación o desmonte, pero bajo pasturas ellas usualmente persisten por solamente muy pocos años (Henzell, 1977).

La cantidad de N añadida a una pradera tropical como consecuencia del polvo y/o la lluvia, podría ser alrededor de 5 kg-ha-año y será generalmente menos de 10 kg-ha-año (Henzell y Norris, 1962a, b; Jones y Bromfield, 1970). La cantidad de N que puede ser aportado por la precipitación, varía con la localidad. Robinson y Robbins en 1968, citados por Jones y Woodmansee (1979), reportaron valores de 2 a 3 kg N-ha-año para la parte noroeste de California, donde los efectos de contaminación ambiental son mínimos. Los mismos investigadores reportaron valores de 5-10 kg N-ha-año para el valle de San Joaquín donde existe una mayor contaminación de fuentes urbanas y agrícolas.

Absorción directa de  $NH_3$  de la atmósfera por el forraje, ha sido estudiada por muchos investigadores; algunos de los cuales han llegado a sugerir que las cantidades de N recibidas por este sendero pueden constituir una porción significativa del N total absorbido por la planta (Porter et al., 1972; Denmead et al., 1976); sin embargo, no han sido hasta el momento totalmente cuantificadas.

La fijación de  $N_2$ , por leguminosas noduladas puede jugar un importante rol en el mejoramiento de pasturas, especialmente en el trópico. La tasa de fijación de N por leguminosas, que se desarrollan naturalmente, está gobernada por el rendimiento total de plantas de leguminosas noduladas. Praderas tropicales no mejoradas, a menudo contienen una proporción tan pequeña de leguminosa que las ganancias de N por esta fuente debe ser insignificante (Benzell, 1977).

Benzell en 1968, citado por Jones y Woodmansee (1979), estimó que en suelos deficientes en N en Australia, el promedio anual de fijación de N por leguminosas tropicales en pasturas (bajo pastoreo), fue del orden de los 20 a 180 kg/ha. Valores más altos pueden ser expresados con especies de crecimiento más rápido y bajo condiciones climáticas más favorables. Nutman (1976) reportó que el promedio de N fijado por las leguminosas Centrosema pubescens, Stylosanthes spp. y Pueraria phaseoloides es de 259, 124 y 99 kg-ha-año. La cantidad de N fijado depende de varios factores tales como: especies de leguminosa, efectividad de la inoculación con Rhizobium, cepas y un número de condiciones ambientales (Dawson, 1974).

Resulta más difícil evaluar el rol de los organismos que fijan N en forma no simbiótica (Moore, 1966). Bacterias fijadoras de N de los géneros Azotobacter y Beijerinckia son conocidas por ocurrir en suelos de praderas tropicales (Becking, 1961), pero todavía no se ha podido probar con exactitud que ellas puedan fijar una cantidad importante de N bajo condiciones prácticas. Ganancias excediendo los 100 kg-ha-año han sido reportadas (Moore, 1966); pero un trabajo más reciente ha indicado que las cantidades anuales son usualmente menores de 10 kg N-ha-año en suelos muy bien drenados bajo pastoreo (Kass et al., 1971). Cantidades más altas parecen más probable en suelos inundados, donde los residuos de las plantas son descompuestos anaeróbicamente



(Porter y Grable, 1969; Clark y Paul, 1970), pero en suelos bien drenados es probable que las cantidades sean insignificantes (Michustin y Shilnikova, 1969).

La mayoría del N que pasa a través de las plantas y animales en un ecosistema de pastura, subsecuentemente es retornado al suelo en los residuos de las plantas y excreciones de los animales. La cantidad de N retornado al suelo en la forma de residuos de plantas, constituye, sin lugar a dudas, una considerable porción del N total removido por las plantas. Esta cantidad varía grandemente con el tipo de planta, condiciones climáticas, rendimientos y el nivel original de N asimilado por la planta (Jones y Woodmansee, 1979). Whitney y Kanehiro (1967) encontraron que la caída de hojas fue una fuente más importante de transferencia que el lavado de la parte aérea de 5 leguminosas o la liberación de nódulos y raíces después de la defoliación.

La presión de pastoreo tiene una importante influencia sobre el mecanismo de transferencia. Bajo una alta presión de pastoreo habrá una muy poca caída de hojas, pero probablemente un más rápido "turnover" de raíces y nódulos (Hanzell, 1977).

Los animales excretan la mayoría del N que ellos ingieren. Aparentemente, la proporción que es digerida y excretada en la orina aumenta con la concentración de N en la dieta (Milford y Raydock, 1965; Robinson y Stewart, 1968), y el N en la orina es más fácilmente disponible para la absorción por la planta que el de las heces (Doak, 1952; Wilkinson y Lowrey, 1973; Hanzell, 1977).

Sin embargo, el N en las heces y la orina es depositado sobre la pastura en una forma muy heterogénea. Lotero, Woodhouse y Petersen (1966) reportaron que aún con altas capacidades de carga, las excreciones solamente afectan el suministro de N en una fracción muy pequeña del área total de pastoreo.

b. Salidas del sistema. Williams et al. (1964) reportaron algunas evidencias de que las pérdidas de N por lixiviación pueden ser sustanciales, dependiendo de la cantidad y distribución de las lluvias. En un estudio usando lisímetros, alrededor de 70 kg N-ha-año fue lixiviado sobre un período de 4

años (Jones et al., 1974). Este valor es probablemente alto porque lisímetros tienden a intensificar los procesos de lixiviación (Allison, 1965). Henzell y Ross (1973) indicaron que pérdidas sustanciosas de N por lixiviación son probablemente restringidas a sistemas intensivos de agricultura, los cuales reciben grandes cantidades de N, ya sea de fertilizantes sintéticos o leguminosas noduladas en regiones con altas precipitaciones.

Las pérdidas de N por erosión, no han sido medidas directamente pero parecen ser menores debido a que la erosión es prácticamente nula excepto bajo circunstancias no muy usuales, tales como cuando el suelo ha sido disturbado por cultivación o los árboles han sido removidos (Jones y Woodmansee, 1979).

Las pérdidas de N por volatilización es el área de mayor inseguridad en el conocimiento actual del ciclo del N bajo un ecosistema de pasturas, principalmente por la dificultad en medir los flujos de los gases de nitrógeno en el campo (Ross et al., 1968).

Con pastura, pérdidas de N hasta un 60% fueron reportadas de fertilización con urea (Simpson, 1968), más de un 50% de orina (Watson y Lapins, 1969) y hasta de un 80% de heces (Gillard, 1967). La mayoría de este N fue perdido en forma de amoníaco.

Denmead et al., 1974, también opinaron que las pérdidas gaseosas de compuestos nitrogenados de pasturas pueden constituir una gran parte del N en el sistema.

Hanck y Bremner en 1969, citado por Henzell (1977), indicaron que debido a las bajas concentraciones de N mineral que normalmente se encuentra en el suelo de praderas tropicales no mejoradas, las pérdidas por volatilización o desnitrificación son probablemente muy pequeñas.

El N también se pierde cuando las praderas son quemadas (Henzell y Ross, 1973), aunque la cantidad de N que queda en la parte aérea de la planta al final de la época seca (cuando ellas son normalmente quemadas) puede ser solamente casi 1/3 de la cantidad presente en la estación de crecimiento

(Norman, 1963). Alrededor de 5 kg N/ha se perdieron por la quema de una pastura nativa en Katherine, Australia (Norman y Wetselaar, 1960).

La remoción de N de la pradera en forma de leche o carne es probable que sea pequeña bajo condiciones extensivas. El ganado vacuno contiene alrededor de 2.4% de N en su cuerpo vivo (Agricultural Research Council, 1965) así que la remoción de nitrógeno de los sistemas que despachan menos de 100 kg-ha-año de peso vivo sería menos de 2 kg-ha-año (Henzell, 1977). La leche de la vaca contiene de 0.5 a 0.6% N por peso (Henzell, 1977).

Walker et al. (1956) reportaron que un animal de engorde puede excretar más del 90% del N ingerido y que una vaca lechera, alrededor del 75%. Esto fue más tarde confirmado por los trabajos de Dean et al. (1975) y Woodmansee (1978), quienes estimaron que alrededor del 17% del N ingerido por novillos fue retenido en los tejidos de los animales en crecimiento.

## 2. Fósforo

El reciclaje del P está gobernado por su estabilidad (baja solubilidad) y su baja movilidad en los suelos (Wilkinson y Lowrey, 1973). El P es relativamente inmóvil en formas disponibles para los organismos y no tiene fases gaseosas. Como resultado, el P tiende a existir en cantidades relativamente constantes en cualquier ecosistema dado sobre períodos de años (Jones y Woodmansee, 1979). Sin embargo, las cantidades de P en los diferentes compartimientos pueden variar de año en año.

La remoción de P por la cosecha, origina la mayoría del requerimiento de P de tales sistemas, mientras que en situaciones de pastoreo el retorno de P a través de los residuos de las plantas y animales resulta en un ciclo relativamente cerrado (Odum, 1969; Mays et al., 1980).

La Figura 3 representa un diagrama simplificado en el cual se presentan los procesos mas importantes relacionados con el reciclamiento del P en un sistema suelo-planta-animal.

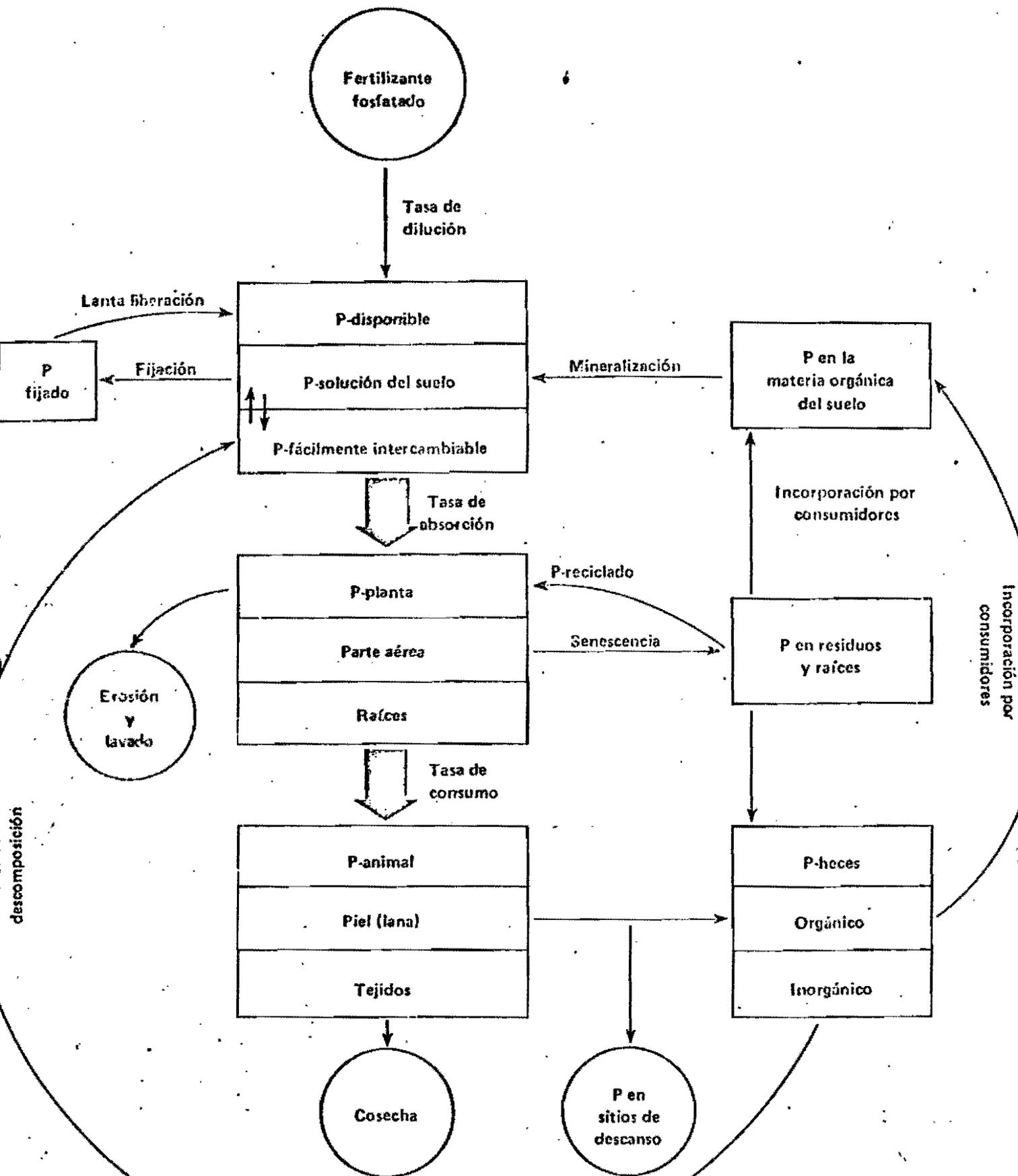


FIGURA 3. Reciclamiento del P en un sistema suelo-planta-animal. (Fuente: Blair et al., 1976).

Según Mays et al. (1980) el objetivo deseado en el manejo de pastura, es mantener la tasa de transferencias del P de los residuos y del P no disponible del suelo a la reserva del P disponible del suelo bastante alta para suplir adecuado P y así mantener un crecimiento suficiente de la planta para un buen pastoreo.

a. Entradas al sistema. Jones y Woodmansee (1979) reportaron que la mayoría del P disponible, proviene de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Grandes esfuerzos han sido realizados para identificar los compuestos orgánicos de P que se encuentran en los suelos (Blain et al., 1976). Se ha determinado que en algunos suelos, compuestos tales como los fosfatos de inositol representan hasta el 50% del P orgánico (Anderson, 1967). Estos estudios han llevado a la creencia de que la contribución de P de esta fuente a las plantas, es de poca importancia en regiones templadas (Russell, 1973); aunque esto puede ser significativo en áreas tropicales (Williams, 1967).

Mays et al. (1980) indicaron que factores tales como el contenido inicial de P orgánico, fósforo total, el contenido de agua de los residuos y la temperatura y el tiempo, son los que determinan si ocurre o no mineralización neta de P de los residuos de plantas y animales. Floate (1970) reportó que de 3 a 30% del P orgánico original en las heces de ovejas y de 2 a 5% del P orgánico en los residuos de la planta fue mineralizado. El sugirió que no es probable que la mineralización neta positiva ocurra cuando los contenidos de P orgánico son menos de 0.09% durante las primeras semanas de descomposición.

Blair et al. (1976) reportaron que existe considerable evidencia de que hay un reciclaje significativo de la materia orgánica en el suelo, y que hay fuertes interacciones entre la mineralización y los procesos de absorción. Sobre esta base, el P orgánico del suelo fue considerado un componente importante para la producción de pasturas.

La proporción del P, retornada por los animales, depende principalmente de la cantidad de pasto utilizado por los rumiantes en pastoreo. Minderboud et al. en 1975, citado por Mays et al. (1980), indicaron que los animales raramente pastorean mas del 60% del pasto. El P de la planta consumida por el

animal, es reciclado a través de las excreciones; mientras que el P de la planta no consumida, es reciclado a través de los residuos de la planta (litter, raíces, etc.). El P es excretado principalmente en las heces, con solamente trazas en la orina (Barrow y Lambourne, 1962). La distribución en espacio y tiempo de los residuos de la planta y del animal es muy distinta.

Jones y Woodmansee (1973) reportaron que alrededor del 77% del P en el litter y 79% en las raíces muertas, se vuelve disponible para el crecimiento de la planta en el próximo año. Del total de P en la parte aérea de la planta, del 60 al 80% es soluble en agua y la mayoría es inorgánico (Bromfield y Jones, 1970).

Numerosos ensayos han sido conducidos en pequeñas parcelas donde el estiércol del animal ha sido retornado mecánicamente, manualmente o no ha sido retornado. Muchos de estos ensayos han sido revisados por Wilkinson y Lowrey (1973). En general, los resultados sugieren que solamente a largo plazo el retorno de P en el estiércol afectará significativamente los requerimientos de fertilizantes fosfatados. Esto se explica por la distribución desigual y la baja movilidad del P en las heces. El P si puede reciclarse en forma mas eficiente bajo una alta carga pero conduce a un uso más intensivo de la pradera.

Carter (1965) y Ozanne y Hower (1971) sugirieron que bajo pastoreo, el requerimiento de P de una pastura es aumentado. Estos resultados fueron asociados con la necesidad por una mayor absorción de P bajo condiciones donde la redistribución del P absorbido dentro de la planta es prevenida por la defoliación. En contraste, McLachlan y Norman (1966) y McLachlan (1968) sugirieron que una presión alta de pastoreo puede reducir los requerimientos de P de la pastura debido a una mayor cantidad de P acumulado en la superficie del suelo, como resultado de un reciclaje de P más intenso.

Bromfield (1961) y Bornemissza y Williams (1970) reportaron que la disponibilidad de P en las heces mezclada con el suelo, es alta pero la inaccesibilidad y baja movilidad del P en las heces depositadas sobre la superficie del suelo resulta en una baja disponibilidad para la absorción por las raíces y reciclaje. Escarabajos del estiércol, lombrices de tierra y otros

organismos del suelo aumentan la velocidad de mineralización de las heces por medio del enterramiento.

El ingreso de P de la atmósfera en el polvo y/o en la lluvia que cae es mínimo. Jones y Woodmansee (1979) indicaron que la contribución del polvo en el aporte de P a las praderas de California es probablemente insignificante en la mayoría de los casos. La lluvia puede contribuir con 0.04 a 0.5 kg P-ha-año, según Katznelson (1977). Ingresos de 0.2 a 0.6 kg P-ha-año han sido reportadas por Duvigneaud y Denalyer-De Smet en 1970, citados por Wilkinson y Lowrey (1973).

Cole et al. (1977) y Katznelson (1977) indicaron que los aportes de P en los ecosistemas de pasturas de la meteorización de los minerales primarios del suelo serán de muy poca significancia en el reciclamiento del P.

b. Salidas del sistema. En suelos arables y bien drenados, el P no está sujeto a grandes pérdidas por lixiviación o volatización (Black, 1968; Mays et al., 1980). Wilkinson y Lowrey (1973), utilizando un sistema hipotético de pasturas con vacas y terneras, determinaron que las pérdidas de P del sistema a través de lixiviación fueron del orden de los 0.3 kg P/ha. A corto plazo, las pérdidas por lixiviación y erosión parecen ser insignificantes en praderas anuales; pero la evidencia para esto es parcialmente indirecta (Jones y Woodmansee, 1979).

Según Alexander (1977) no hay evidencia de que el P es perdido en forma gaseosa; aún bajo condiciones anaeróbicas.

En cosecha de heno o forraje verde, se remueven grandes cantidades de P; pero muy poco es removido por los productos del animal. Wilkinson y Lowrey (1973) reportaron contenidos de P en animales y sus productos de 6.71, 6.76, 4.93, 4.53, 0.31 y 1.03 kg/1.000 kg para becerros, novillos, corderos, ovejas, lana sin lavar, y leche de vaca, respectivamente.

Katznelson (1977) reportó pérdidas en los productos del animal de 1 a 10 kg P-ha-año, dependiendo de la producción de la pastura y la carga animal.

Bromfield (1961) reportó que del 69 al 80% del P total en la planta puede ser lavado de la vegetación cuando está en estado latente o muerta. La intensidad y duración de la lluvia, y el intervalo entre la dormancia o senescencia del tejido y la primera precipitación, afectan las cantidades de P retornado al suelo o perdido por escurrimiento.

### 3. Potasio

El K es normalmente el mineral más abundante en el tejido vegetal. Se presenta en el suelo en cantidades que varían de menos de 0.05% a mayores de 2.5% (Chapman y Pratt, 1961). Este contenido está relacionado con el material parental y con el grado de meteorización.

Las formas intercambiables y disueltas de K son consideradas disponibles para la absorción por las raíces, mientras que las formas de potasio no disponibles están constituidas principalmente por los minerales del suelo que contienen potasio y las sales insolubles que se han formado de complejos con hierro y aluminio (Black, 1968).

La cantidad de K disuelta en la solución del suelo es muy pequeña en relación a la cantidad de K absorbido por la planta; por lo tanto, es necesario una transferencia continua entre las diferentes formas para suplir los requerimientos de potasio de la planta.

La transferencia entre el K no intercambiable, el K intercambiable y el K en la solución del suelo procederá hacia las formas más disponibles a medida que el K es removido de la solución del suelo por la absorción de la planta o lixiviación. Similarmente, el reciclaje o la adición de K al suelo llevará este equilibrio hacia las formas intercambiables y no intercambiables (Wilkinson y Lowrey, 1973).

a. Entradas al sistema. El K, a diferencia del N, P y S, no entra en la formación de compuestos orgánicos. Este elemento permanece activo en la planta y puede muy fácilmente quedar en libertad cuando los restos vuelven al suelo.

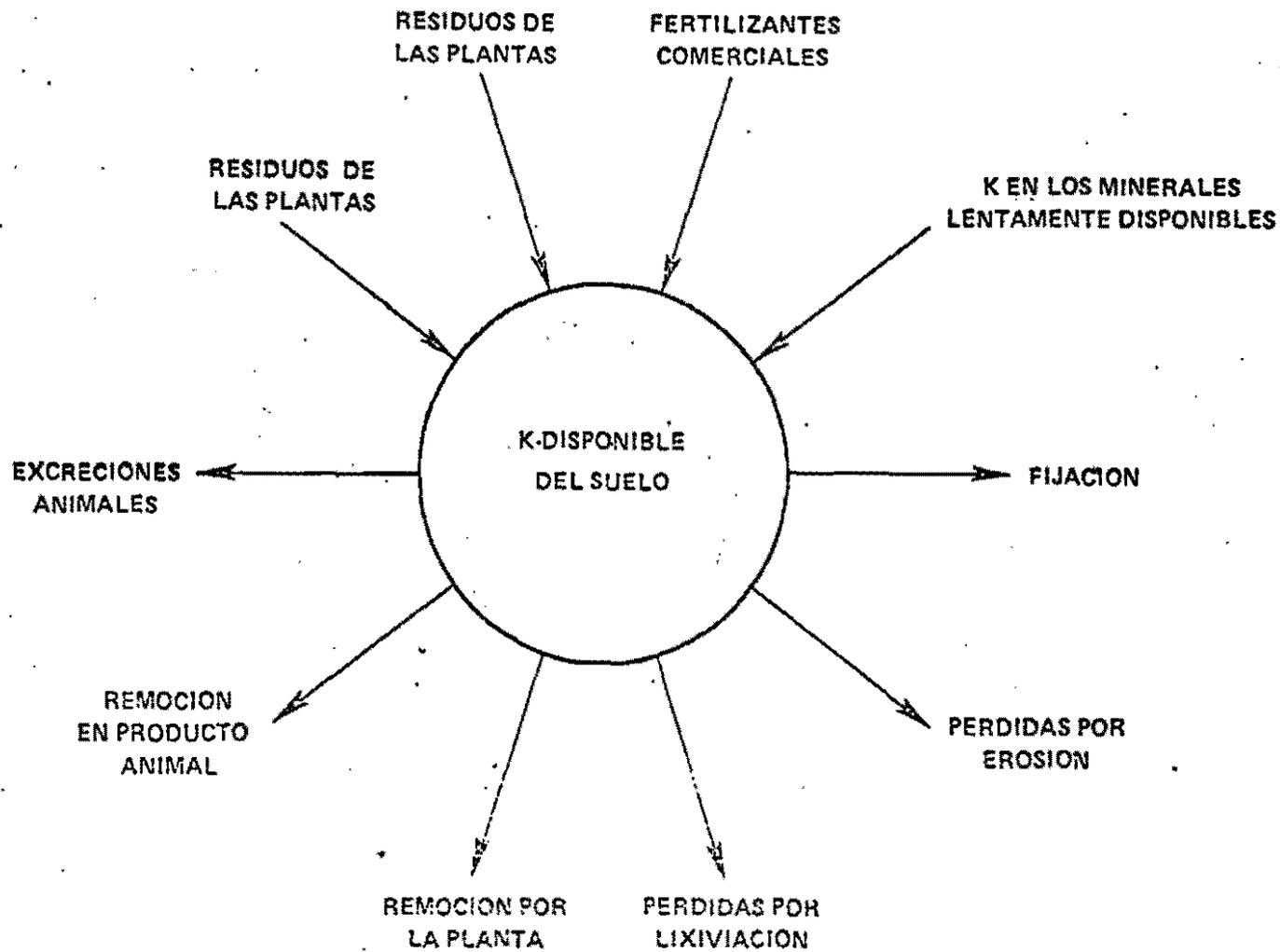


FIGURA 4. Ganancias y pérdidas del potasio disponible del suelo en un sistema suelo-planta-animal.

Salter y Schollenberger (1939) estimaron que aproximadamente el 85% del K que ingieren los rumiantes en el forraje, es retornado a la pastura. Barrow y Lambourne (1962) reportaron que el K es excretado principalmente en la orina. El contenido de K<sub>2</sub>O en la orina es de 1.15%; mientras que en las heces es de 0.22% (Doak, 1952).

Watkin (1957) evaluó el retorno de estiércol y orina a tratamientos en pequeñas parcelas y observó que la orina resultó en un aumento marcado en el contenido de K de la pastura.

Estudios realizados por Wolton (1963) establecieron la significancia del retorno de la orina en aumentar el nivel de K disponible en el suelo. El mismo investigador sugirió que el retorno de la orina puede resultar en un aumento en la disponibilidad del K debido a que la presencia del amoníaco en la orina reduce la cantidad de K fijado por los coloides de arcilla en el suelo. Este mismo mecanismo puede también favorecer las pérdidas por lixiviación.

Petersen, Woodhouse y Lucas (1956) indicaron que los animales que pastorean libremente, distribuyen fertilizantes en una forma no eficiente, el grado varía con el tamaño del área efectivamente fertilizada por cada excreción y con la tasa de pérdida de cada elemento después de la aplicación. El mayor beneficio del retorno de las excreciones de elementos como el K, parece ser bajo condiciones de alta carga y largos períodos de pastoreo.

Whitehead (1966) estimó el rango normal de K en las plantas forrajeras entre 1 a 4%, y el valor bajo es aún sustancialmente más grande que el requerimiento estimado para ganado de leche o carne.

Ritchey (1979) indicó que la tasa de descomposición de los minerales que contienen K, determina la cantidad de K disponible en el suelo. Esta tasa es controlada por varios factores, incluyendo la concentración de K en la solución del suelo y la abundancia, naturaleza y finura de los minerales potásicos presentes en el suelo.

Ingresos de K de la atmósfera fueron estimados en 1.2 kg-ha-año basado en 1208 mm de lluvia conteniendo alrededor de 0.1 ppm K. (Wilkinson y Lowrey, 1973).

b. Salidas del sistema. Vicente-Chandler et al. (1974) reportaron que la extracción anual de K por forraje de cortes fertilizados intensivamente en un Ultisol de Puerto Rico tuvo un rango de 401 a 565 kg-ha de K. Las especies utilizadas fueron Elefante, Cuínea y Fangola.

Las pérdidas de K del sistema de reciclamiento por remoción de los productos animal serían insignificantes; en cambio, si el forraje es mecánicamente cosechado y removido del ecosistema, las pérdidas de K del reciclamiento serían de consideración (Wilkinson y Lowrey, 1973).

Wilkinson y Lowrey (1973), usando un hipotético ecosistema de pastura, estimaron las pérdidas por lixiviación en 139.2 kg K-ha-año; lo cual representaba un 11.3% de la reserva de reciclamiento. Este estimado fue derivado sobre la base de un drenaje de 254 cm de agua, con una concentración de 54.8 ppm de potasio. Sin embargo, Terman y Allen (1970) encontraron que cantidades insignificantes de K fueron lixiviadas de un suelo arenoso que soportaba un crecimiento vigoroso de bermuda grass.

Brady (1974) opinó que las pérdidas anuales de K disponibles por lixiviación y erosión exceden grandemente esas de N y P. Pérdidas de K por escurrimiento superficial de un suelo bajo pastura, probablemente no exceden de 5 a 6 kg-ha-año (Kilmer, 1974).

El encalado de suelos ácidos puede reducir la pérdida de K por lixiviación. Por ejemplo, Shaw y Robinsor (1960) encontraron que la pérdida de K por lixiviación de un suelo franco en Tennessee fue reducida de 58 kg-ha en el suelo que no fue tratado (pH 4.5) a 9 kg-ha en el mismo suelo después de una aplicación fuerte de cal dolomita.

Chung Sang Sang Long (1971) reportó que el K fue perdido a una tasa de 78 y 105 g/ha/día por la deposición de orina en los períodos secos y de lluvias, respectivamente. En el mismo estudio, se indicó que el efecto de la orina decreció rápidamente con el tiempo después de la deposición. Fue sugerido que la tasa de pérdida diaria de K correspondiente a los dos períodos, estaría asociada íntimamente con la tasa de crecimiento de la planta. Además, parece que las condiciones que favorecen el crecimiento de las plantas, tienden a

incrementar la tasa de pérdidas de los elementos, especialmente en época de lluvia. La Figura 4 representa un diagrama simplificado de las ganancias y pérdidas de K en un sistema suelo-planta-animal.

#### 4. Azufre

El S es esencial para el crecimiento de todos los organismos y es requerido en aproximadamente las mismas cantidades que el P. Jones(1964) indicó que el S es un elemento que frecuentemente limita la producción de praderas. El S es absorbido por las raíces de las plantas casi exclusivamente en forma de ión sulfato ( $SO_4^{-2}$ ). La corteza terrestre contiene aproximadamente un 0.06% de S, el cual se halla presente en forma de sulfuros, sulfatos y en combinación orgánica con carbono y nitrógeno.

Aunque el S no es fijado simbióticamente por rizobias u otros microorganismos del suelo, como en el caso del N, hay similitudes muy claras entre el reciclaje de los dos. Además, así como hay una íntima relación entre el N disponible del suelo y el contenido de N de la leguminosa, hay también una íntima relación entre el S disponible del suelo y el N de la planta debido al rol esencial del S en la síntesis de proteínas (Dawson, 1974).

El reciclamiento del S en una pastura, es un sistema interactivo compuesto de varias reservas de azufre en el suelo, planta y animal.

a. Entradas al sistema. Las plantas derivan la mayoría de su S del suelo en la forma de sulfato y el reabastecimiento de esta reserva disponible es de gran importancia. La reserva disponible en el suelo es reabastecida por varias "entradas", las cuales serán consideradas a continuación.

Mucho del S total que se halla en la superficie de los suelos de las regiones húmedas está en forma orgánica. De aquí que, en la mayor parte de las praderas en pastoreo, las plantas deban derivar la mayoría de su S en la mineralización y de las aplicaciones de fertilizantes (Jones et al., 1971).

El S orgánico es convertido a sulfato inorgánico, principalmente por microorganismos del suelo; por lo tanto, cualquier variable que afecte el crecimiento de los microorganismos afectará la tasa de mineralización del S orgánico en el suelo. Entre estos factores tenemos: temperatura, humedad, pH, aeración, tipo de residuo orgánico y el efecto de las plantas.

Muchos experimentos con suelo incubado y en macetas han sido realizados para determinar la tasa de mineralización de S (Barrow, 1960; Stewart et al., 1966). Sin embargo, la interpretación de tales estudios, en términos de pasturas, es frecuentemente difícil porque en la mayoría de los casos, solamente una mineralización neta o producción de sulfato es medida, y esto en la ausencia de procesos competitivos tales como la absorción por la planta y el pastoreo (Till, 1975).

Otra fuente de S del suelo es la atmósfera. El sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) es introducido a la atmósfera, tanto desde el mar como de la tierra; pero éste es rápidamente convertido a  $SO_2$ ,  $SO_3$  y  $SO_4^{=}$  por procesos que ocurren en la atmósfera. Instalaciones industriales, en los que el carbón y otros productos que contienen S son quemados, también introducen grandes cantidades de S a la atmósfera cada año, y gran parte de este gas es devuelto más tarde a la tierra en la precipitación (Tisdale y Nelson, 1970).

La cantidad de S que es aportada en la precipitación puede variar desde 1.0 kg-ha-año en áreas alejadas de sitios industriales, hasta más de 50 kg-ha-año en áreas próximas a centros industriales. McKell y Williams (1960) reportaron que 23.5 kg S-ha fue añadido en la lluvia de 1957-1958 en un rancho de San Joaquín, California. Sin embargo, Williams et al. (1964) reportaron, para el mismo lugar, valores de 3.6, 4.6 y 1.6 para los años 1958-1959, 1959-1960 y 1960-1961, respectivamente. Estos valores fueron similares a los encontrados por Jones y Woodmansee (1979) en Hopland, California, donde para un período de 17 años, 1958-1975, la media fue de 3 kg S-ha-año.

La absorción foliar, ya sea a través de los estomas y/o por disolución de  $SO_2$ , dentro de pequeñas películas de agua sobre las hojas puede ser un significativo punto de entrada al sistema del reciclamiento cerca de áreas altamente industrializadas (Wilkinson y Lowrey, 1973).

La cantidad total de S que puede ser liberada por el proceso de meteorización de los minerales del suelo que contienen S, es tan pequeña que no sería un aporte significativo en un ecosistema de pastura (Till, 1975).

El animal, por medio del estiércol y la orina, retorna S al suelo al igual que otros nutrimentos. La mayor cantidad de S es retornada a la pastura a través de la orina. Walker (1957) reportó que del 70 a 85% del S ingerido por el animal es retornado a la orina y que aproximadamente 90% de este S es en forma de sulfatos, siendo así fácilmente disponible para las plantas. Barrow y Lambourne (1962) indicaron que la cantidad de S en las heces es relativamente constante, pero que la cantidad de S en la orina depende del contenido de S en la pastura. Los mismos investigadores indicaron que la proporción total del S total excretado en la orina varía de 6 a 90%, con un rango para una pastura no deficiente, siendo de 50 a 60%.

Bornemissza y Williams (1970) demostraron la importancia del contacto de las heces con el suelo y de la mezcla de ambas partes para una mayor disponibilidad de S. Ellos también reportaron que escarabajos, lombrices y otros organismos del suelo aumentan la disponibilidad del azufre en las heces.

b. Salidas del sistema. Pérdidas de S por volatización en una pastura, representa una porción extremadamente pequeña del S total en el sistema de reciclamiento (Jones et al., 1971). Wilkinson y Lowrey (1973) indicaron que la volatización de S en forma de  $H_2S$  podría ser de consideración solo en suelos bajo condiciones de reducción.

Datos sobre las pérdidas de S, debido al escurrimiento superficial o erosión, no son fácilmente disponibles; pero excepto en el caso de una muy alta carga animal las pérdidas por erosión son probablemente pequeñas. Kilmer (1974) estimó que las pérdidas por erosión serán menores de 5 kg-ha-año en suelos bajo pastura. Till (1975) estimó que la pérdida de S de una pastura sería de 0.1 kg-ha-año; cantidad insignificante.

A causa de su naturaleza aniónica y de la alta solubilidad de la mayor parte de sus sales comunes, las pérdidas de S por lixiviación de los sulfatos puede ser de consideración. Existe mucha evidencia, tanto directa como

indirecta, de que el S se pierde por lixiviación a través del suelo (Williams et al., 1964; Jones et al., 1968). En estudios con lisímetros, de 10 a 90% del S 35 aplicado fue lixiviado en períodos de hasta 4 años, dependiendo del desarrollo de la planta y si el S fue aplicado en forma elemental o en forma de yeso (McKell y Williams, 1960; Williams et al., 1964). Utilizando un ecosistema hipotético de pastura, Wilkinson y Lowrey (1973) estimaron pérdidas de S por lixiviación de 40 kg-ha-año.

La cantidad de S que se pierda por lixiviación dependerá del tipo de suelo, la temperatura, la cantidad y distribución de las lluvias, formas químicas del S en el suelo, tasa de fertilización y la vegetación creciendo sobre el suelo. Todos estos factores y las interacciones entre ellos, son probablemente los responsables de los resultados muy variables que con respecto a los estudios de movimiento del S a través del suelo aparecen en la literatura.

Las pérdidas de S del sistema de reciclamiento por remoción de los productos animal son insignificantes. Wilkinson y Lowrey (1973) estimaron pérdidas de S por remoción de los productos animal de 0,3 kg-ha-año. En cambio, si el forraje es cosechado mecánicamente y removido del sistema, las pérdidas de S son de mayor consideración.

Till (1975) sugirió que para un sistema de pastoreo estable, las pérdidas de S debido a los productos animal, volatilización, erosión y absorción por el suelo, serán tan pequeñas que se podrían estimar o ignorar.

### III. ESTRATEGIAS PARA LOGRAR UN RECICLAJE MAS EFICIENTE DE NUTRIMENTOS EN PASTURAS TROPICALES

Especies forrajeras tropicales ofrecen muchas ventajas potenciales en cuanto a la eficiencia del reciclamiento de nutrimentos. La realización de este potencial depende en gran parte de la selección de especies adecuadas al medio, su combinación en asociaciones potencialmente productivas, estables y persistentes, el uso estratégico de fertilizantes y un manejo inteligente de las praderas.

## A. SELECCION DE ESPECIES

### 1. Tolerancia a la acidez.

Uno de los factores mas importantes en la adaptación de especies al medio trópico húmedo es su tolerancia al Al (la "acidez" de los suelos fuertemente ácidos, con pH por debajo de 5.0). No todos los suelos son tan ácidos, pero la mayoría de los que se dedican a pastos si lo son. En muchos casos, la cal resulta muy costosa por la lejanía de fuentes y/o la falta de vías adecuadas de comunicación. De todas maneras, el encalado es efectivo sólo hasta la profundidad de la labranza, y por lo general, el subsuelo sigue siendo muy ácido. Por lo tanto, si las especies no son tolerantes, no serán capaces de aprovechar la humedad del subsuelo durante períodos de sequía, y no aprovechando la humedad, tampoco podrán absorber nutrimentos que alcanzan a lixiviarse a través del perfil. Otro aspecto de la tolerancia a la acidez es que aparentemente, no tiene correlación con el potencial de rendimiento de la especie como suele ser la tolerancia de plantas a bajos niveles de elementos esenciales como el fósforo. La planta tiende a compensar la escasez del elemento por un crecimiento más lento y por tanto, una menor demanda.

El escoger germoplasma tolerante a la acidez no es difícil (Spain, 1979). Existen miles de introducciones de leguminosas y gramíneas en los bancos de germoplasma de especies forrajeras de CENARGEM y CIAT en Brasil y Colombia, respectivamente. Son plantas recolectadas en su mayoría de regiones tropicales húmedas, caracterizadas por suelos pobres y ácidos. Las plantas han evolucionado durante milenios en un medio en el cual el persistir requería adaptarse al medio ácido. La resistencia a la acidez no quiere decir que las plantas son inmunes a las deficiencias de Ca y Mg que, casi siempre acompañan el suelo ácido. Pero son requeridos como nutrimentos y no como enmiendas; por lo tanto, las aplicaciones requeridas se miden en kilos y no en toneladas.

La no necesidad de encalar tiene otra ventaja: Niveles marginales de micronutrimentos que se encuentran comúnmente en suelos del trópico húmedo se vuelvan muy limitantes al encalar el suelo. El elemento mas notorio en relación a este efecto es el Zn. Investigadores trabajando en Carimagua con especies forrajeras tolerantes al Al (acidez), no han podido producir,

deficiencias a micronutrientes aún en parcelas pequeñas bajo corte, siendo removida toda la cosecha durante más de cuatro años (CIAT, 1982). En cambio, algunos cultivos anuales sembrados en el mismo suelo y que requieren cal, se muestran muy deficientes al Zn en el primer año.

## 2. Tolerancia a la baja fertilidad del suelo.

La adaptación de plantas a suelos pobres es una de las características más importantes que influyen en la eficiencia del reciclamiento de nutrientes en tal medio. Las plantas tienen diferentes mecanismos de adaptación a este limitante que casi siempre incluyen la capacidad de persistir en un medio muy pobre, compensando la baja disponibilidad de nutrientes por un crecimiento muy lento. Algunas plantas crecen lentamente toda su vida y, por lo tanto, producen poca biomasa. Las plantas forrajeras más interesantes son las que tienen la capacidad de crecer lentamente durante una etapa de acumulación de nutrientes en la biomasa pero una vez acumulados los minerales suficientes, entran en otra etapa de crecimiento mucho más rápido y por tanto, tienen un potencial productivo bueno. Además de su alta producción de biomasa, muchas especies tienen un requerimiento de mantenimiento bajo debido a su eficiente reciclaje de la fertilidad en la propia biomasa y la recuperación de lo poco que escapa al suelo por su sistema radicular eficiente y las simbiosis que existen entre la planta y ciertos microorganismos, especialmente la micorrhiza. La producción es uno de los componentes claves de la eficiencia, junto con la conservación de los minerales en el sistema. Una planta o un complejo de vegetación puede ser muy eficiente en la conservación pero si produce poca o nada no sería considerado eficiente.

## 3. Tolerancia a factores bióticos.

En la práctica, ha sido mucho más difícil encontrar germoplasma tolerante a enfermedades e insectos que los factores edáficos y climáticos. El problema de enfermedades es especialmente grave en el ecosistema de sabanas. Es obvia la importancia de la tolerancia a factores bióticos porque la planta tiene que crecer vigorosamente (cuando haya humedad suficiente) para cumplir su función en el sistema de reciclamiento y conservación de recursos. Una planta enferma o fuertemente agobiada por un ataque de insectos no será muy eficiente. El uso

de productos químicos para el control de plagas y enfermedades es generalmente antieconómico en praderas tropicales, salvo en casos excepcionales. Por lo tanto, la selección de ecotipos resistentes o tolerantes a las enfermedades y plagas que se presentan pareciera el camino más viable a seguir. En el Cuadro 1, se presenta una lista de especies forrajeras promisorias y su adaptación o no a tres ecosistemas.

#### 4. Combinación de especies.

Además de seleccionar especies adaptadas al medio y tolerantes a factores adversos, es necesario combinarlas en asociaciones donde las especies no sólo sean compatibles sino que también alcancen una especie de simbiosis entre sí. La simbiosis leguminosa-rhizobia es muy conocida, pero también puede existir entre leguminosa y gramíneas. La leguminosa suministra en N a la gramínea, generalmente se encarga de mantener el suelo cubierto entre las matas de gramínea, factor muy importante en el medio caluroso y lluvioso. La gramínea crece vigorosamente en presencia de N adecuado, reduciendo el peligro de una invasión de malezas, y no se vuelve dominante. La gramínea también sirve de soporte para las leguminosas volubles. El sistema radicular de la gramínea generalmente es más extenso que el de la leguminosa. Andropogon gayanus y Panicum maximum fueron muy eficientes en acumular Ca y Mg en la capa superior de un Oxisol en Carimagua durante cuatro años de pastoreo (CIAT, 1982). Se supone que las raíces profundas absorben el agua en el subsuelo durante la sequía y por flujo masal también absorben las bases bivalentes que se mueven en el perfil por lixiviación. La mayor concentración de bases que resulta en el suelo superficial pareciera favorable durante la época lluviosa, pero el empobrecimiento del subsuelo podría ser factor negativo en la época seca. Stylosanthes capitata también es capaz de extraer agua hasta más de 1.80 m de profundidad en el mismo Oxisol (CIAT, 1979).

La gramínea provee la mayoría del forraje durante la época de lluvias cuando su calidad es adecuada. La leguminosa juega un papel especial durante la época seca cuando la calidad de la gramínea se deteriora y es necesario la suplementación con un forraje de mayor contenido protéico.

## B. EL MANEJO DE LA FERTILIDAD

### 1. Fertilidad relativa.

La fertilidad del suelo es relativa, dependiendo de la planta que se cultive (Spain, 1981). Un suelo totalmente marginal para la producción de maíz o soya puede ser excelente para especies forrajeras perennes con alto potencial. En la Figura 5 se compara la fertilidad de dos suelos en términos de su aptitud para la siembra de dos cultivos contrastantes.

### 2. Niveles críticos.

La Figura 6 muestra la probable relación entre niveles críticos de P y la acumulación de este elemento en la fitomasa de acuerdo a la fase de desarrollo de la planta. La plántula recién germinada tiene un requerimiento relativamente alto en términos de concentración de nutrimentos en la solución del suelo, debido al sistema radicular pequeño y la demora en el desarrollo de las simbiosis con la micorriza y otros microorganismos. A medida que la plántula se desarrolla, su requerimiento va bajando por el desarrollo del sistema radicular y la formación de las simbiosis efectivas.

Posteriormente, en la fase de "gran crecimiento" las especies más vigorosas en esta etapa tienen requerimientos más altos de nutrimentos mientras se acumula la biomasa. Cuando la fertilidad está por debajo del óptimo, esa fase se alarga mucho y la planta demora mucho más en acumular los nutrimentos necesarios para que funcione bien. En la fase de producción bajo pastoreo, los requerimientos en términos de concentraciones en la solución del suelo son mucho más bajos que inicialmente, porque la planta ya tiene acumulado en la fitomasa los nutrimentos requeridos, están funcionando las simbiosis, y el reciclaje de nutrimentos bajo un buen manejo es eficiente.

Cuando las concentraciones de nutrimentos en la solución del suelo son óptimas para el máximo crecimiento de plantas, existe un potencial de lixiviación. Este potencial sería proporcional a la concentración en la solución de cada elemento. Las concentraciones requeridas por las especies forrajeras adaptadas son bajas, asegurando que las pérdidas de nutrimentos por lixiviación sean mínimas. Esas bajas concentraciones requeridas se deben al reciclaje eficiente comentado arriba. Además, el requerimiento de la planta en términos de tasa de flujo en un momento dado es muy bajo, comparado con

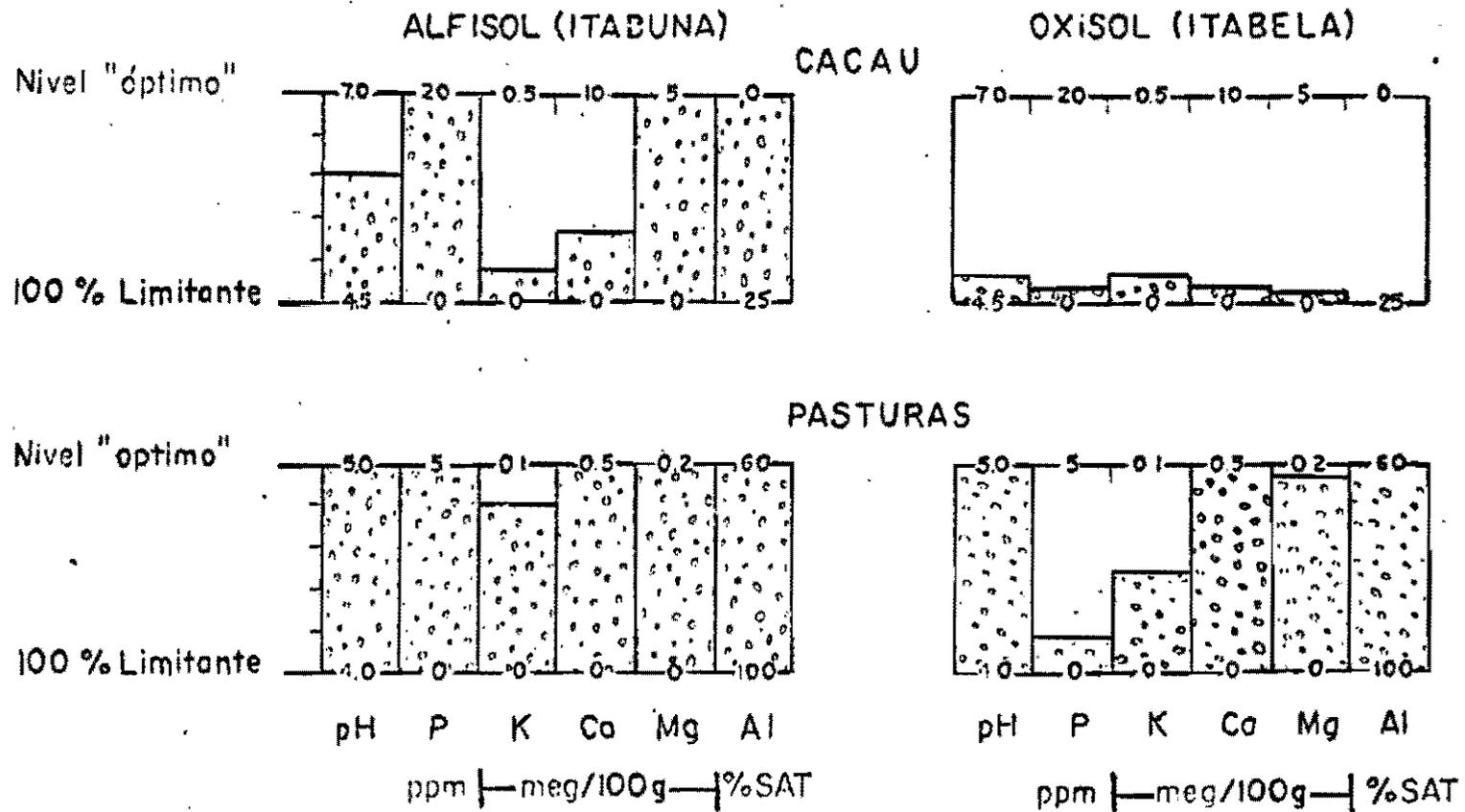


FIGURA 5. La fertilidad relativa de dos suelos, considerando dos cultivos contrastantes: el cacao y pasturas tropicales.

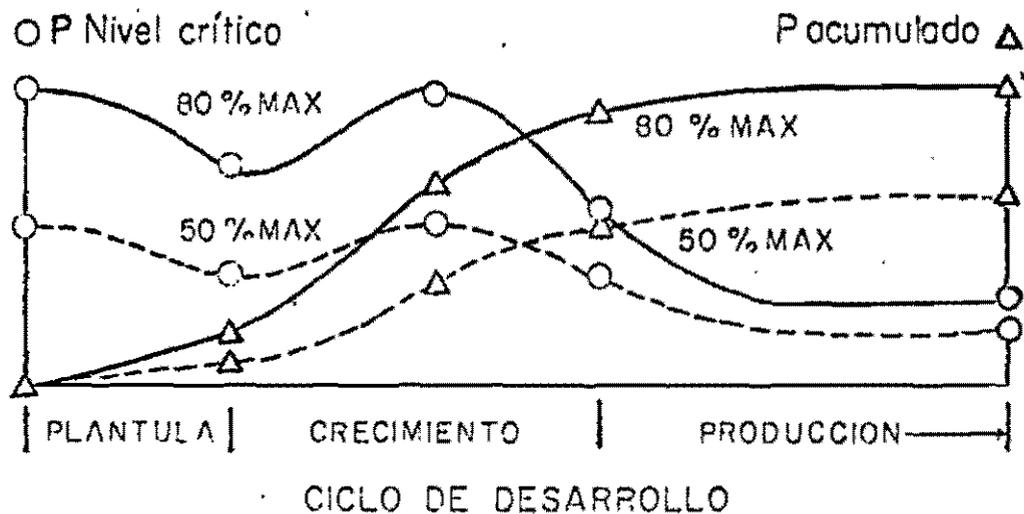


FIGURA 6. Cambios en los niveles críticos y el P acumulado en una especie forrajera de acuerdo a la fase en el ciclo de desarrollo (casos hipotéticos).

cultivos anuales. El pasto está siendo consumido durante todo el año y el rastrojo más el excremento del animal son retornados al suelo continuamente. Por lo tanto, una vez acumulados los nutrimentos suficientes en la biomasa de la planta y en la materia orgánica y rastrojo fresco, el papel de la solución del suelo se reduce al mínimo, como se muestra en la Figura 6 en forma esquemática.

### 3. Requerimientos de mantenimiento.

Parece ser una situación paradójica, pero las pérdidas de nutrimentos de las pasturas alcanzan su rango mínimo cuando la productividad esta llegando a su máximo. Tiene varios aspectos interesantes: (a) Mientras se mantiene productivo el pasto, se mantiene una cobertura completa con todas las ventajas: alta tasa de infiltración, protección contra erosión, poca escorrentía. (b) Las plantas vigorosas tienen sistemas radiculares eficientes, capaces de mantener en forma efectiva las simbiosis, fijando nitrógeno suficiente, absorbiendo eficientemente el fósforo y otros nutrimentos, con una pérdida mínima por lixiviación, aún de los nutrimentos mas móviles (potasio, nitratos). (c) Las pérdidas del sistema llegan a un mínimo cuando los nutrimentos extraídos en el producto constituyen el principal componente de pérdida y las pérdidas por lixiviación, escorrentía y erosión llegan a un mínimo. (d) A niveles máximos de producción se requieren concentraciones mas altas en la solución del suelo y, por lo tanto, es probable que las pérdidas por lixiviación se aumenten algo, especialmente de los nutrimentos mas móviles, a medida que se acerca al 100%. La Figura 7 muestra esas relación en forma hipotética.

### 4. Fuentes de nutrimentos menos solubles y menos costosas

Las características edáficas del medio son muy favorables para el uso de fuentes poco solubles y menos costosas de nutrimentos, fuentes que son ideales para suministrar las necesidades de la planta a través de muchos años. La acidez fuerte, junto con las concentraciones muy bajas en la solución del suelo de los diferentes nutrimentos, conducen a una solubilidad adecuada de materiales como la roca fosfórica y los feldespatos de potasio de poca utilidad en suelos de menos acidez. Por otro lado, las especies forrajeras

Mantenimiento  
o pérdida de  
nutrimentos

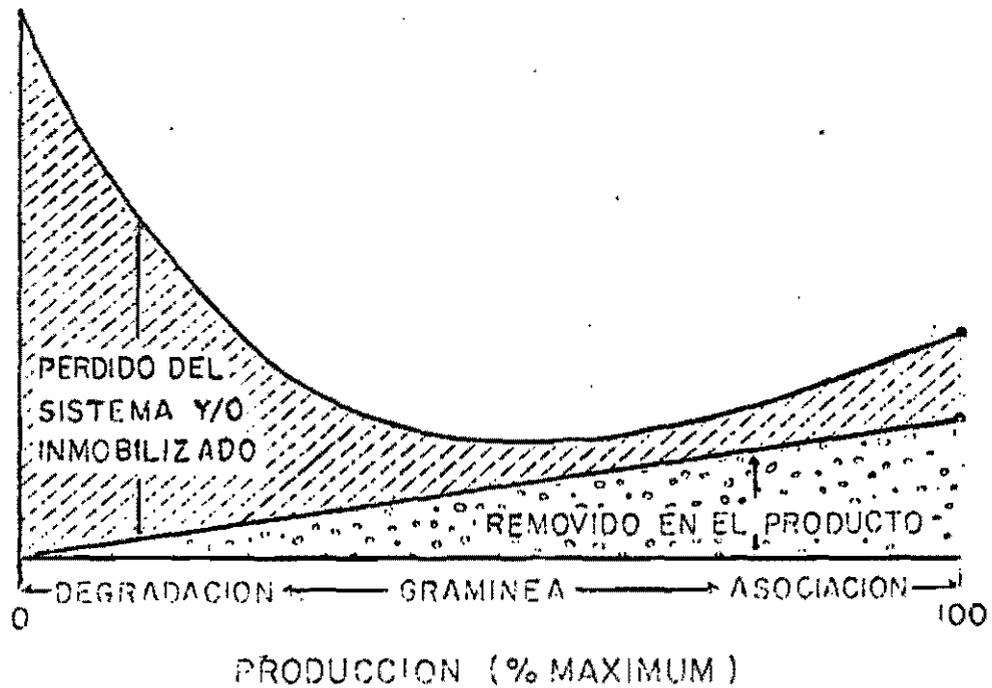


FIGURA 7. Los requerimientos relativos hipotéticos de nutrimentos para el mantenimiento de pasturas en diferentes niveles de productividad.

adaptadas tienen una tasa de demanda mas baja y tienen mas tiempo para acumular los nutrimentos requeridos que las plantas anuales.

El efecto de la asociación MVA en la absorción de P de diferentes fuentes en el crecimiento inicial de la planta y en la nodulación (en el caso de leguminosas) de varias especies forrajeras en un Oxisol no esterilizado, ha sido recientemente presentado por Saif (1983). La fuente mas efectiva de P fue una roca fosfórica y su efectividad se aumento en mas del 50% en términos de producción de materia seca en el campo, cuando se inoculó con micorriza.

#### 5. La importancia de micorriza en el reciclaje.

El papel de asociaciones de raíz-micorriza vesículo-arbuscular (MVA) ha sido ampliamente documentado. Mosse (1981) ha revisado la literatura con énfasis especial en suelos tropicales. La Figura 8 muestra esquemáticamente como el micelio del hongo del MVA penetra el suelo desde la raíz y mediante una red de hifa y efímera, absorbe nutrimentos y los transporta a la raíz. Este aumento en la superficie efectiva de absorción de la raíz es especialmente importante para los elementos menos móviles (P, Zn, Cu) que son absorbidos en muy baja proporción por el flujo masal, y en suelos tropicales donde la disponibilidad de tales elementos es casi siempre limitante.

La mayoría de las plantas tropicales son micorrizales en la naturaleza; parece ser una simbiosis fundamental para que las plantas sobrevivan y persistan en el medio. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible manipular o manejar la MVA en forma práctica, principalmente porque no se ha podido producir el inóculo del hongo en ausencia del huésped en un medio artificial. Pero por ser tan ubicua la asociación MVA en especies forrajeras tropicales, y esencial en muchos casos, parece lógico seguir estudiándola para entender mejor el efecto de diferentes aspectos del manejo del sistema suelo-planta-animal en su eficacia.

#### C. EL MANEJO DE LA PRADERA

El manejo es el ingrediente mas importante en todo el sistema y el que

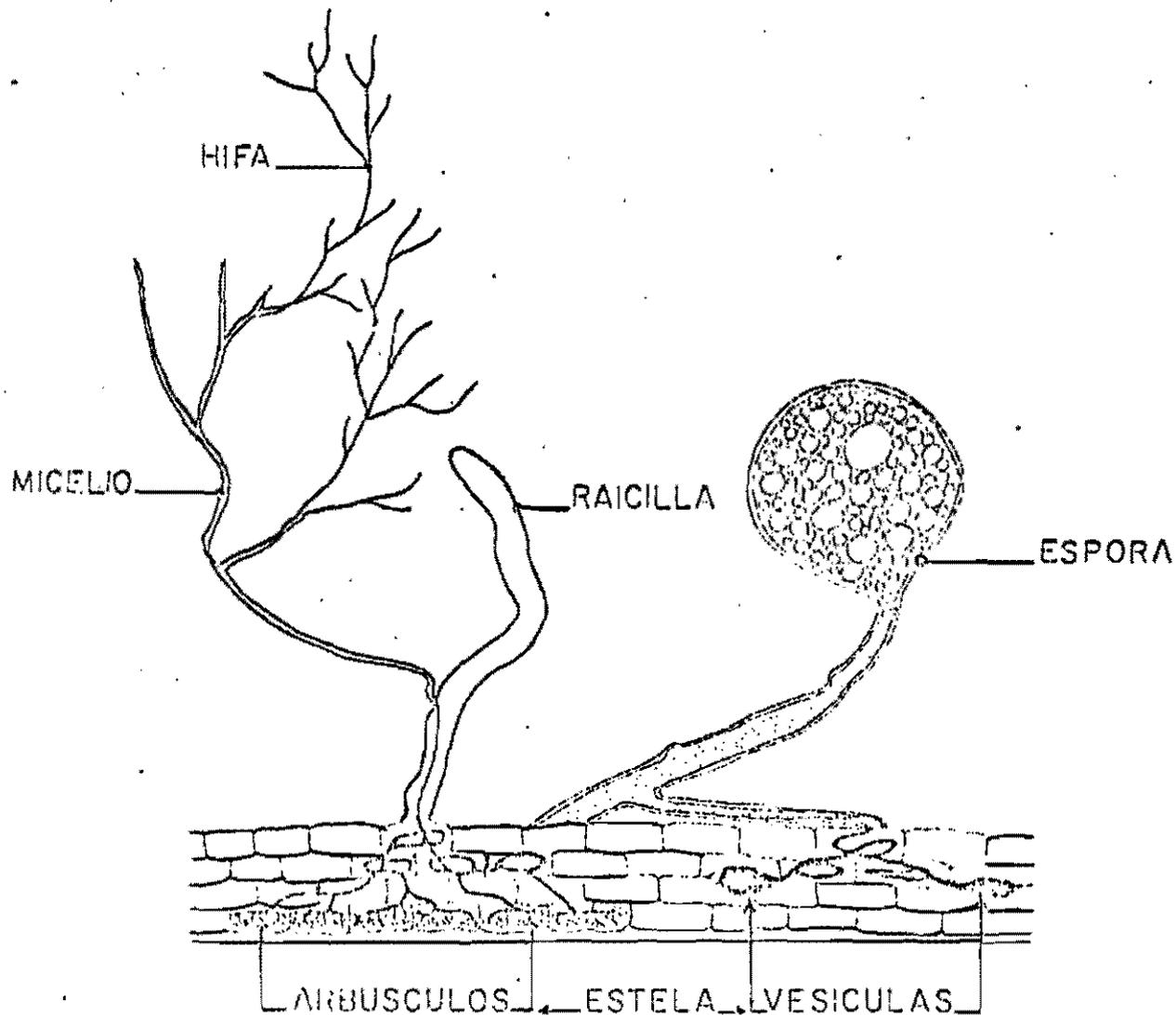


FIGURA 8. Una representación esquemática de la asociación raíz, raicillas y micorriza vesículo-arbuscular. Las dimensiones de la raicilla, el micelio y la hifa son relativas y en la misma escala.

más determina el éxito o no del pasto en términos de eficiencia de reciclamiento. Desafortunadamente, es el área tal vez más débil en cuanto al conocimiento actual, y por lo tanto, donde más frecuentemente se falla. Se han empezado estudios sobre la interacción entre carga y sistema de pastoreo y de estos dos factores con las especies en asociación. Observaciones preliminares indican que son herramientas muy poderosas para la conservación del balance entre leguminosa y gramínea y en asegurar una persistencia de la pradera durante largo tiempo.

### 1. Cobertura.

Además de la importancia de la cobertura en el control de la escorrentía y la erosión, juega otro papel vital en el pasto; el de amortiguadora de la temperatura, la humedad (tanto del suelo como del atmósfera) y la luz, manteniendo un ambiente favorable para una actividad biótica intensiva en la superficie del suelo, siendo las demás condiciones favorables. La cobertura es de importancia especial durante la época de lluvias cuando la humedad es suficiente para un crecimiento vigoroso de las raíces superficiales. No es tan importante hacia finales de la época seca cuando el factor agua es el más limitante y hay poca o ninguna actividad de raíces en la superficie. La cobertura se determina principalmente mediante la carga animal. Es afectada por el sistema de pastoreo pero en una manera menos directa. La máxima productividad de una pastura durante la época de lluvias se lograría, manteniendo una cobertura constante sobre el suelo. Existe la tentación de aprovechar más el pasto, forzándolo y dejando el suelo parcialmente expuesto, pero el efecto a largo plazo de esa presión, sería una menor eficiencia en el reciclaje, requerimientos más altos de mantenimiento en pastos menos estables y una producción menor.

### 2. Balance.

El balance entre leguminosa y gramínea es muy importante en la nutrición animal; también juega un rol fundamental en el reciclaje eficiente de nutrimentos mediante su efecto en el suministro de N en el sistema. El N controla fuertemente el vigor de la gramínea en el sistema, así influye en el

desarrollo del sistema radicular de la planta y su habilidad de absorber los demás nutrimentos de un gran volumen de suelo. El contenido de N en el suelo esta muy ligado a la proporción de leguminosa en la pradera y a la productividad de la misma. La relación C/N en la materia orgánica afecta directamente la tasa de mineralización de ella.

El sistema de pastoreo pareciera ejercer un efecto muy fuerte en el balance entre especies. Es una interacción no muy bien comprobada; hay varios trabajos de campo en progreso para lograr un mejor entendimiento de ella. La carga también afecta el balance, mas en algunas asociaciones que en otras. Sea como sea, el lograr mantener el balance es fundamental para la productividad, estabilidad y eficiencia de las pasturas.

### 3. El manejo de los residuos.

Durante la época de lluvias, el reciclaje de nutrimentos en una pastura bien manejada se concentra mucho en el colchón de rastrojo y raíces sobre y en la superficie del suelo. Es el sitio donde las condiciones de humedad, temperatura, aereación, y concentraciones de nutrimentos son mas favorables. Para que se mantenga este ambiente, tiene que haber una cobertura y un retorno constante de residuos, tanto animal como vegetal. Estos sufren una descomposición rápida, favoreciendo una actividad intensa de la macro- y micro- flora y fauna. Lombrices, cucarrones, termitas, hormigas y otra fauna se encargan de mezclar el detritus y el suelo mineral y en el proceso, realizan una "labranza" muy efectiva de los primeros 5 a 10 centímetros del perfil. Así el suelo se mantiene poroso y receptivo para la infiltración de agua, aun cuando el pasto esta bajo pastoreo, logrando niveles altos de producción. En suelos de baja fertilidad, baja capacidad de intercambio catiónico y alta capacidad de fijación de fósforo, esta concentración del proceso de reciclaje en la superficie podría ser esencial para una conservación de los recursos minerales del suelo. No sería muy distinta de la situación encontrada en el bosque húmedo en que el reciclaje también esta concentrado en la hojarasca y en los primeros centímetros del suelo.

En resumen, los objetivos del manejo de una pastura son de asegurar una cobertura constante sobre el suelo, mantener el balance entre leguminosa y

gramínea y proveer un retorno constante de residuos al suelo, creando condiciones ambientales y nutricionales óptimas para el bien del mundo macro- y microbiano, esencial para el buen funcionamiento del sistema.

#### IV. UN MODELO DEL RECICLAMIENTO DE NUTRIMENTOS EN PASTURAS DEL TROPICO HUMEDO

El modelo propuesto en la Figura 9 es parecido a otros modelos encontrados en la revisión de la literatura. Sin embargo, tiene algunas diferencias que son de mucha importancia.

##### A. LA IMPORTANCIA DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA

Una de las vías más importantes de reciclaje de nutrimentos es la caída de hojas y tallos verdes, igual que el detritus de la planta. A veces, se piensa que es un desperdicio de forraje causado por el pisoteo del animal y que a través del manejo, se espera reducirlo al mínimo. La hipótesis presentada es de que ese "desperdicio" y los residuos de origen animal son vitales para el buen funcionamiento del sistema, siendo el alimento de la población macro y microbiana que se encuentra en la interfase entre suelo y parte externa.

##### B. LA CONCENTRACION DEL RECICLAMIENTO EN LA ZONA DE LOS RESIDUOS

En una pastura bien manejada, parece que gran parte del reciclaje fuera concentrado sobre y en la superficie del suelo (zona de residuos), al igual que ha sido reportado para el sistema bosque húmedo tropical. Así que el proceso funciona casi independientemente del suelo mineral, con ventajas importantes. La fijación de P por los coloides sería mínima, una vez entre el mineral en la biomasa. Las pérdidas por lixiviación se minimizan aun a niveles de producción cerca al máximo potencial de la planta, porque las concentraciones de nutrimentos en la solución del suelo se mantienen bajas sin perjudicar la planta, siendo que ella esta derivando la gran mayoría de sus nutrimentos del detritus de su propia biomasa en un reciclaje casi totalmente cerrado. En un medio lluvioso, con suelos altamente porosos, el potencial de lixiviación es alto y la única forma de contrarrestarla es mediante sistemas

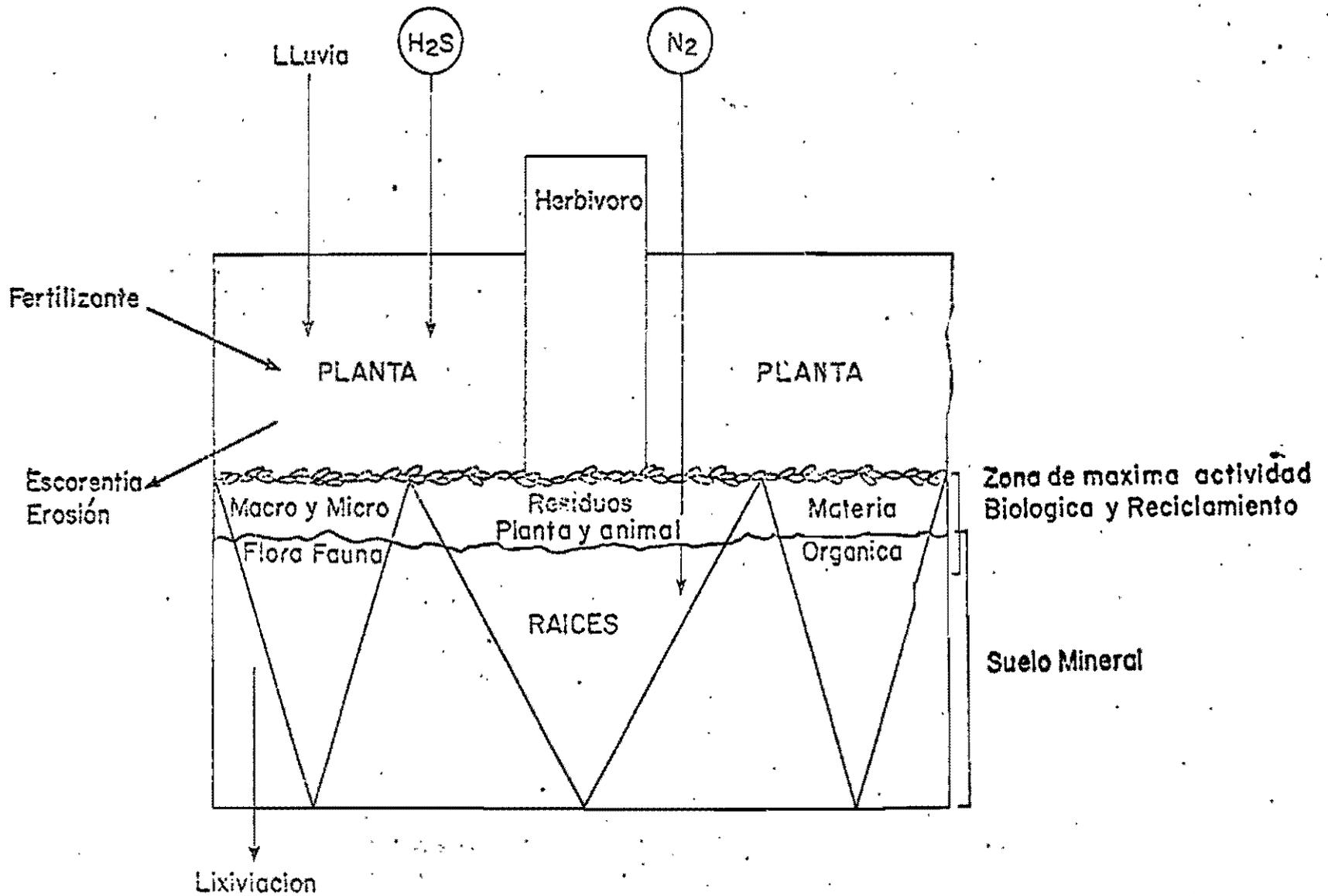


FIGURA 9. Modelo del reciclamiento de nutrimentos en pasturas tropicales.

de producción que no requieran de altas concentraciones de nutrimentos en la solución del suelo.

## V. CONCLUSIONES

La información recolectada lleva a la conclusión de que es muy poco lo conocido sobre la fertilización de mantenimiento en pasturas tropicales y, por ende, casi desconocido lo relacionado con el reciclaje de nutrimentos en el sistema suelo-planta-animal.

La transferencia cíclica de nutrimentos en pasturas tropicales se identifica como un proceso complejo debido a su naturaleza dinámica y químicobiológica. De ahí que surjan una serie de modelos conceptuales para cada nutrimento y que son representados en diferentes compartimientos y transferencias en función de parámetros tales como cantidad, velocidad y tiempo de transferencia y limitaciones en la transferencia del nutrimento en consideración. Sin embargo, la mayoría de los modelos de reciclamiento de los nutrimentos coinciden en que el patrón del reciclaje se basa en el grado de solubilidad del nutrimento, pérdida por volatilización y grado de reactividad química.

En el reciclamiento de nutrimentos en pastos tropicales se considera, en primer término, la fuente de ingreso de nutrimentos que están constituidos por la atmósfera, el material parental del suelo, el retorno de los nutrimentos en los residuos vegetal y animal, así como también en las heces y orina y, finalmente, la adición de nutrimentos como fertilizantes y suplementación mineral. En segundo lugar, las pérdidas del sistema a través de procesos tales como volatilización, lixiviación, fijación y remoción por la planta y animal, respectivamente. El grado de pérdida de nutrimentos estará en función de las condiciones ambientales existentes y de la naturaleza misma del nutrimento.

Pasturas tropicales, basadas en leguminosas y gramíneas adaptadas al medio, tienen el potencial de ser extremadamente eficientes en el uso y conservación de los recursos, incluyendo la fertilidad nativa y nutrimentos adicionados al sistema. Se presentan una serie de ventajas, especialmente

cuando se comparan con cultivos anuales y con algunos perennes. El pasto bien manejado protege el suelo contra la erosión y la presencia de una cobertura constante y de una capa de hojarasca sobre la superficie aseguran una alta tasa de infiltración y, por lo tanto, poca escorrentía.

Los productos de los pastos, sea la carne o la leche, resultan en muy poca extracción de minerales de la pastura porque están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno que son extraídos del agua o del aire. El nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre y magnesio extraídos en el cuerpo del rumiante se muestran en la Figura 10. Excluyendo el N, la cantidad extraída en 400 kilos de peso vivo, que es una buena producción por hectarea/año, toda sumada, no alcanza a los 10 kilos.

La leguminosa en la asociación mediante la simbiosis rhizobial, fija nitrógeno suficiente para sus necesidades en la producción de un forraje de alta calidad. Además, sobra N que da lugar a un crecimiento vigoroso de la gramínea que la acompaña.

Gramíneas tropicales perennes del tipo C-4 son plantas que convierten más eficientemente la energía solar.

Por la cobertura, la presencia de rastrojo, un balance favorable de carbono y nitrógeno y un sistema radicular eficiente de las plantas forrajeras, existe el potencial de un reciclaje muy eficiente de nutrimentos que resulta de los residuos de origen vegetal y animal. Este proceso se concentra en los horizontes Ao y A1, que es un ambiente de intensa actividad biológica.

En este ambiente, las raíces de las plantas, directamente y mediante la simbiosis con la micorriza, son muy eficientes en la absorción de los nutrimentos en general y del fósforo en especial, dándole poca oportunidad para que este se fije en forma inorgánica en el suelo. Es probable que la gran mayoría del reciclaje de fósforo tome lugar independientemente del suelo inorgánico, siendo concentrado en los residuos vegetal y animal en vías de descomposición sobre y en la superficie del suelo.

\*Basado en una producción de 400 kg P.V./ha/año

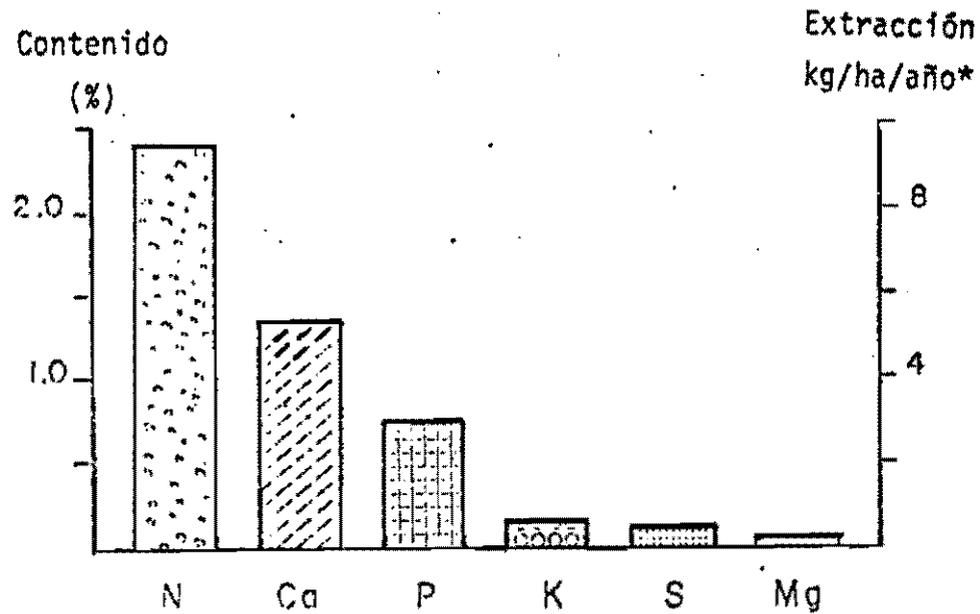


FIGURA 10. El contenido de algunos elementos en el cuerpo del ganado vacuno vivo y la extracción de los mismos en el producto.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Agricultural Research Council. 1965. The nutrient requirements of farm livestock. Technical Reviews and Summaries. Agric. Res. Council, London.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil and Microbiology. John Wiley & Sons, Inc., N.Y., pp. 333-349.
- Allison, F.E. 1965. Evaluation of incoming and outgoing processes that affect soil nitrogen. In: W.V. Bartholomew and F.E. Clark (eds.), Soil Nitrogen. Am. Soc. Agr. pp. 573-606.
- Anderson, G. 1967. Nucleic acids, derivatives, and organic phosphates. In: A.D. McLaren and G.A. Petersen (Eds.), Soil Biochemistry, Marcel Dekker, N.Y., pp. 78-85.
- Barrow, N.J. 1960. A comparison of the mineralization of nitrogen and of sulphur from decomposing organic materials. Aust. J. Agric. Res. 11: 960-969.
- Barrow, N.J. y L.J. Lambourne. 1962. Partition of excreted nitrogen, sulphur, and phosphorus between the feces and urine of sheep being fed pasture. Aust. J. Agric. Res. 13: 461-471.
- Becking, J.H. 1961. Studies on nitrogen fixing bacteria of the genus *Beijerin-Ckis*. I. Geographical and ecological distribution in soils. Plant and Soil, 14: 49-81.
- Benacchio, S.S., M.F. Baumgardner y G.O. Mott. 1970. Residual effect of grain-pasture feeding system on the fertility of the soil under a pasture sward. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 621-624.
- Benacchio, S.S., G.O. Mott, D.A. Huber y M.F. Baumgardner. 1969. Residual effect of feeding grain to grazing steers upon the productivity of pasture. Agron. J. 61: 271-274.
- Black, C.A. 1968. Potassium. In: Soil Plant Relationships, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., pp. 558-653.
- Blair, G.J., A. Till y R.C.G. Smith. 1976. The phosphorus cycle - What are the sensitive areas? In: G.J. Blair (Ed.), Prospects for improving efficiency of phosphorus utilization. Review in Rural Science II. Univ. of New England, Armidale, Australia, pp. 9-13.
- Blaser, R.E. y E.L. Kimbrough. 1968. Potassium nutrition of forage crops

with perennials. In: V.J. Kilmer, S.E. Younts, y N.C. Brady (Eds.), The Role of Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Madison, Wis., pp. 423-445.

Bornemissza, G.F. y C.H. Williams. 1970. An effect of dung beetle activity on plant yield. *Pedobiologia*, 10: 1-7.

Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soils. MacMillan Publishing Co., Inc., N.Y., pp. 480-482.

Brockington, N.R. 1960. Studies on the growth of a *Hyparrhenia* dominant grassland in Northern Rhodesia. I. Growth and reaction to cutting. *J. Brit. Grassl. Soc.*, 15: 323-338.

Bromfield, S.M. 1961. Sheep feces in relation to the phosphorus cycle under pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 12: 111-123.

Bromfield, S.M. y O.L. Jones. 1970. The effect of sheep on the recycling of phosphorus in hayed-off pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 699-711.

Carter, E.D. 1965. Some relationships between superphosphate use and consequent animal production from pasture in South Australia. *Proc. 9th. Int. Grassl. Congr.*, Sao Paulo, Brazil, pp. 1027-1032.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1979 y 1982. Informes Anuales del Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia.

Chapman, H.D. y P.F. Pratt. 1961. Potassium. In: *Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters*, Univ. Calif. Press., Div. Agric. Sci., pp. 175.

Chung Sang Sang Long, G.M. 1971. Efecto de la orina depositada por vacas de pastoreo sobre la fertilidad del suelo. M.S. Tesis., Univ. Nacional, Bogotá, Colombia.

Clark, F.E. y E.A. Paul. 1970. The microflora of grassland. *Adv. Agron.* 22: 375-435.

Cole, C.V., J.G. Innis y J.W.B. Stewart. 1977. Simulation of phosphorus cycling in semi-acid glasslands. *Ecology*. 58: 1-15.

Dale, M.B. 1970. Systems analysis and ecology. *Ecology*. 51: 1-6.

Dawson, M.D. 1974. Recycling nitrogen and sulphur. *Sulphur Inst. J.* 2: 2-3.

Dean, R., J.E. Ellis, R.W. Rice y R.E. Bement. 1975. Nutrient removal by cattle from a shortgrass prairie. *J. Appl. Ecol.* 12: 25-29.

Denmead, O.T., S.R. Simpson y J.R. Freeney. 1974. Ammonia flux into the atmosphere from a grazed pasture. *Science*. 185 (4151): 609-610.

Doak, B.W. 1952. Some chemical changes in the nitrogenous constituents of

- urine when voided on pasture. *J. Agr. Sci.* 42: 162-171.
- Floate, M.J.S. 1970. Decomposition of organic materials from hill soils and pastures. II. Comparative studies on the mineralization of carbon, nitrogen and phosphorus from soil. *Soil Biol. Biochem.* 2: 173-185.
- Gillard, P. 1967. Coprophagous beetles in pasture ecosystems. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 33: 30-34.
- Handreck, K.A. y K.O. Godwin. 1970. Distribution in the sheep of selenium derived from Se labelled ruminal pellets. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 71-84.
- Hansard, S.L. y A.S. Mohammed. 1968. Maternal-fetal utilization of sulfate sulfur by the gravid ewe. *J. Nut.* 96: 247-254.
- Harmsen, G.W. y D.A. van Schreven. 1955. Mineralization of organic nitrogen in soil. *Adv. Agron.* 7: 300-398.
- Heady, H.F. 1975. *Rangeland Management*. McGraw Hill, Maidenhead, pp. 73-87
- Henzell, E.F. 1970. Problems in comparing the nitrogen economics of legume-based and nitrogen-fertilized pasture systems. *Proc. Xlth Int. Grassl. Congr. Surfers Paradise, Qd. Aust.*, pp. A112-A120.
- Henzell, E.F. 1977. Nitrogen nutrition of tropical pastures. In: P.J. Skerman Cell, *Tropical Forage Legumes - FAO*, Rome, pp. 86-96.
- Henzell, E.F. y D.O. Norris. 1962a. Processes by which nitrogen is added to the soil/plant system. *Bull. Com. Bureau Post. and Fld. Crops*, No. 46: 1-18.
- Henzell, E.F. y D.O. Norris. 1962b. A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures. *Bull. Com. Bureau Post. and Fld. Crops*, No. 46: 1-18.
- Henzell, E.F. y P.J. Ross. 1973. The nitrogen cycle of pasture ecosystems. In: G.W. Buttler y R.W. Bailey (Eds.), *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Academic Press, London, pp. 227-244.
- Herriott, J.B.D. y D.A. Wells. 1963. The grazing animal and sward productivity. *J. Agr. Sci.* 61: 89-99.
- Herriott, J.B.D., D.A. Wells y J. Dilnot. 1959. The grazing animal and sward productivity. *J. Brit. Grassl. Soc.* 14: 191-198.
- Jansson, S.L. 1963. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in a 6-year study with N. *Soil Sci.* 95: 31-37.
- Jeffers, J.N.R. 1978. *An Introduction to System Analysis with Ecological Applications*. University Park Press, Baltimore, Maryland.

- Jones, M.B. 1964. Effect of applied sulfur on yield and sulfur uptake of various California drylands pasture species. *Agron. J.* 56: 235-237.
- Jones, M.J. y A.R. Bromfield. 1970. Nitrogen in the rainfall at Samaru, Nigeria. *Nature, London*, 227: 86.
- Jones, M.B., W.E. Martin y W.A. Williams. 1968. Behavior of sulfate sulfur and elemental sulfur in three California soils in lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 535-540.
- Jones, M.G., J.E. Street, y W.A. Williams. 1974. Leaching and uptake of nitrogen applied to annual grass and clover-grass mixtures in lysimeters. *Agron. J.*, 66: 256-258.
- Jones, M.B., W.A. Williams y W.E. Martin. 1971. Effect of waterlogging and organic matter on the loss of applied sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 343-346.
- Jones, M.B. y R.G. Woodmansee. 1979. Biogeochemical cycling in annual grassland ecosystems. *The Botanical Rev.* 45 (2): 111-141.
- Kass, D.L., M. Drosdoff y M. Alexander. 1971. Nitrogen fixation by *Azotobacter paspali* in associations with Bahiagrass (*Paspalum notatum*). *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 286-289.
- Katznelson, J. 1977. Phosphorus in the soil-plant-animal ecosystem, an introduction to a model. *Ecologia*, 26: 325-334.
- Kilmer, V.J. 1974. Nutrient loses from grasslands through leaching and runoff. In: D.A. Mays (Ed.), *Forage Fertilization*. Am. Soc. Agron., pp. 341-359.
- Krantz, B.A., A.J. Ohlrogge y G.D. Scarseth. 1943. Movement of nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 8: 189-195.
- Lotero, J. 1966. The magnitude and duration of the effect of urine applied by grazing cattle on the N and K of pasture swards. Thesis Ph.D., University of North Carolina, U.S.A., 86 p. (Mimeografiada).
- Lotero, J., W.W. Woodhouse, Jr., y R.G. Petersen. 1966. Local effect on fertility of urine voided by grazing cattle. *Agron. J.* 58: 262-265.
- MacClusky, D.S. 1960. Some estimates of the areas of pasture fouled by the excreta of dairy cows. *J. Brit. Grassl. Soc.* 15: 181-188.
- Mays, D.A., S.R. Wilkinson y C.V. Cole. 1980. Phosphorus nutrition of forage. In: *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Am. Soc. Agron., pp. 834-840.
- McKell, C.M. y W.A. Williams. 1960. A lysimeter study of sulfur fertiliza-

- tion of an annual-range soil. *J. Range Management*. 13: 113-117.
- McLachlan, K.D. 1968. Stocking rate and the superphosphate requirements of sown pasture on an acid soil. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 8: 33-38.
- McLachlan, K.D. y B.W. Norman. 1966. Observations on the superphosphate requirements of two grazing experiments. *Aust. J. Exp. Agr. Sci. Anim. Husb.* 6: 22.
- Milford, R. y K.P. Haydock. 1965. The nutritive value of protein in subtropical pasture species grown in Southeast Queensland. *Aust. J. Exp. Agr. Sci. Anim. Husb.* 5: 13-17.
- Mishutin, E.N. y V.K. Shilnikova. 1969. The biological fixation of atmospheric nitrogen by free-living bacteria. *Soil Biology*. 65: 150.
- Morvie, A.W. 1966. Non-symbiotic nitrogen fixation in soil and soil-plant systems. *Soils and Fertilizers*. 29: 113-128.
- Mosse, B. 1981. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. University of Hawaii Research Bulletin 194.
- Mott, G.O. 1974. Nutrient recycling in pastures. In: D.A. Mays (Ed.), *Forage Fertilization*. Am. Soc. Agron., Madison, Wis., pp.323-339
- Nelson, W.L. 1968. Plant factors affecting potassium availability and uptake. In: V.J. Kilmer, S.E. Younts y N.C. Brady (Eds.), *The Role of Potassium in Agriculture*. Am.Soc.Agron., Madison, Wis., pp. 355-383.
- Newbould, P. 1978. Principles of nutrient cycling. In: M.J. Frissel (Ed.), *Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems*.
- Norman, M.J.T. 1963. The pattern of dry matter and nutrient content changes in native pastures at Katherine, N.T. Aust, *J. Exp. Agr. Sci. Anim. Husb.* 3: 119-124.
- Norman, M.F.T y R. Wetselaar. 1960. Losses of nitrogen on burning native pasture at Katherine, N.T. *J. Aust. Inst. Agr. Sci.* 26: 272-273.
- Nutman, P.S. 1976. BP field experiments on nitrogen fixation by nodulated legumes. In: P.S. Nutman (Ed.), *Symbiotic Nitrogen Fixation by Plants*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 211-237.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164: 262-270.
- Ozanne, P.G. y M.W. Hower. 1971. The effects of grazing on the phosphorus requirement of an annual pasture. *Aust. J. Agr. Res.* 22: 81-92.
- Peterson, R.G., H.L. Lucas y W.W. Woodhouse. 1956. The distribution of

- excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. I. Excretol distribution. Agron. J. 48: 440-444.
- Peterson, R.G., W.W. Woodhouse y H.L. Lucas. 1956. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. II. Effect of returned excreta on the residual concentration of some fertilizer elements. Agron. J. 48: 444-449.
- Porter, L.K. y A.R. Grabble. 1969. Fixation of atmosphere nitrogen by nonlegumes in wet mountain meadows. Agron. J. 61: 521-523. Porter, L.K., F.G. Viets y G.L. Hutchinson. 1972. Air containing nitrogen-15 ammonia: foliar absorption by corn seedlings. Science, 175: 759-761.
- Reid, R.L. y G.A. Jung. 1974. Effects of elements other than nitrogen on the nutritive value of forage. In: D.A. Mays (Ed.), Forage Fertilization. Am. Soc. Agron., pp. 410-416.
- Keusenauer, H.M. 1966. Mineral nutrients in soil solution. In: P.L. Altman y D.S. Dettmer (Eds.), Environmental Biology, Fed. Am. Soc. Exp. Biol., Bethesda, Md., pp. 507-508.
- Richardson, H.L. 1939. The N cycle in grassland soils with special reference to Rothamsted Park Grass Experiment. J. Agr. Sci. 28: 73-121.
- Ritchey, K.D. 1979. Potassium fertility in Oxisols and Ultisols of the humid tropics. Cornell Int. Agr. Bull. 37:17-23.
- Robinson, D.W. y G.A. Stewart. 1968. Protein digestibility in sheep and cattle in Northwestern Australia. Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb. 8: 419-424.
- Ross, P.J., A.E. Martin y E.F. Henzell. 1968. Gas lysimetry as a technique in nitrogen studies on the soil-plant-atmosphere system. Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, 2: 487-494.
- Russell, E.W. 1973. Soil conditions and plant growth. Longman, N.Y., p. 263.
- Saif, S.R. 1983. Respuesta de plantas forrajeras tropicales a las aplicaciones de roca fosfórica y micorriza en un Oxisol no esterilizado. Memorias de la "Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. Oct.10-15, 1983, Cochabamba, Bolivia (En imprenta).
- Salter, M. y C.J. Schollenberger. 1939. Farm manure. Ohio Agr. Sta. Bull. 605: 69 p.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del tropico: Características y manejo. IICA, San José, Costa Rica, p. 600.
- Sears, P.S., V.C. Goodal y R.P. Newbold. 1949. The effect of sheep droppings

- on yield and botanical composition of pasture. N.Z.J. Sci. 30: 231-250.
- Sears, P.S. y W.G. Thu-ston. 1953. Effect of sheep droppings on yield, botanical composition and chemical composition of pasture. III. Results of field trial at Lincoln, Canterbury, for the years 1944-1947. N.Z.J. Sci. Techn. Ser. A. 34: 445-459.
- Seay, W.A., O.J. Attow y E. Troug. 1949. Correlation of potassium content of alfalfa with that available in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 14: 245-249
- Shaw, W.M. y B. Robinson. 1960. Reaction efficiencies of liming materials as indicated by lysimeter leachate composition. Soil Sci. 89: 209-218.
- Spain, J.M. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. pp. 181-190. En: L.E. Tergas y P.A. Sánchez, Eds. Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. CIAT, Cali, Colombia.
- Spain, J.M. 1981. Agricultural potential of low activity clay soils of the humid tropics. Proceedings, Fourth International Soil Classification Workshop. SSMS-USDA, Washington, D.C.
- Stewart, B.A., L.K. Porter y F.G. Viets. 1966. Effect of sulphur content of straws on rates of decomposition and plant growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 355-358.
- Sympson, J.R. 1968. Loss of urea nitrogen from the surface of pasture soils. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, 2: 459-466.
- Terman, G.L. y S.E. Allen. 1970. Leaching of soluble and slow-release N and K fertilizers from Lakeland and under grass and fallow. Proc. Soil Crop Sci. Soc., Florida, 30: 130-140.
- Till, A.R. 1975. Sulphur cycling in grazed pastures. In: K.D. McLachlan (Ed.), Sulphur in Australasian Agr., Sydney University Press, pp. 68-73.
- Till, A. y P.E. May. 1970. Nutrient cycling in grazed pastures. II. Further observations with (<sup>35</sup>S). Gypsum Aust. J. Agr. Res. 21: 253-260.
- Till, A.R., P.F. May e I.W. McDonald. 1970. The use of tracer techniques to study the sulfur cycle in grazed pastures. Symposium on Sulfur in Nutrition. Avi Publishing Co., Westport, Conn., pp. 182-195.
- Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montaner y Simon, S.A., Barcelona, Espana, pp. 310-316.
- Vicente-Chandler, J., F. Abruna, R. Caro-Costas, J. Figarella, S. Silva y R.W. Pearson. 1974. Intensive grasslands management in the humid tropics of Puerto Rico. Univ. Puerto Rico, Agr. Exp. Sta. Bull. pp. 223.

- Waite, R., W.B. MacDonal y W. Holmes. 1951. Studies on grazing management. III. The behavior of dairy cows grazing under the close-folding and rotational system of management. *J. Agr. Sci.* 41: 163-178.
- Walker, T.W.: 1957. The sulphur cycle in grassland soils. *J. Brth. Grassl. Soc.*, 12(1)
- Walker, T.W., H.D. Orchiston y A.F. Adams. 1956. The nitrogen economy of grass-legume associations. *J. Brit. Grassl. Soc.* 9: 249-274.
- Watkins, B.R. 1954. The animal factor and levels of nitrogen. *J. Brit. Grassl. Soc.* 9: 35-46.
- Watkins, B.. 1957. The effect of dung and urine and its interactions with applied nitrogen, phosphorus and potassium on the chemical composition of pasture. *J. Brit. Grassl. Soc.* 12: 264-278.
- Watson, E.R. y P. Lapins. 1969. Losses of nitrogen from urine on soils from South-western Australia. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 9: 85-91.
- Webster, J.R., J.B. Waide y B.C. Patten. 1979. Nutrient recycling and the stability of ecosystems. In: H.H. Shugart y R.V. O'Neill (Eds.), *Systems Ecology*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Pennsylvania, pp. 136-159.
- Whitehead, D.C. 1966. Nutrient minerals in grassland herbage. *Comm. Agr. Bur. Mem. Pub. No. 1*, Farnham Royal, England.
- Whitney, A.S. y Y. Kanehiro. 1967. Pathways of nitrogen transfer in some tropical legume-grass associations. *Agron. J.* 59: 585-588.
- Wilkinson, S.R. y R.W. Lowrey. 1973. Cycling of mineral nutrients in pasture ecosystems. In: G.W. Butler y R.W. Bailey (Eds.), *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Academic Press, London, pp. 247-325.
- Williams, C.H., C.M. McKell y J.N. Reppert. 1964. Sulfur fertilization of an annual-range soil during years of below normal rainfall. *J. Range Management*, 17: 1-5.
- Wolton, K.M. 1963. An investigation into the simulation of nutrient returns by the grazing animal in grassland experimentation. *J. Brit. Grassl. Soc.* 18: 213-219.
- Woodmansee, R.G. 1978. Addition and losses of N in grassland ecosystems. *Bioscience*, 28: 448-453.

*Publicación  
1978*

Serie O35G-5  
Agosto, 1978

# **PRODUCCION DE PASTOS EN SUELOS ACIDOS DE LOS TROPICOS**

**Trabajos presentados durante un Seminario  
celebrado en el CIAT, Cali, Colombia**

**17-21 Abril, 1978**

**Editores:**

**Luis E. Tergas  
Pedro A. Sánchez**

**Editor de Producción:**

**Stellia Sardi de Salcedo**

## SISTEMAS DE PRODUCCION DE SEMILLAS DE PASTOS EN AMERICA LATINA

John E. Ferguson\*

### RESUMEN

Se proponen y describen cinco sistemas básicos de producción por medio de los cuales las semillas de cultivares de gramíneas y leguminosas llegan al mercado. Estos son: 1) tradicional para gramíneas; 2) leguminosas de plantaciones agrícolas; 3) leguminosas con soporte físico; 4) gramíneas y leguminosas como praderas; y 5) gramíneas y leguminosas como cultivos. Se definen las especies particulares y países en donde existen estos sistemas actualmente. Se discuten además los papeles relativos y futuros de estos sistemas y las áreas más pertinentes para investigación, presentando de esta forma guías para futuras estrategias para desarrollar la producción de semillas.

La disponibilidad y costo al consumidor del kg. de semilla pura viva (SPV) determina frecuentemente si el potencial de una variedad forrajera se puede aprovechar en forma de producción animal. Aun en América Latina en donde el método predominante de distribución y establecimiento de praderas ha sido la propagación vegetativa, el mejoramiento en gran escala de las praderas dentro de sistemas extensos de producción de ganado únicamente es factible por medio de la semilla. Esto es válido especialmente cuando se trata de leguminosas y cultivares mejorados de gramíneas.

Con la mayoría de las especies de pastos tropicales la producción de semilla es un esfuerzo relativamente nuevo, tanto comercialmente como desde el punto de vista de la investigación científica. En Australia, Brasil, Colombia y Kenia, sin embargo, la produc-

ción de semillas se ha desarrollado considerablemente en la última década. La literatura sobre producción de semilla de pastos va en aumento. La revisión de Humphreys (7), y posteriormente de Jones y Roe (8), constituyen las primeras presentaciones de gran alcance de los componentes clásicos de producción de semilla como se aplican a las actuales gamas de especies y cultivares. Otras numerosas publicaciones tratan solamente sobre el comportamiento y manejo de especies particulares, prácticas culturales específicas o resúmenes de actividades de producción de semilla a nivel nacional. Sin embargo, el número y diversidad de especies, ya sea actualmente bajo producción comercial o en experimentación para entrega en el futuro, y la multiplicidad de medios a través de los cuales la semilla llega al mercado dificultan la discusión sobre producción de semilla de pastos. Vicary (16) llamó la atención sobre la diversidad de empresas de producción de semilla en el norte de Australia, en tanto que Hopkinson

\* Agrónomo, Programa de Ganado de Carne, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

(6) describió las fases progresivas de acumulación de existencias de un cultivar nuevo.

El objeto de este trabajo es presentar una descripción general sobre la forma como se produce la semilla de pastos en las tierras bajas de América Latina tropical pero desde el punto de vista de sistemas de producción. Además, se discute la función de la investigación dentro de cada sistema y cómo pueden estos sistemas responder a las necesidades futuras.

#### SISTEMAS DE PRODUCCION DE SEMILLA

Por un sistema de producción de semilla de pastos se entiende todos los componentes biológicos, tecnológicos y de manejo relacionados con una especie en particular y la forma como estos componentes interactúan dentro de la producción de semilla como un producto comerciable.

Al tratar de definir estos sistemas, se ha puesto énfasis en: a) el grado hasta el cual la producción de semilla es compatible con el manejo de forrajes para ganado de carne u otra empresa de producción; b) el punto hasta el cual se satisfacen los requerimientos biológicos de las especies para producción de semilla al sembrarlas en una región geográficamente apropiada y/o en un sitio específico dentro de ésta, y/o al aplicar diferentes prácticas culturales; y c) la agrupación de especies o cultivares que tienen componentes de producción similares dentro del mismo sistema, a fin de minimizar el número de sistemas pero evitando la generalización.

Se proponen cinco sistemas básicos de producción de semilla. Estos son:

- Sistema 1. Tradicional para gramíneas
- Sistema 2. Leguminosas de plantaciones agrícolas
- Sistema 3. Leguminosas con soporte físico

Sistema 4. Gramíneas y leguminosas como praderas

Sistema 5. Gramíneas y leguminosas como cultivos.

#### Sistema 1. Tradicional para gramíneas

Se limita a ciertas gramíneas que están naturalizadas en algunas áreas de producción de ganado de carne, tanto en las praderas como al lado de los caminos. Su diseminación o establecimiento, fue inicialmente natural o para praderas, pero no con el propósito de producir semilla. Con excepción del acceso limitado del ganado después de determinada fecha, los ganaderos no aplican prácticas específicas para manejo de semilla. La floración y la formación de semilla, sin embargo, están bien sincronizadas con la terminación de la estación húmeda y casi todos los años la cantidad de semilla es alta y se puede cosechar para la venta inmediata.

La recolección se hace manualmente. Normalmente el ganadero llega a un acuerdo con un contratista quien a su vez subcontrata con trabajadores locales para efectuar la recolección. Algunos ganaderos, sin embargo, organizan y controlan su cosecha. El principal método de cosecha es cortar los tallos en flor con una hoz o machete y luego construir pilas o montones ordenados con los tallos acomodados ya sea horizontalmente o inclinados hacia arriba. Las pilas se construyen progresivamente en el campo a medida que avanzan los cortadores a través del sembrado y sólo ocasionalmente se hace el esfuerzo extra de transportar este material del campo a un cobertizo. Después de cinco a siete días, las pilas se abren y los tallos se desgranar manualmente golpeándolos con un palo o contra el suelo. La masa de semilla desprendida se empaqueta y se traslada a un cobertizo. La limpieza posterior es mínima y se reduce a remover el material vegetal. Los procedimientos finales de secamiento varían, pero normalmente implican exposición al sol. Un método alternativo de cosecha consiste simplemente en dejar madurar en exceso el cultivo, y luego

cosechar las semillas caídas al suelo usando rastrillos y escobas.

Los lotes comerciales de semilla son extremadamente variables en todos los componentes de calidad. La característica más obvia es el alto pero variable contenido de arena, tierra, partes de hojas y tallos, y semillas vanas. Por su parte, el técnico en semillas describiría este mismo lote como de pureza baja pero variable (por la definición internacional) y con un alto contenido de materia inerte. Obviamente, la semilla recogida del suelo tendrá la fracción más alta de arena y tierra. Por otra parte algunos lotes de semilla pueden estar casi libres de arena, tierra y material vegetal. La variable constante es la proporción de estructuras similares a semillas que contienen una cariopsis, es decir el contenido de semilla pura por la definición internacional. La germinación también es variable en alto grado según el contenido de semilla pura, la proporción de semilla inmadura y el manejo después de la cosecha, especialmente el

tiempo y las condiciones de las pilas, el índice de secamiento y las condiciones de almacenamiento.

El rendimiento de la semilla es muy variable y los estimativos se complican por la dificultad de medir el área de cosecha y el peso y pureza del producto final.

Las ventas de semilla son esencialmente locales y no existen definiciones o estimativos de calidad normalizados. En ciertas regiones la semilla se negocia comercialmente y a menudo entre países fronterizos, como es el caso entre Colombia y Venezuela.

Este sistema de producción de semillas de pasto se ha desarrollado y funciona sin ninguna asistencia gubernamental o insumo investigativo. Aunque el producto es de calidad variable y sin refinar, este sistema representa el mayor volumen de semilla de pasto y es el más difundido en América Latina. Las especies, países y rendimientos se resumen en el Cuadro 1. La mayor

Cuadro 1. Distribución y rendimiento de semillas de gramíneas en el sistema tradicional de gramíneas (Sistema 1).

Especie	País	Rendimiento de semilla* kg /ha
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf.	Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México Panamá, Perú, Venezuela	100-200 (1 cosecha)
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Brasil, Bolivia Costa Rica, Colombia, Ecuador, México, Venezuela	50-100 (1-2 cosechas)
<i>Dichanthium aristatum</i> (Poir.) C.E. Hubbard	Colombia, Venezuela	75-150 (1-2 cosechas, irrigadas frecuentemente)
<i>Melinis minutiflora</i> Beauv.	Brasil, Colombia Costa Rica Venezuela	75-150 (1 cosecha)
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	Colombia, México, Venezuela	50-100 (1 cosecha, sin apilar)

\* Semilla sin refinar de pureza variable pero generalmente baja.

producción total se registra en Brasil y Colombia.

Los aspectos de producción y desarrollo de este sistema han sido descritos por varios autores (1, 5, 9, 12, 15). El examen de la naturaleza básica del sistema indicaría que para mejorar primero la calidad y luego la cantidad de la producción, no se requiere un esfuerzo intenso de investigación sino más bien la aplicación y difusión de la tecnología disponible. Se debe continuar con la investigación para comprender mejor los efectos y control de la fase de sudado, o sea cuando el material cosechado es conservado húmedo en las pilas (14), y para desarrollar equipo de procesamiento de semilla más apropiado (11).

El sistema podría mejorarse de las siguiente maneras:

1) Mejor manejo en la hacienda, después de la cosecha. Primero, comprender y controlar más a fondo la fase de sudado. Segundo, usar cubiertas plásticas baratas y cribas separadoras preliminares inclinadas durante la fase de desgrane para reducir la proporción de material inerte. Tercero, hacer más énfasis en el secamiento lento y natural bajo la sombra.

2) Procesamiento mecánico de la semilla fuera de la hacienda para mejorar la pureza de la semilla. Este servicio lo podría prestar el gobierno o la empresa privada construyendo una instalación para procesamiento en un área de gran producción. El equipo indispensable incluiría un predepurador o separador preliminar, un molino de martillo ajustable o una máquina desbarbadora, una limpiadora de cribas y aire, y una mesa de gravedad.

3) Desarrollar una mayor comprensión de la calidad de la semilla. El primer requisito sería fijar una definición y medida de patrones de pureza de la semilla para cada especie, y luego construir las instalaciones en donde se pueda comprobar la calidad de la semilla. Este último podría estar a cargo

de una entidad nacional. Sería indispensable un programa educativo para enfatizar la importancia de la pureza, la germinación, el contenido de SPV y su relación con los índices de siembra.

4) Estimular a los dueños de haciendas para que se ocupen más seriamente en la producción de semilla. Esto involucraría un compromiso para escoger zonas de producción de semilla de pastos uniformes, libres de maleza, y una administración más intensiva. En algunas regiones de producción agrícola y pecuaria, debería ser posible cosechar con cortadoras y combinadas haciendo los ajustes y adaptaciones necesarias al equipo usado para producción de cultivos alimenticios.

Varias firmas comerciales grandes productoras de semillas están iniciando arreglos contractuales con ganaderos; en consecuencia este sistema podría ser más productivo en el futuro. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que un alto grado de refinamiento de este sistema constituiría una transición al Sistema 4.

## Sistema 2. Leguminosas de plantaciones agrícolas

Se limita a leguminosas capaces de servir como cubierta vegetal estable del suelo bajo plantaciones de árboles perennes en los trópicos húmedos. Las plantaciones de caucho, palma de aceite y coco obviamente se desarrollan en donde las condiciones ecológicas las favorecen. Las leguminosas proveen una cobertura protectora viva para el control de la erosión y de las malezas y crece progresivamente bajo sombra parcial. La producción de semilla de la leguminosa no es el objetivo inicial, pero ocasionalmente podría convertirse en un cultivo comercial secundario.

El pastoreo no forma parte del sistema de manejo en las plantaciones de caucho y palma de aceite. La leguminosa se retira manualmente de la base de los árboles y se puede defoliar ocasionalmente ya sea manual o mecánicamente. El manejo de la

leguminosa anterior a la cosecha es mínimo o casi nulo.

En una minoría de plantaciones y solamente en algunos años, la producción de semilla de la leguminosa puede ser relativamente prolífica en partes de las plantaciones. Algunos administradores emplean mano de obra para la cosecha manual, generalmente las esposas e hijos de los trabajadores permanentes. Las vainas cosechadas se secan al sol y se desgranar manualmente.

El producto comerciable es de alta pureza pero con germinación variable que guarda relación con la edad de la semilla y con las condiciones de almacenamiento. La oferta de semilla mediante este sistema es obviamente irregular. La semilla se negocia dentro de los mercados nacionales, pero también internacionalmente debido a los contactos de mercadeo de las plantaciones de árboles. Actualmente en América Latina sólo se produce *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. var. *javanica* (Benth.) Bak. con palma de aceite africana o plantaciones de caucho (Cuadro 2). Es importante destacar, sin embargo, que otras leguminosas tales como *Centrosema* spp. y *Desmodium ovalitolum* Vahl. también pudieran producirse mediante este sistema.

El potencial de rendimiento de la semilla de *P. phaseoloides* sin apoyo físico no está bien definido en América Latina. En Carimagua, al oriente de Colombia (4°N), Raúl Pérez (comunicación personal) registró rendimientos de semilla cosechada a mano de entre 5 y 80 kg /ha en poblaciones

puras. En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (3°N) se registraron rendimientos de 500 y 340 kg /ha con cosecha manual y mecánica, respectivamente. Estas especies tienen, por consiguiente, un potencial atractivo que esencialmente ha estado sin explotar en América Latina.

Como actualmente existen grandes áreas de *P. phaseoloides*, las cuales se expandirán como consecuencia del crecimiento de la industria de plantaciones, se deben estudiar las formas de aumentar el volumen de semilla de ésta y otras especies de leguminosas dentro de este sistema. Estas incluirían:

1) Mejorar la relación entre las industrias de semillas y de plantaciones en cuanto a la demanda, potencial de producción y acuerdos sobre metodología y aparcería.

2) Seleccionar las regiones geográficas en donde la leguminosa podría producir consistentemente rendimientos razonables de semilla. Es necesario tener en cuenta entre otros los siguientes factores: la latitud, puesto que *P. phaseoloides* responde positivamente a días cortos en la floración, los rendimientos serían potencialmente más altos en lugares por encima de los 8° de latitud aún en las latitudes bajas, por la presencia de más variación en el fotoperíodo; la distribución de las lluvias en relación con el fotoperíodo, en particular la necesidad de un cambio marcado hacia una estación seca combinada con fotoperíodos más cortos; y los niveles de radiación solar, evitando áreas con alta nubosidad durante el año.

Cuadro 2. Distribución y rendimiento de semilla de *P. phaseoloides* con el sistema agrícola de plantaciones (Sistema 2).

Especie	País	Rendimiento de semilla
		kg /ha
<i>P. phaseoloides</i> con palma africana oleífera o con caucho	Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala	10-50 (1 cosecha)

3) Seleccionar áreas específicas dentro de plantaciones que estén localizadas en regiones geográficas óptimas. Estas áreas tendrían: un sombrero mínimo ya sea por la edad de los árboles, la baja densidad de árboles o la población de árboles viejos y enfermos; un tipo de suelo liviano, que aumenta la falta de humedad en la estación más seca; y una topografía plana, preferiblemente con desmonte completo del terreno para facilitar la mecanización del cultivo.

4) Un manejo más intenso de estas áreas seleccionadas para producción de semillas. Este aspecto incluye la aplicación de fertilizantes para las leguminosas, especialmente para cumplir con los requisitos de P, S, K, Mg, Zn o Mo; el control de insectos, cuando sea necesario; la determinación del método de cosecha con base en la disponibilidad de trabajadores y en la posibilidad de emplear una combinada, posiblemente mediante contrato; el beneficio de un sistema de soporte barato para facilitar la cosecha manual.

### Sistema 3. Leguminosas con soporte físico

Sólo puede emplearse para leguminosas con hábito de crecimiento de enredadera. Se establecen las áreas para la leguminosa y luego se erige un sistema de soporte y se ayuda a los tallos a trepar por los mismos. Este sistema de soportes es generalmente de guadua y alambre, o puede ser más

sencillo usando estacas de plantas o tallos viejos sin interconexión.

El objetivo primordial es la producción de semillas. La selección de un lugar geográfico adecuado no es indispensable, pues en realidad la falta de adaptación climática para la producción de semilla en un sitio en particular puede compensarse parcialmente con el sistema de apoyo.

Este sistema impide el uso alternativo del pastoreo, facilita la recolección manual, obligatoria de la semilla pero restringe el tamaño del área de producción. El manejo es semi-intensivo y puede incluir fertilización, control de insectos e irrigación para obtener altos rendimientos y compensar el costo del sistema de soporte. Las vainas se cosechan a mano, normalmente dentro de una secuencia programada con anterioridad. Las vainas simplemente se secan al sol y se desgranán manualmente o por medio de sistemas mecánicos simples, como es el caso de la desgranadora fija. El rendimiento de las semillas puede ser muy alto. La germinación y la pureza son normalmente altas. La semilla se usa frecuentemente en la misma propiedad o se vende localmente. Las especies involucradas más frecuentemente se anotan en el Cuadro 3.

Lotero (10) registró altos rendimientos con *Calapogonium mucunoides* Desv. (800 kg/ha), *P. phaseoloides* (838 kg/ha) y *Glycine wightii* (R. Grah. ex Wight & Arn.) Verdcourt (622 kg/ha) en Medellín, Colombia. Farfán (4) obtuvo rendimientos de 950

Cuadro 3. Distribución y rendimiento de semillas de leguminosas cultivadas mediante el sistema de soporte físico (Sistema 3).

Especie	País	Rendimiento de semilla
		kg/ha
<i>C. pubescens</i>	Colombia y	más de 100
<i>G. wightii</i>	Ecuador	más de 100
<i>P. phaseoloides</i>		más de 100
<i>C. mucunoides</i>		más de 100

kg/ha con *Centrosema pubescens* Benth., 267 kg/ha con *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. y 280 kg/ha con *Macrotyloma axillare* (E. Mey.) Verdc. en Porto Viejo, Ecuador. En Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, *Centrosema* spp. dio un rendimiento de 650 kg/ha en el primer año.

Este sistema es eficiente y práctico solamente en una escala limitada con material de buena calidad en donde la mano de obra es barata y fácil de conseguir. Estas limitaciones le dan un papel transitorio y primario puesto que si la demanda y los costos de una determinada especie suben, la expansión significativa de la producción sólo se podría lograr mediante el Sistema 4 ó 5.

La investigación dentro de este sistema deberá dirigirse a ayudar en la transición al identificar prácticas culturales y regiones geográficas apropiadas en donde la cosecha mecánica resulte económica. Otra línea de investigación podría concentrarse en el uso de sistemas de soporte de bajo costo (incluyendo combinaciones de cultivos múltiples que pudieran ser cosechados mecánicamente), y reguladores químicos de crecimiento.

En el futuro este sistema se usará para aumentar inicialmente la cantidad de semilla de germoplasma promisorio dentro de instituciones nacionales que produzcan semilla para propósitos de experimentación, y lograr índices de multiplicación altos y rápidos tanto para los productores de semilla como para los ganaderos que intentan producir una nueva variedad en donde la oferta inicial es restringida o muy costosa.

#### **Sistema 4. Gramíneos y leguminosas como praderas**

Puede involucrar tanto gramíneas como leguminosas. Las especies o cultivos involucrados son relativamente nuevos. La región geográfica adecuada es aquella en donde las especies se adaptan bien para la producción de forrajes y, en casi todos los años, para la formación de la semilla. El

establecimiento inicial tiene por objeto desarrollar praderas mejoradas, en poblaciones puras o mezcladas. Si bien el objetivo inicial del ganadero es producir forrajes para la alimentación del ganado, puede sentirse tentado de convertirse en productor de semilla ya sea por los altos precios de la misma o para resembrarla en su propiedad. La producción de semilla es en consecuencia un cultivo secundario de salida inmediata.

En los años en que el objetivo es la producción de semilla, el ganadero restringe el pastoreo en ciertas áreas y, generalmente sin invertir más insumos, espera hasta que el área florezca y produzca semilla. Estas áreas pueden haber sido fertilizadas para explotar el potencial de rendimiento de forraje de cultivares nuevos o mejorados. La cosecha se lleva a cabo por contrato en forma manual o mecánica. La tendencia, sin embargo, es hacia el empleo de la combinada. La semilla se seca al sol en la propiedad, pero generalmente se transporta a una instalación procesadora en donde se limpia y se clasifica. La calidad de los lotes de semilla finales es variable pero puede ser alta. El rendimiento de la semilla es variable y generalmente moderado para la especie. El volumen total de semilla, sin embargo, es suficiente para afectar significativamente la oferta nacional y los precios a medida que aumentan las áreas involucradas.

Obviamente este sistema es intermedio entre los Sistemas 1 y 5. Actualmente no es común emplearlo en América Latina con las leguminosas, pero esto refleja el escaso número de cultivares relativamente nuevos de que se dispone (Cuadro 4). Este sistema no se promueve mediante la investigación y el desarrollo pero tiende a evolucionar naturalmente en respuesta a una fuerte demanda económica de semilla reconocida por los ganaderos progresistas dentro de la misma región. Es un método de producción de semilla relativamente económico y si se desarrolla en alguna escala, es innecesario recurrir al Sistema 5 para los cultivares empleados dentro de cada país en particular. No obstante, el problema es que es poco

Cuadro 4 Distribución y rendimiento de semillas de especies con el sistema de praderas (Sistema 4).

Especie	País	Rendimiento de semilla
		kg /ha
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf	Colombia, Venezuela y Brasil	5-50 (1-2 cosechas)
<i>P. maximum</i> (cv. Coloniño, Green Panic, etc.)	Brasil	50-100 (1-2 cosechas)
<i>M. atropurpureum</i>	Brasil *	20-50 (1-2 cosechas)

probable que se desarrolle suficientemente rápido para algunos cultivares y en ningún grado para otros, especialmente en el caso de leguminosas en regiones de baja altitud. Los productores en este sistema son empresarios innovadores, que cambian de una actividad a otra dependiendo de la diferencia entre los precios de las semillas y la necesidad de forraje. Algunos, sin embargo, se sienten atraídos por este negocio y pueden llegar a ser productores especializados\*. En consecuencia, el sistema aporta semillas y hombres preocupados por producirla y sirve de puente en el proceso de mejoramiento de la semilla a nivel nacional.

#### Sistema 5. Gramíneas y leguminosas como cultivos

Este sistema puede incluir tanto gramíneas como leguminosas y los cultivares involucrados pueden ser tradicionales o nuevos. El objetivo principal es la producción de semilla, con énfasis limitado en la producción de forrajes. La selección de la tierra y el establecimiento y manejo de los cultivos de semillas están orientados al logro de este objetivo. Un cultivo de semillas de una especie de pasto puede formar parte de una rotación con un cultivo alimenticio o de fibra y proveer ingresos adicionales por el heno (especialmente con leguminosas) o el pastoreo limitado (especialmente con gramíneas).

\* Ver el trabajo de Rayman en este libro (Nota del editor).

Este sistema se desarrolla o con el tiempo evoluciona, dentro de regiones geográficas más apropiadas para la producción de semilla. En algunos casos específicos se buscan ciertas condiciones climáticas y edáficas para localizar los cultivos de semilla. Estas regiones pueden ser distintas y alejadas de las regiones en donde se usa la semilla en el establecimiento de praderas.

Una dimensión posterior es el grado de habilidad administrativa introducido por productores más inclinados a aplicar prácticas culturales específicas, medios mecánicos y concentración de esfuerzo.

La mayoría de los productores han invertido en equipo especializado, tal como combinadas, secadores artificiales, cortadoras, implementos de cultivo, sembradoras y maquinaria de procesamiento de semilla. En ocasiones también es necesario comprar la tierra, equipo de riego y aspersoras. La necesidad de inversiones grandes de capital puede llevar hacia la organización de corporaciones independientes o en conjunto con agencias gubernamentales.

Todas las prácticas culturales para los cultivos de semillas convencionales se pueden aplicar también a los cultivos de semilla para praderas a medida que se requieran; en particular, la preparación completa de la tierra, índices altos de siembra, fertilizantes, defoliación, control de malezas integrado (incluyendo prácticas

agronómicas y herbicidas), control de insectos y esfuerzos apropiados para mantener la pureza genética. A algunas especies se les puede aplicar irrigación.

La mayoría de los cultivos se cosechan mecánicamente, usando generalmente combinadas convencionales, pero el sistema puede incluir recolección manual. El procesamiento de la semilla es completo, y se efectúa ya sea en la misma propiedad o en instalaciones centralizadas de procesamiento. La semilla se almacena en sitios apropiados.

El rendimiento de las semillas responde a un manejo más intenso y a ambientes óptimos, y es en consecuencia más alto y más consistente. La calidad de la semilla es generalmente superior, lo que refleja tanto el mejoramiento en las condiciones de procesamiento y almacenamiento como los estándares de control de calidad regulados por agencias nacionales. El mercadeo de la semilla es más sistemático, a nivel nacional e internacional.

Este sistema es el más intensivo y especializado. Actualmente no está bien desarrollado en América Latina ni ampliamente difundido tal como se puede apreciar por las especies, países y sobre todo rendimientos del Cuadro 5. Sin embargo, ofrece mayores oportunidades para producción comercial viable, potenciales más altos de rendimiento y calidad, además de disponibilidad de mercados y precios más bajos para muchas especies. Es particularmente apropiado para especies o cultivares que, a) requieran condiciones específicas de clima, suelo y polinización y/o aislamiento para producir rendimientos económicos de semilla viable; b) tengan características difíciles de madurez, recolección o calidad; o c) constituyan cultivares nuevos, desarrollados mediante programas de introducción o fitomejoramiento. Finalmente sólo este sistema abastecerá futuras demandas para muchas leguminosas o reducirá los precios al consumidor a medida que aumente el número de productores independientes y de áreas cultivadas.

La investigación de desarrollo llevada a cabo por varios autores (2, 3, 4, 13) y el Ins-

Cuadro 5. Distribución y rendimiento de semillas de especies con el sistema de cultivo (Sistema 5).

Especie	País	Rendimiento de semilla kg /ha
<i>B. decumbens</i>	Colombia, Bolivia Brasil	10-100
<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweickt.	Brasil	10-50
<i>P. maximum</i>	Bolivia, Brasil	20-50
<i>Setaria anceps</i> Stapf. ex Massey	Brasil	20-50
<i>G. wightii</i>	Bolivia, Brasil	100-300
<i>Leblab purpureus</i> (L.) Sweet	Bolivia	500-1200
<i>M. atropurpureum</i>	Brasil	30-100
<i>Stylosanthes capitata</i> Vog.	Brasil	50
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	Brasil	30-75

tituto de Pesquisas IRI en Brasil, y los esfuerzos de coordinación y publicación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA) han hecho un aporte significativo a la iniciación de la producción comercial en varios países.

Para contribuir al desarrollo y eficiencia de este sistema se requieren programas de investigación dentro de instituciones nacionales. Si bien estas instituciones casi siempre están involucradas al iniciar la producción, debe hacerse notar que ésta es más eficiente en las manos de organizaciones semiautónomas o propietarios independientes. En consecuencia, la investigación debe modificarse progresivamente para que se adapte a las necesidades particulares. Inicialmente, la investigación debe enfatizar la definición de regiones geográficas apropiadas para cada especie, regiones con suficiente diversidad local para acomodar varias especies, rendimiento de semillas, principales determinantes del rendimiento y calidad de las semillas, y provisión de existencias básicas para productores potenciales. Con el tiempo la investigación deberá dirigirse a un refinamiento progresivo de sistemas económicos de producción para especies particulares, y/o problemas generales de los cultivadores en una región en particular.

Los recursos asignados a la producción de semillas deberán aplicarse a cultivares adaptados o a germoplasma promisorio. Tanto los productores comerciales de semillas como los investigadores necesitan relacionarse estrechamente con los programas sobre desarrollo y evaluación de germoplasma para garantizar el cumplimiento de este prerrequisito genético.

### CONCLUSIONES

La disponibilidad y costo de la semilla de cada cultivar de pasto es el resultado de un sistema de producción, cuyos principales componentes son: a) las especies particulares y su mecanismo reproductivo; b) la región geográfica en donde se las cultiva

para la producción de semilla; y c) las prácticas de manejo utilizadas. Los cinco sistemas básicos descritos aquí no son en ningún caso rígidos sino que coinciden y se interrelacionan en el desarrollo progresivo de suministros de semillas de cualquier cultivar. Las descripciones son incompletas, especialmente en cuanto a la ubicación exacta de las regiones productoras dentro de países y datos precisos de producción que simplemente no se encuentran disponibles en la literatura.

La definición e identificación de regiones geográficas apropiadas para la producción de semilla es de fundamental importancia para el desarrollo de la producción comercial de semillas y de cualquier esfuerzo investigativo para apoyar esta actividad. Estas regiones deben ofrecer combinaciones favorables de factores climáticos, edáficos y administrativos para poder obtener consistentemente rendimientos altos y alta calidad de semilla de un buen número de especies a fin de desarrollar la industria de producción de semillas. Puesto que las necesidades nacionales siempre incluirían un número de especies que podrían diferir en requisitos para la producción de semillas, un determinado país necesitará por lo menos una región productora con diversas condiciones ecológicas o varias regiones independientes. Estas regiones pueden estar alejadas de las áreas de producción pecuaria siendo necesario organizar el transporte de las semillas.

El valor de estos sistemas parcialmente conceptuales de producción de semillas reside en el análisis de cómo podrán satisfacerse las necesidades futuras de semillas y del papel más apropiado para los escasos recursos de investigación disponibles. El punto de partida para embarcarse en la producción de semilla es la definición de la demanda potencial de cultivares que han demostrado estar adaptados. Obviamente cada país puede requerir cultivares y volúmenes diferentes. El potencial de producción de los Sistemas 1 y 2, debe examinarse detalladamente. Aunque el Sistema 4 sugiere una situación ideal no puede asumirse que se desarrollará sufi-

cientemente rápido para satisfacer la demanda y lo más probable es que no sea apropiado para muchas leguminosas especialmente en regiones de poca latitud. El Sistema 5 servirá, en consecuencia, para asegurar una disponibilidad de semilla suficiente y rápida a un costo razonable para

muchos cultivares, especialmente para cultivares de leguminosas nuevos. Para desarrollar este sistema, el cual sólo será viable dentro de determinadas regiones geográficas, se necesita un esfuerzo de investigación y productores especializados.

#### LITERATURA CITADA

1. Alarcón, E., J. Lotero y L. Escobar. 1969. Producción de semillas de los pastos angleton, puntero y guinea. *Agricultura Tropical* 25(4):207-215.
2. Bernal, J.E. 1975. Zonificación para la producción de semillas de forrajeras en Colombia. Seminario sobre Producción de Semillas. Series Informes no. 79. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, Colombia. p.3-14.
3. Delgadillo, G. y J. Rossiter. 1971. Producción de semilla de leguminosas forrajeras en Santa Cruz-Bolivia. p.30-33. *In Banco de Germoplasma de Pastos y Leguminosas Tropicales. Informe Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina, Quito, Ecuador.*
4. Farfán, C. 1974. Efecto de prácticas culturales en la producción de semillas de plantas forrajeras tropicales. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
5. Gallardo, A. y A. Leone. 1976. Producción de semilla de gramíneas forrajeras en Venezuela. Seminario sobre Producción de Semillas Forrajeras. Informe no. 99. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Maracay, Venezuela. p.122-153.
6. Hopkinson, J.M. 1977. Siratro seed production. *Tropical Grasslands* 11:33-39.
7. Humphreys, L.R. 1974. Tropical pasture seed production. FAO, Rome.
8. Jones, R.J. and R. Roe. 1970. Seed production, harvesting and storage. p. 375-392. *In N.H. Shaw and W.W. Bryan (ed.) Tropical Pasture Research Principles and Methods. Bulletin 51, Commonwealth Agricultural Bureaux, Hurley, United Kingdom.*
9. Jollif, G.D. y G. Sánchez. 1971. Trabajos en semillas. Instituto Colombiano Agropecuario, Tibaitatá, Colombia. 72p. (Mimeografiado).
10. Lotero, J. 1972. Producción de semilla de pastos. Seminar on Feeding and Nutrition of Ruminants, Turrialba, Costa Rica.
11. Moreno, F. y D. Larsen. 1972. Procesamiento de las semillas de pasto angleton (*Dichanthium aristatum*) para remover sus aristas. *ICA Informa* 7:233-250.
12. Pacheco, J. y G.E. Killinger. Producción de semilla de forrajes y pastos. *Suelo Tico (Costa Rica)* 9(37):227-228.
13. Ramos, H. 1975. Factores que influyen en la germinación del pasto brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf.) Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional e Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá, Colombia.
14. \_\_\_\_\_. 1978. Germinación de semillas de pastos tropicales *Brachiaria ruziziensis*; *Panicum maximum*; *Hyparrhenia rufa*. (En prensa).

15. Salazar, J. y R. Camacho. 1965. Necesidades y prioridades en la producción de semillas. Seminario sobre Producción de Semillas. Series Informes no. 79, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, Colombia. p. 22-31.
16. Vicary, C.P. 1970. Costs and returns with tropical pasture plants. Australian Seed Review 1:27-30.



# Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

PERSONERIA JURIDICA No. 1878 DE JUNIO DE 1968 - NIT. 60.031.042  
CARRERA II No. 68-34 OF. 204 APARTADO AEREO 51781 TEL 211 3363  
BOGOTA, D. E. COLOMBIA S. A

COMITE REGIONAL DE CUNDINAMARCA Y BOYACA

## S E M I N A R I O

"APLICACION DE LA TAXONOMIA DE SUELOS EN SU USO Y MANEJO Y EN LA TRANSFERENCIA AGROTECNOLOGICA".

Bogotá, Agosto 22- 25 de 1.984

### LA UTILIZACION DEL SOIL TAXONOMY DEL USDA EN AMERICA TROPICAL Y EN OTROS PAISES TROPICALES.\*

Por Ramiro Guerrero Muñoz.\*\*

#### 1.- INTRODUCCION.

El uso del recurso suelo y su evaluación constituyen algunos de los aspectos más importantes en la ejecución de la política agropecuaria de un país y, en términos más generales, en el desarrollo integral de su política económica.

Para estos propósitos, los estudios de la clasificación taxonómica o técnica contribuyen significativamente a la diferenciación de los suelos. De acuerdo a sus características, el técnico los identifica como "aptos", "moderadamente aptos" o "no aptos", y el usuario común y corriente los utiliza como suelos "buenos", "regulares" o "malos". según sean los propósitos señalados en el estudio.

---

\* Conferencia presentada en el Seminario sobre "Taxonomía de Suelos del USDA", organizado en Bogotá por el Comité Regional de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Agosto 22- 25, Bogotá, D.E.

\*\* Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Especialista en Suelos. Profesor del Programa de Posgrado del Dpto de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional. Apartado Aéreo # 237 Palmira. Valle, Colombia.

En los últimos años, la clasificación de suelos constituye uno de los proyectos prioritarios en muchos países y se ha visto fortalecida por adelantos notables en la ciencia del Suelo. Así, se han desarrollado numerosos sistemas de taxonomía de suelos que aunque difieren en su enfoque, estructura, criterios, parámetros y nomenclatura, pretenden mostrar las características de los suelos y las diferencias en su comportamiento y en su potencial de uso. Entre nosotros y en muchos otros países del Hemisferio Occidental y del mundo, por distintas razones, el " Soil Taxonomy" ( ST ) ( 4 ) es el más utilizado.

#### 1. 1.- Objetivos del artículo.

El presente artículo pretende:

- a) Enumerar el uso exclusivo, uso complementario o nó- uso del ST como sistema taxonómico en distintos países.
- b) Señalar algunos aspectos técnicos en el uso de ST en América Tropical y en el mundo.
- c) Mencionar algunos aspectos " logísticos " relacionados con el uso del ST; y,
- d) Presentar algunas conclusiones relacionadas con la optimización y perspectivas del uso del Soil Taxonomy, particularmente en América Tropical.

#### 1. 2.- Metodología.

En la elaboración de este estudio se utilizó principalmente la información obtenida en dos encuestas: una, realizada por Cline ( 2 ) a nivel mundial, cuyos resultados aparecen en el artículo " Experience with Soil Taxonomy of the United States "; y, otra, realizada por Guerrero ( 3 ), bajo el Proyecto de Clasificación de Suelos auspiciado por AID - Universidad del Puerto Rico

sobre " Use of Soil Taxonomy: Part I - Tropical America; Part II - Tropical Asia, Africa and Oceania ". En ambos casos, se solicitaba información institucional y/o individual sobre aspectos básicos y prácticos del sistema y su aplicabilidad en distintos países. En algunos casos, como en el Ecuador existen sistemas diferentes según el carácter del organismo encargado de la clasificación de suelos en la región. En otros casos, los pedólogos regionales en proyectos específicos adoptaron un sistema siguiendo aquel del país donde hicieron sus estudios de especialización, aun cuando a nivel nacional existe otro sistema. De algunos países, no se obtuvo información individual ni institucional sobre el ST, aunque es " vox populi " que el sistema ha sido total o parcialmente aceptado o rechazado.

Por lo tanto, los comentarios correspondientes que aquí se presentan, en cada caso, más bien reflejan los criterios de los corresponsales que la opinión propia de los autores de la encuesta, salvo cuando se indique lo contrario.

Adicionalmente como marco de referencia, se resumen los antecedentes históricos de la clasificación taxonómica y se incluye información reciente y/o comunicaciones personales sobre la materia. Además, debido a la naturaleza del seminario, el autor de este artículo lo ha orientado más bien hacia la situación prevaleciente en países tropicales y, en particular, en América Tropical, razones por las cuales se omiten información o comentarios más bien pertinentes a países y/o aspectos de la zona templada.

### 1. 3.- Antecedentes históricos en el desarrollo de sistemas Taxonómicos de Suelos.

El desarrollo de sistemas modernos de taxonomía de suelos es el resultado de un proceso evolutivo de revisión de criterios, definiciones y métodos de caracterización del suelo que se ha venido realizando durante miles de años, desde la adopción de distintos sistemas en diferentes países, parece oportuno mencionar aquí algunos de los sistemas más antiguos, que constituyen los antecedentes y los fundamentos de los sistemas modernos y que al mismo ( por razones geo-políticas, por motivos nacionalistas, por problemas de incomunicación o por condiciones naturales peculiares ) explican la presencia tradicional y/o la difusión actual de otros sistemas diferentes del ST en varios países. Para este propósito, se resumen algunos aspectos históricos sobre la materia, tomados de la información presentada por Buol et al. ( 1 ).

#### 1. 2. 1.- Clasificaciones anteriores a Dokuchaev: ( hasta aprox. 1.903 )

Buol et al ( 1 ) mencionan que ya hace alrededor de 4.000 años, el ingeniero chino Yu clasificaba los suelos según su color y su estructura.

También en la época de los griegos y romanos se discutían aspectos teóricos y prácticos de suelos que luego se organizaron gracias al método de razonamiento analítico y deductivo que introdujo Aristóteles y al interés de los humanistas posteriores por los sucesos cotidianos. Así, se llega a las clasificaciones pioneras de mediados y finales del siglo XIX, que consideran la combinación textura - cultivo, la posición fisiográfica, la naturaleza del material parental, su composición química y/u otros factores similares, como elementos importantes en una clasificación técnica.

Este proceso culmina con los trabajos del ruso Dokuchaev, el padre de la pedología, quien estableció que el suelo es un cuerpo natural e independiente cuyas

propiedades se deben al efecto de los cinco factores clásicos de formación y propuso un primer sistema racional de taxonomía de suelos.

### 1. 2. 2.- Clasificaciones posteriores a Dokuchaev ( después de 1.903 )

Los discípulos de Dokuchaev y científicos de suelos en muchos países del mundo continuaron desarrollando y refinando sistemas modernos de taxonomía, algunos de ellos con cierto énfasis en suelos de los trópicos, y que han logrado cierto liderazgo e impacto internacional. Este es el caso, por ejemplo de Rusia, Francia, Bélgica, Portugal, Australia, Brasil y Estados Unidos de Norteamérica, principalmente.

### 1. 2. 3.- Inter-relaciones contemporáneas entre distintos sistemas.

Después de la primera guerra mundial, cuando los medios de comunicación fueron más eficientes y las barreras entre los científicos menos fuertes, se produjo intercambio de conocimientos más amplio y oportuno entre los pedólogos de distintos países, hasta llegar a la época contemporánea.

De hecho, el ST mismo involucra en su estructura, sus criterios y su metodología varios de los elementos que ya habían sido considerados en otros sistemas taxonómicos; y más aún, por ejemplo, en el caso de la nomenclatura, conserva nombres vernáculos que ya han sido usados por muchos años.

En otros casos, los gobiernos nacionales y/o institucionales regionales han adoptado un sistema exclusivo o usan simultáneamente varios sistemas taxonómicos en sus inventarios pedológicos. Ahora, en reuniones internacionales, es frecuente observar cómo científicos de otros países comunican sus puntos de vista a pedólogos del Hemisferio Occidental utilizando la terminología del " Soil Taxonomy " .

Igualmente, la FAO ha desarrollado una leyenda de suelos, con propósitos más bien internacionales, que utiliza definiciones, parámetros y nomenclatura de otros sistemas nacionales actualmente en uso.

De esta manera, cuando se intenta evaluar el uso del Soil Taxonomy a nivel Latinoamericano y mundial y establecer porqué no se usa en varios países, hay que reconocer el hecho de que por razones históricas muy peculiares y muy respetables los pedólogos nacionales tradicionalmente y/o recientemente han usado o adoptaron otros sistemas taxonómicos de suelos.

## 2.- ASPECTOS TECNICOS RELACIONADOS CON EL USO DEL SOIL TAXONOMY.

Tal como se indicó previamente, la selección del sistema nacional adoptado depende en gran parte de aspectos geo-políticos particulares.

Por esta y otras razones, es difícil precisar el uso del ST por países, Sin embargo, para fines prácticos, resumiendo la información obtenida, en este artículo se considera:

### 2. 1.- Nivel de adopción del ST en distintos países tropicales:

#### 2. 1. 1.- Como sistema principal y/o exclusivo.

- |                 |                    |                |                  |
|-----------------|--------------------|----------------|------------------|
| 1.- Argentina   | 2.- Bolivia        | 3.- Colombia   | 4.- Chile        |
| 5.- Costa Rica  | 6.- El Salvador    | 7.- Guayana    | 8.- India        |
| 9.- Irak        | 10.- Nueva Zelanda | 11.- Paquistán | 12.- Puerto Rico |
| 13.- Venezuela. |                    |                |                  |

2. 1. 2.- Como sistema complementario:

- |                |                |                   |                |
|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 1.- Bélgica    | 2.- Bangladesh | 3.- Brasil        | 4.- Canadá     |
| 5.- Ecuador    | 6.- Inglaterra | 7.- Gana          | 8.- Irán       |
| 9.- Irlanda    | 10.- Japón     | 11.- Kenia        | 12.- Nigeria   |
| 13.- Perú      | 14.- Rumania   | 15.- Sierra Leona | 16.- Sri Lanka |
| 17.- Tailandia | 18.- Tanzania  | 19.- Trinidad     |                |

2. 1. 3.- No se usa y/o no hay información.

- |                   |                      |                     |                 |
|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| 1.- Angola        | 2.- Australia        | 3.- China Pop       | 4.- Francia     |
| 5.- Alemania Fed. | 6.- Guatemala        | 7.- Haiti           | 8.- Honduras    |
| 9.- Holanda       | 10.- Hungría         | 11.- Malí           | 12.- Mauritania |
| 13.- Méjico       | 14.- Níger           | 15.- Noruega        | 16.- Panamá     |
| 17.- Paraguay     | 17.- Rep. Dominicana | 18.- Rodesia        | 19.- Senegal    |
| 20.- Suráfrica    | 21.- URSS            | 22.- Volta Superior |                 |

2. 2.- Aspectos relacionados con su estructura.

Algunos pocos autores consideran, en general, inapropiado un sistema jerárquico de suelos, o en particular juzgan al ST más como una clave que una clasificación, o como un intento de maximizar la información sobre suelos. Otros han criticado la complejidad del sistema, su presentación, el número de

taxas y los criterios de las definiciones, por los requisitos que se exigen en su aplicación.

Sin embargo, la mayoría de los encuestados es de opinión que la estructura del sistema en las seis categorías propuestas y las clases establecidas hasta la fecha parecen adecuadas. Algunos enfatizan la naturaleza dinámica del sistema, que permite, la adición de taxas a medida que nuevos datos así lo justifiquen.

### 2. 3.- Aspectos relacionados con sus definiciones.-

La mayoría de los corresponsales concuerda en que las mayores dificultades ocurren en la aplicación correcta de las definiciones del sistema. Así, gran parte de sus comentarios se refieren a:

- .- La dificultad en determinar los regímenes de humedad y/o temperatura del suelo; debido a la insuficiencia de datos en muchas áreas y/o la ausencia de estaciones meteorológicas.
- .- La falta de un orden nuevo para suelos con características de Andepts.
- .- Problemas en la cuantificación de materiales intemperizables para la diferenciación de Inceptisols y Oxisols.
- .- Dificultad en la identificación del horizonte argílico bajo los actuales parámetros de presencia y magnitud de argilans, el aumento en el contenido de arcilla fina o cuando ocurren en suelos tropicales donde predominan arcillas con muy baja actividad; o si están presentes en algunos Vertisols, Andepts y Entisols.
- .- La falta de un sub-orden Aquert para Vertisols con exceso de humedad, y la necesidad de modificar los criterios actuales de los Vertisols en cuanto a color para los grandes grupos y características de las grietas.

- .- La falta de un sub-orden para Mollisols de regímenes semisecos tropicales.
- .- Dudas para identificar las características y el endurecimiento irreversible de la plintita.
- .- Reconsiderar los grandes grupos en los Alfisols, Ultisols y Oxisols.
- .- Problemas para distinguir entre Grandes Grupos de Udults, Ustults y Aquúltts.
- .- Necesidad de nuevos sub-grupos para suelos con propiedades Andic; de subgrupos halic, salic o natric para suelos en distintos ordenes; y, nuevos sub-grupos en los Ustalfs, Ustolls y Oxisols.
- .- Dudas en la identificación de epipedones mollic cuya saturación de bases se origina por el encalado.
- .- Problemas de subjetividad en la determinación de la tixotropía.
- .- Dificultad en la determinación de la familia del suelo.
- .- Necesidad de nuevos métodos de campo que permitan determinaciones preliminares semi-cuantitativas.

Igualmente, los corresponsales informan que, desafortunadamente, ha habido poco uso del ST en la correlación de suelos a nivel nacional y de hecho existe muy poca información sobre la materia; pero, estos aspectos con más amplitud se discuten en otra conferencia del Seminario.

No obstante, la mayoría de los encuestados consideró muy adecuado el uso de las definiciones cuantitativas u operacionales del ST, que eliminan en alto grado la subjetividad y la vaguedad de sistemas anteriores y representan, por

tanto, una notable mejoría en la Taxonomía.

#### 2. 4.- Aspectos relacionados con su nomenclatura.

En términos generales, en países Latinos en cuyos idiomas predominan raíces del latín y del griego y de dialectos afines y donde el francés, el español y el portugués son los idiomas nacionales, existe bastante facilidad en la comprensión y en el aprendizaje de la nomenclatura propuesta por el ST.

Algunos corresponsales han cuestionado el uso de un mismo elemento formativo con diferente significado en distintos niveles del ST, argumentando que esto representa una inconsistencia.

En opinión del autor, es desafortunado e inconveniente la costumbre que se ha popularizado en años recientes de tratar de "españolizar", la nomenclatura original ( por ejemplo, "ácuic" en vez de "aquic" ) puesto que esto implica una desfiguración del espíritu universal del sistema y ocasiona inconsistencia y problemas en la escritura del mismo.

#### 3.- ASPECTOS LOGISTICOS RELACIONADOS CON LA APLICACION Y DIFUSION DEL SOIL TAXONOMY.

Indudablemente, la utilización eficiente del ST especialmente fuera de los Estados Unidos de Norte América depende en gran parte de la presencia de factores positivos o negativos que faciliten o limiten su aplicación.

Como es natural, esto está relacionado directamente con la solidez de las instituciones dedicadas a estudios de suelos, su presupuesto, el personal técnico, la enseñanza y la divulgación del sistema en cada país.

A continuación se mencionan, brevemente las opiniones de algunos corresponsales sobre estos aspectos.

### 3. 1.- Desconocimiento del sistema.

#### 3. 1. 1.- Enseñanza del Soil Taxonomy:

El énfasis exagerado que se ha puesto en el reconocimiento de suelos en unidades taxonómicas y cartográficas inferiores, para usos prácticos y/o inmediatos, ha restado importancia de la taxonomía en categorías superiores. Existen serias deficiencias en la enseñanza del sistema, debido entre otras razones a su poco dominio por los pedólogos nacionales, aprendizaje de otros sistemas en universidades extranjeras, ofrecimiento limitado de cursos electivos de taxonomía en pre-grado y posgrado, carencia de elementos docentes y prejuicios acerca de la utilidad de la taxonomía en niveles superiores.

#### 3. 1. 2.- Divulgación del sistema.

En los últimos años, ha habido mayor divulgación del sistema a nivel nacional e individual, gracias al apostolado permanente de sociedades de suelos y pedólogos nativos, a través de reuniones institucionales y publicaciones especializadas. Sin embargo, aún subsisten algunos factores que limitan seriamente la difusión del Soil Taxonomy entre los usuarios.

Entre ellos, se podrían mencionar: poco dominio del idioma Inglés por la mayoría de los usuarios, la falta de traducciones en idiomas nacionales, el poco acceso a literatura internacional sobre la materia, la insuficiencia en el número de ejemplares del libro-clave por problemas de cambio de moneda (y algunos hasta mencionan la dificultad en el manejo de campo de un libro tan voluminoso como la edición original).

Además, se podría agregar el poco conocimiento del ST por altos directivos de organismos técnicos, la falta de contacto con otros comités internacionales

coordinadores de la taxonomía y la poca oportunidad de participación de los pedólogos en reuniones internacionales o aun nacionales.

### 3. 1. 3.- Dificultades institucionales.

Como es natural y tal como se dijo antes, la aplicación de un sistema como el ST presupone la disponibilidad de ciertas facilidades. Según los mismos cuestionados, algunos países no estaban preparados logísticamente para utilizar correctamente el ST.

Según otros, la aplicación del ST trajo como consecuencia la re - estructura - ción del Programa nacional y, como consecuencia, la mejora en las facilidades necesarias. Sin embargo, en muchos países, la carencia de presupuesto personal, elementos, equipo y facilidades limita en alto grado la aplicabilidad del sistema. Algunos de esos problemas son: difícil acceso a áreas poco desarrolladas, cartografía deficiente, insuficientes medios de transporte, deficiencias en equipo y materiales de laboratorio ( en algunos, por ejemplo, el potenciómetro ha estado mucho tiempo fuera de servicio por falta de elementos y muchos laboratorios carecen de aparato de rayos X para difracción de arcillas ); falta de personal profesional y auxiliar, uso de métodos inapropiados de caracterización, pocas facilidades para aplicar los trabajos realizados y otros problemas menores propios de países en desarrollo.

### 4.- CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a través de encuestas realizados por Cline ( 2 ) y el autor ( 3 ), y otras informaciones recientes personales sobre el uso del Soil Taxonomy en países tropicales, permiten establecer algunas conclusiones sobre la adopción, el uso y la aplicabilidad del Soil Taxonomy en America Tró-

pical y en otros países tropicales, tal como se resume a continuación:

.- El desarrollo de sistemas modernos de taxonomía de suelos está basado en trabajos pioneros realizados desde hace miles años y, fundamentalmente, en los conceptos establecidos por Dokuchaev a fines del siglo pasado.

.- Tradicionalmente, por razones nacionalistas, geo-políticas o circunstanciales, cada país ha venido adoptando uno o varios sistemas taxonómicos para la clasificación de sus suelos. Sin embargo, en la actualidad, debido al adelanto en las comunicaciones, existen inter-acciones significativas entre los distintos sistemas. Así, por ejemplo, el Soil Taxonomy involucra elementos de otros sistemas y éstos, a su vez, usan elementos del Soil Taxonomy. Obviamente, en la práctica es difícil ( e inútil ? ) trazar límites claros en este aspecto.

.- En general, la mayoría de los pedólogos encuestados considera bastante adecuados, específicos y aplicables gran parte de los aspectos técnicos del ST relacionados con su estructura, sus definiciones y su nomenclatura. En opinión de ellos, dos de sus más valiosas innovaciones, son: la definición de los horizontes diagnósticos y el uso de parámetros. Sin embargo, en distintas porciones específicas del ST los pedólogos de países tropicales han propuesto adicionales y/o modificaciones que permitan o mejoren su aplicación en sus propios países.

.- Los cambios técnicos propuestos se refieren, en su gran mayoría, a redifinición y adiciones de nuevas clases y modificación de algunas definiciones operacionales e implican, como es natural, investigación de nuevos métodos de caracterización. No obstante que el sistema es dinámico se prevee que la introducción de tales cambios exigiría rigurosa justificación anticipada de su necesidad y evolución de su impacto sobre otras partes del sistema.

.- Aparentemente, existe una marcada inclinación en los pedólogos de asociar con connotaciones <sup>geo</sup>gráficas suelos de los Aridisols, Oxisols, Ullisols, Mollisols y, Spodosols, mientras que esta tendencia es menos generalizada en el caso de los Entisols, Inceptisols, Vertisols e Histosols.( 2 ).

.- De esta manera, cuando se preparan mapas de suelos con escalas pequeñas, se pierde mucha información geográfica, aumenta la heterogeneidad de los suelos y disminuye la precisión del mapeo. Mapas de este tipo son típicamente mezclas geográficas de órdenes de suelos contrastantes y, así, no se puede esperar aplicación correcta de la taxonomía. Como consecuencia, el mapa pierde su valor interpretativo potencial y no se pueden hacer interpretaciones confiables para fincas pequeñas ( 2 ).

.- Tal como lo afirma Cline ( 2 ) la utilización del ST implica y exige un cambio en la filosofía, metodología y actitud, tanto en los cuadros directivos como en el personal técnico, en relación al uso de sistemas tradicionales más bien cualitativos y que exigen poco razonamiento en su aplicación. De hecho, el uso del ST ha ocasionado mejoras en la precisión y en el detalle de la descripción de perfiles de suelos y aumento en la clase, número y calidad de las determinaciones de laboratorio.

.- Probablemente, las dificultades en la aplicación del ST en países en desarrollo se deben más bien a problemas y limitaciones propias de cada país más que a defectos o deficiencias del sistema en sí.

.- Según Cline ( 2 ), aparentemente, el problema de determinaciones de laboratorio se ha agravado porque, equivocadamente, se ha considerado necesario, en todos los casos - análisis sofisticados y/o exhaustivos de todas las propiedades para caracterizar adecuadamente todos los pedones, en vez de limitarse a obtener estimados o aproximaciones razonables de los criterios principales.

.- Se ha progresado en los ajustes de los límites y de la pureza de las unidades del reconocimiento de suelos, pero se ha adelantado poco en la correlación con las unidades taxonómicas del ST. Igualmente ya se han propuesto algunas guías interpretativas preliminares sobre el significado e implicación de unidades taxonómicas del ST para fines prácticos, como por ejemplo: en la preparación de los mapas climáticos con base en los sub-órdenes, o la transferencia de tecnología agrícola con base en las familias de suelos ( tal como se muestra en otro artículo de este seminario ).

.- La mayoría de los corresponsales reconoce que existen fallas notorias tanto en la enseñanza como en la divulgación del ST, así como graves problemas logísticos, todos los cuales dificultan y limitan seriamente la aplicación oportuna y correcta del sistema en países en desarrollo, donde los recursos disponibles son insuficientes.

.- Se requiere mayor intercambio de comunicación entre los organismos nacionales y los comités internacionales de suelos (International committee = ICO, que están trabajando sobre

mejoras en la taxonomía, tales como : ICOMMORT ( sobre regímenes de humedad ), ICOMAND ( Andisols ), ICOMOX ( Oxisols ), ICOMLAC ( Alfisols y Ultisols , con arcillas de baja actividad, ICOMERT ( Vertisols), ICOMERT ( Vertisols ), ICOMID ( Aridisols ) e ICOMAQ ( suelos bajo inundación ).-

En resumen, en opinión de Cline ( 2 ), el impacto del ST sobre la clasificación de suelos a nivel mundial ha sido mayor que cualquier otro evento durante los últimos 50 años, tanto por su adopción misma en muchos países como por su contribución al desarrollo de principios, conceptos y metodología que se han incorporado en mayor o menor grado en los sistemas nacionales de suelos de muchos países y particularmente bajo un enfoque cuantitativo de la clasificación.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1.- Buol, S. W., F. D. Hole and R. J. Mc Gracken. 1980 Soil genesis and classification. The Iowa state University Press, Ames. 2nd edition.
- 2.- Cline, M. G. 1981. Experience with Soil Taxonomy of the United States. Reprinted from " Advances en Agronomy, Vd. 33. 1980. for distribution by Soil Management Support Services. USDA- Soil conservation. Services. Washington.
- 3.- Guerrero, Muñoz, R. 1979 ( unpublished ). Use of " Soil Taxonomy" Part I: Tropical America. Part II : Tropical Africa, Asia and Oceania. Project of Classification of Tropical Soils; AID - University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico.
- 4.- Soil Survey Staff. 1975. " Soil Taxonomy - A Basic System for Making and Interpreting Soil Surveys. " Agric. Handb. N°. 436- U. S. Govt. Printing office. Washington D. C.

La Estación Experimental CIAT-Quilichao está situada a 40 kilómetros al sur de Cali, en una localización geográfica de 3°06'N y 76°31'O, aproximadamente a 8 kilómetros al norte de la población de Quilichao, Departamento del Cauca, Colombia. Está ubicada en la zona alta del Valle del Cauca, en una comarca de tierras onduladas, a 990 metros de altura sobre el nivel del mar.

La precipitación promedio anual es de 1800 milímetros, con dos estaciones lluviosas generalmente bien definidas, de marzo a junio y de septiembre a diciembre (ver gráfica con datos pluviométricos). La temperatura promedio es de 23°C.

Los suelos de la región son profundos, muy ácidos, de baja fertilidad natural, con buen contenido de materia orgánica, y excelentes propiedades físicas. Están clasificados como Ultisoles y poseen propiedades similares a grandes extensiones de suelos ácidos de América Latina.

El establecimiento de esta nueva subsele del CIAT se hizo gracias a la generosa colaboración de la Fundación para la Educación Superior (FES), de Colombia, la cual adquirió los terrenos y los cedió al CIAT en abril de 1977. Los trabajos experimentales se iniciaron al siguiente mes. Con un área total de 184 hectáreas, los investigadores del CIAT tienen ahora la oportunidad de observar, evaluar y multiplicar diferentes especies de plantas forrajeras, yuca y otros cultivos, en suelos ácidos, de baja fertilidad natural, en un lugar próximo a la sede del CIAT en Palmira también a la ciudad de Cali.

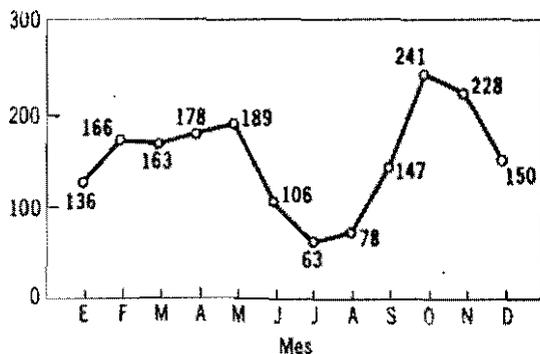
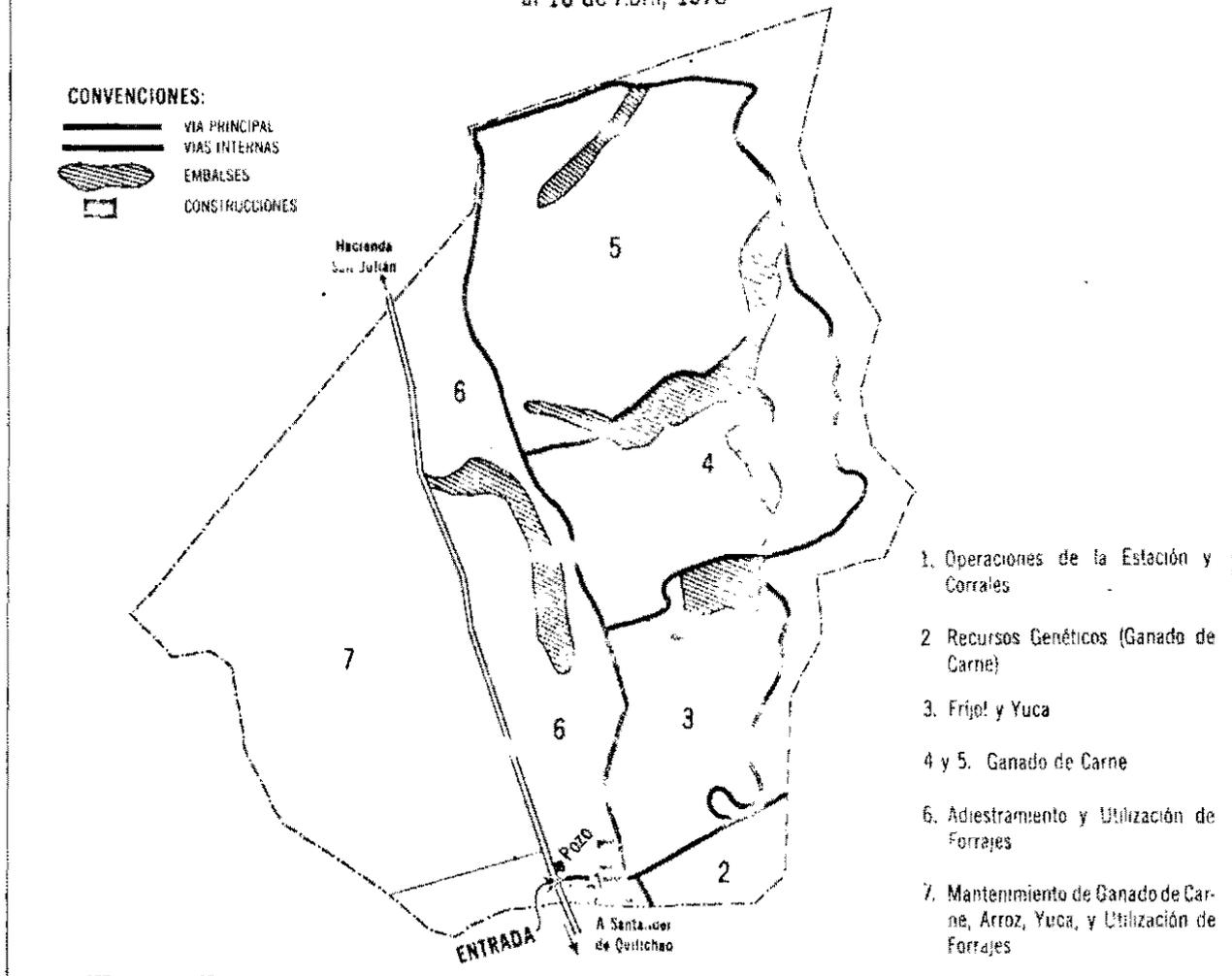


Gráfico de líneas que muestra la precipitación mensual en milímetros para la subestación CIAT-Quilichao, registrado por meses.

## ASIGNACION DE LOTES EN LA ESTACION CIAT - QUILICHAO

al 10 de Abril, 1978



## CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DEL CIAT/QUILICHAO

Perfil F3 (Parte plana) - Ultisol: Palehumult ortóxico, arcilloso, caolinitico, isohipertérmico.

Horizonte (cm)	Arcilla %	Arena %	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. %	Cationes Intercambiables (meq/100 gr)					% Sat. de Al	P Disp. Bray II (ppm)
					Al	Ca	Mg	K	C.I.C.		
0-20	71	4,3	4,1	7,1	2,70	0,65	0,49	0,36	4,21	64	1,8
20-35	77	4,9	4,0	4,0	2,70	0,31	0,04	0,13	3,25	83	1,1
35-62	84	2,3	4,3	1,9	3,20	0,24	0,02	0,09	3,65	88	0,9
62-91	88	1,9	4,4	0,7	1,10	0,15	0,02	0,06	1,43	77	0,9
91-105	89	1,8	4,4	0,5	2,00	0,22	0,01	0,04	2,34	85	1,2

Para dos

Tabla A.2. Distribución de t.

Grados de libertad	Probabilidad de obtener un valor tan grande o mayor.			
	0.100	0.050	0.010	0.001
1	6.314	12.706	63.657	
2	2.920	4.303	9.925	31.598
3	2.353	3.182	5.841	12.941
4	2.132	2.776	4.604	8.610
5	2.015	2.571	4.032	6.859
Ej 4 - 6	1.943	<u>2.447</u>	3.707	5.959
7	1.895	2.365	3.499	5.405
8	1.860	<u>2.306</u>	3.355	5.041
9	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.228	<u>3.169</u>	4.587
11	1.796	2.201	3.106	4.437
12	1.782	2.179	3.055	4.318
13	1.771	2.160	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.947	4.073
16	1.746	2.120	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.845	3.850
21	1.721	2.080	2.831	3.819
22	1.717	2.074	2.819	3.792
23	1.714	2.069	2.807	3.767
24	1.711	2.064	2.797	3.745
25	1.708	2.060	2.787	3.725
26	1.706	2.056	2.779	3.707
27	1.703	2.052	2.771	3.690
28	1.701	2.048	2.763	3.674
29	1.699	2.045	2.756	3.659
30	1.697	2.042	2.750	3.646
35	1.690	2.030	2.724	3.591
40	1.684	2.021	2.704	3.551
45	1.680	2.014	2.690	3.520
50	1.676	2.008	2.678	3.496
55	1.673	2.004	2.669	3.476
60	1.671	2.000	2.660	3.460
70	1.667	1.994	2.648	3.435
80	1.665	1.989	2.638	3.416
90	1.662	1.986	2.631	3.402
100	1.661	1.982	2.625	3.390
120	1.658	1.980	2.617	3.373
∞	1.6448	1.9600	2.5758	3.2905

Partes de esta tabla fueron tomadas de la obra de Fisher y Yates: *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, publicada por Oliver and Boyd Limited, Edimburgo (1948), y parte de la obra de Bernard Ostle, *Statistics in Research*, Iowa State University Press (1954), con autorización de los autores y editores.

Tabla A.3. Puntos de 10%, 5% y 1% para la distribución F ( $\alpha$ )

Grados de libertad para el denominador (error)	P	Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20
1	.10	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.89	60.20		60.70		61.22		61.74
	.05	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245		246	248
	.01	4,052	4,999	5,403	5,625	5,764	5,859	5,928	5,981	6,022	6,056	6,082	6,106	6,142		6,169	6,208
2	.10	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39		9.41		9.42		9.44
	.05	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.40	19.41	19.42		19.43	19.44
	.01	98.49	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.34	99.36	99.38	99.40	99.41	99.42	99.43		99.44	99.45
3	.10	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23		5.22		5.20		5.18
	.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.76	8.74	8.71		8.69	8.66
	.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92		26.83	26.69
4	.10	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92		3.90		3.87		3.84
	.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.93	5.91	5.87		5.84	5.80
	.01	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.54	14.45	14.37	14.24		14.15	14.02
5	.10	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30		3.27		3.24		3.21
	.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64		4.60	4.56
	.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.45	10.27	10.15	10.05	9.96	9.89	9.77		9.68	9.55
6	.10	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94		2.90		2.87		2.84
	.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96		3.92	3.87
	.01	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60		7.52	7.39
7	.10	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70		2.67		2.63		2.59
	.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52		3.49	3.44
	.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.35		6.27	6.15
8	.10	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54		2.50		2.46		2.42
	.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.34	3.31	3.28	3.23		3.20	3.15
	.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.19	6.03	5.91	5.82	5.74	5.67	5.56		5.48	5.36
9	.10	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42		2.38		2.34		2.30
	.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.10	3.07	3.02		2.98	2.93
	.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00		4.92	4.80

238 **Tabla A.3. Puntos de 10%, 5% y 1% para la distribución F (continuación).**

Grados de libertad para el denominador p		Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20
10	.10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32		2.28		2.24		2.20
	.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.91	2.86		2.82	2.77
	.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.60		4.52	4.41
11	.10	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25		2.21		2.17		2.12
	.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.86	2.82	2.79	2.74		2.70	2.65
	.01	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.88	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29		4.21	4.10
12	.10	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19		2.15		2.10		2.06
	.05	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64		2.60	2.54
	.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05		3.98	3.86
13	.10	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14		2.10		2.05		2.01
	.05	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.55		2.51	2.46
	.01	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85		3.78	3.67
14	.10	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10		2.05		2.01		1.96
	.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.77	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.48		2.44	2.39
	.01	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70		3.62	3.51
15	.10	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06		2.02		1.97		1.92
	.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43		2.39	2.33
	.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56		3.48	3.36
16	.10	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03		1.99		1.94		1.89
	.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37		2.33	2.28
	.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45		3.37	3.25
17	.10	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00		1.96		1.91		1.86
	.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.50	2.45	2.41	2.38	2.33		2.29	2.23
	.01	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.45	3.35		3.27	3.16
18	.10	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98		1.93		1.89		1.84
	.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29		2.25	2.19
	.01	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27		3.19	3.07

19	.10	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81		
	.05	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.55	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.15
	.01	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00
20	.10	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79		
	.05	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.52	2.45	2.40	2.35	2.31	2.28	2.23	2.18	2.12
	.01	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.71	3.56	3.45	3.37	3.30	3.23	3.13	3.05	2.94
21	.10	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.88	1.83	1.78		
	.05	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.15	2.09
	.01	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.65	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88
22	.10	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76		
	.05	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.47	2.40	2.35	2.30	2.26	2.23	2.18	2.13	2.07
	.01	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83
23	.10	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74		
	.05	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.24	2.20	2.14	2.10	2.04
	.01	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78
24	.10	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73		
	.05	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.43	2.36	2.30	2.26	2.22	2.18	2.13	2.09	2.02
	.01	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.25	3.17	3.09	3.03	2.93	2.85	2.74
25	.10	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72		
	.05	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.06	2.00
	.01	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.21	3.13	3.05	2.99	2.89	2.81	2.70
26	.10	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71		
	.05	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.10	2.05	1.99
	.01	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.17	3.09	3.02	2.96	2.86	2.77	2.66
27	.10	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70		
	.05	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.30	2.25	2.20	2.16	2.13	2.08	2.03	1.97
	.01	7.68	5.49	4.60	4.11	3.79	3.56	3.39	3.26	3.14	3.06	2.98	2.93	2.83	2.74	2.63
28	.10	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69		
	.05	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.06	2.02	1.96
	.01	7.64	5.45	4.57	4.07	3.76	3.53	3.36	3.23	3.11	3.03	2.95	2.90	2.80	2.71	2.60
29	.10	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68		
	.05	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.00	1.94
	.01	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.08	3.00	2.92	2.87	2.77	2.68	2.57

Tabla A.3. Puntos de 10%, 5% y 1% para la distribución F (continuación)

Grados de libertad para el denominador	P	Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20
30	.10	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82		1.77		1.72		1.67
	.05	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.34	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.04		1.99	1.93
	.01	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.06	2.98	2.90	2.84	2.74		2.66	2.55
32	.05	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.32	2.25	2.19	2.14	2.10	2.07	2.02		1.97	1.91
	.01	7.50	5.34	4.46	3.97	3.66	3.42	3.25	3.12	3.01	2.94	2.86	2.80	2.70		2.62	2.51
34	.05	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.30	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.00		1.95	1.89
	.01	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.38	3.21	3.08	2.97	2.89	2.82	2.76	2.66		2.58	2.47
36	.05	4.11	3.26	2.86	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.98		1.93	1.87
	.01	7.39	5.25	4.38	3.89	3.58	3.35	3.18	3.04	2.94	2.86	2.78	2.72	2.62		2.54	2.43
38	.05	4.10	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.96		1.92	1.85
	.01	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.02	2.91	2.82	2.75	2.69	2.59		2.51	2.40
40	.10	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76		1.71		1.66		1.61
	.05	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.95		1.90	1.84
	.01	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.88	2.80	2.73	2.66	2.56		2.49	2.37
42	.05	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.02	1.99	1.94		1.89	1.82
	.01	7.27	5.15	4.29	3.80	3.49	3.26	3.10	2.96	2.86	2.77	2.70	2.64	2.54		2.46	2.35
44	.05	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92		1.88	1.81
	.01	7.24	5.12	4.26	3.78	3.46	3.24	3.07	2.94	2.84	2.75	2.68	2.62	2.52		2.44	2.32
46	.05	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.14	2.09	2.04	2.00	1.97	1.91		1.87	1.80
	.01	7.21	5.10	4.24	3.76	3.44	3.22	3.05	2.92	2.82	2.73	2.66	2.60	2.50		2.42	2.30
48	.05	4.04	3.19	2.80	2.56	2.41	2.30	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.90		1.86	1.79
	.01	7.19	5.08	4.22	3.74	3.42	3.20	3.04	2.90	2.80	2.71	2.64	2.58	2.48		2.40	2.28
50	.05	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90		1.85	1.78
	.01	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.18	3.02	2.88	2.78	2.70	2.62	2.56	2.46		2.39	2.26
55	.05	4.02	3.17	2.78	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.97	1.93	1.88		1.83	1.76
	.01	7.12	5.01	4.16	3.68	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.66	2.59	2.53	2.43		2.35	2.23

60	.10	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71		1.66		1.60		1.54	
	.05	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86			1.81	1.75
	.01	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.56	2.50	2.40			2.32	2.20
65	.05	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85			1.80	1.73
	.01	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.79	2.70	2.61	2.54	2.47	2.37			2.30	2.18
70	.05	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.84			1.79	1.72
	.01	7.01	4.92	4.08	3.60	3.29	3.07	2.91	2.77	2.67	2.59	2.51	2.45	2.35			2.28	2.15
80	.05	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.88	1.82			1.77	1.70
	.01	6.96	4.88	4.04	3.56	3.25	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55	2.48	2.41	2.32			2.24	2.11
100	.05	3.94	3.09	2.70	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.79			1.75	1.68
	.01	6.90	4.82	3.98	3.51	3.20	2.99	2.82	2.69	2.59	2.51	2.43	2.36	2.26			2.19	2.06
120	.10	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65		1.60		1.54		1.48	
125	.05	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77			1.72	1.65
	.01	6.84	4.78	3.94	3.47	3.17	2.95	2.79	2.65	2.56	2.47	2.40	2.33	2.23			2.15	2.03
150	.05	3.91	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76			1.71	1.64
	.01	6.81	4.75	3.91	3.44	3.14	2.92	2.76	2.62	2.53	2.44	2.37	2.30	2.20			2.12	2.00
200	.05	3.89	3.04	2.65	2.41	2.26	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83	1.80	1.74			1.69	1.62
	.01	6.76	4.71	3.88	3.41	3.11	2.90	2.73	2.60	2.50	2.41	2.34	2.28	2.17			2.09	1.97
400	.05	3.86	3.02	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72			1.67	1.60
	.01	6.70	4.66	3.83	3.36	3.06	2.85	2.69	2.55	2.46	2.37	2.29	2.23	2.12			2.04	1.92
1000	.05	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.10	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.70			1.65	1.58
	.01	6.66	4.62	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34	2.26	2.20	2.09			2.01	1.89
∞	.10	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60		1.55		1.49		1.42	
	.05	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.69			1.64	1.57
	.01	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.24	2.18	2.07			1.99	1.87

Los valores para las probabilidades de 5% y 1% se han copiado de la obra de Snedecor, *Statistical Methods*, y los valores para una probabilidad de 10% se han tomado de la obra *Tables of Percentage Points of the Inverted Beta (F) Distribution*, de Maxine Merrington y Catherine M. Thompson, *Biometrika*, 33:73, 1943, con autorización de los autores y editores.

Tabla A.4. Valores studentizados significativos (R) para multiplicar por DSM, para las medias en varios rangos (p), nivel del 5%; n = grados de libertad para el "error".

n:	p:															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	50	100
4	1.00	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
5	1.00	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
6	1.00	1.03	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
7	1.00	1.04	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
8	1.00	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
9	1.00	1.04	1.07	1.08	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.00	1.05	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
11	1.00	1.05	1.08	1.09	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12
12	1.00	1.05	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13
13	1.00	1.05	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
14	1.00	1.05	1.08	1.10	1.11	1.12	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15
15	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
16	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
17	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
18	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.17	1.17	1.17	1.17
19	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
20	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18
22	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
24	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.19	1.19	1.19
26	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.15	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
28	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.14	1.15	1.16	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20	1.20
30	1.00	1.05	1.08	1.11	1.12	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20	1.20	1.20
40	1.00	1.05	1.08	1.11	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.19	1.20	1.20	1.21	1.21	1.21	1.21
60	1.00	1.05	1.09	1.11	1.13	1.14	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.23	1.23
100	1.00	1.05	1.09	1.11	1.14	1.15	1.16	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.26	1.26
-	1.00	1.05	1.09	1.12	1.14	1.15	1.17	1.18	1.19	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.30	1.32

## TAXONOMIA DE SUELOS

<u>ORDEN</u>	<u>PALABRA CONNOTANTE</u>	<u>ASPECTOS PRINCIPALES</u>
<u>Alfisol</u>	Pedalfer, Al, Fe	Acumulación lixivial de arcilla alta saturación de bases
<u>Aridisol</u>	árido	Horizontes desarrollados, seco
<u>Entisol</u>	reciente	Falta de características diagnósticas
<u>Espodosol</u>	Podzol	Acumulación lixivial de M.O., Al, Fe
<u>Histosol</u>	histología	Suelos orgánicos
<u>Inceptisol</u>	incipiente, inceptor	Horizontes que forman fácilmente
<u>Molisol</u>	molicie	Horizonte superior oscuro por M.O., alta saturación de bases
<u>Oxisol</u>	óxidos	Acumulación residual de restos de meteorización
<u>Ultisol</u>	último	Acumulación lixivial de arcilla, baja saturación de bases
<u>Vertisol</u>	invertir	Arcilla, grietas, revolvimiento

## TEMPERATURA DEL SUELO

(iso) frígido <8°

(iso) mésico 8-15°

(iso) térmico 15-22°

(iso) hipertérmico >22°

# TAXONOMIA DE SUELOS

## RELACIONES SIMPLIFICADAS DE LOS ORDENES

### POR LO GENERAL

	SUELO HUMEDO	SUELO SECO
Materiales orgánicos dominante	Histosoles	no suelos conocidos
Sin características diagnósticas	✓ Entisoles	
Arcilla, grietas, revolvimiento	✓ Vertisoles	
Horizonte espódico (complejos de M.O., Al, Fe)	Esodosoles	no suelos conocidos
Diferenciación de horizontes, horizonte cámbico el más común	Inceptisoles	Aridisoles
Epipedón mólico (M.O., colores oscuros, alto nivel de bases)	Mólisoles	
Horizonte argílico (lixiviación de arcilla)	Alfisolos (alto nivel de bases) Ultisoles (bajo nivel de bases)	Aridisoles
Horizonte óxico (minerales bien meteorizados)	✓ Oxisoles	

Table 14.9 Nature of differentiating characteristics of the categories of the United States Comprehensive Soil Classification System

Category	Number of Taxa	Nature of Differentiating Characteristics
Order	10	Soil-forming processes as indicated by presence or absence of major diagnostic horizons.
Suborder	47	Genetic homogeneity. Subdivision of orders according to presence or absence of properties associated with wetness, soil moisture regimes, major parent material, and vegetational effects as indicated by key properties; organic fiber decomposition stage in Histosols.
Great Group	206 (approximate)	Subdivision of suborders according to similar kind, arrangement and degree of expression of horizons, with emphasis on upper sequum; base status; soil temperature and moisture regimes; presence or absence of diagnostic layers (plinthite, fragipan, duripan).
Subgroup		Central concept taxa for great group and properties indicating intergradations to other great groups, suborders, and orders; extragradation to "not soil".
Family		Properties important for plant root growth; broad soil textural classes averaged over control section or solum; mineralogical classes for dominant mineralogy of solum; soil temperature class (based on mean annual soil temperature at 50 cm (20 in.) depth)
Series	10,000 (approximate) in United States	Kind and arrangement of horizons; color, texture, structure, consistence, and reaction of horizons; chemical and mineralogical properties of the horizons.

Table 14.10 Soil order names and their formative elements

Order	Formative	Derivation	Mnemonic
Vertisol	ert	L.- <i>verto</i> , turn	invert
Entisol	ent	(nonsense syllable)	recent
Inceptisol	ept	L.- <i>inceptum</i> , beginning	inception
Aridisol	id	L.- <i>aridus</i> , dry	arid
Spodosol	od	Gr.- <i>spodos</i> , wood ashes	Podzol, odd
Ultisol	ult	L.- <i>ultimus</i> , last	ultimate
Mollisol	oll	L.- <i>mollis</i> , soft	mollify
Alfisol	alf	(nonsense syllable)	Pedaalfer
Oxisol	ox	Fr.- <i>oxide</i> , oxide	oxide
Histosol	ist	Gr.- <i>histos</i> , tissue	histology

*Handwritten notes:*  
 invert: *invertir*  
 recent: *reciente*  
 inception: *principio, comienzo*  
 arid: *seco*  
 Podzol, odd: *Ceniza de madera*  
 ultimate: *ultimo*  
 mollify: *suave*  
 oxide: *óxido*  
 histology: *tejido*

Source: Soil Survey Staff 1960.

Table 14.14 Soil orders of United States Comprehensive System in relation to great groups of 1938 classification.

Order	1938 Great Groups Included
Entisols	Azonal soils, some Low Humic Gley
Vertisols	Grumusols
Inceptisols	Ando, Sol Brun Acide, some Brown Forest, Low Humic Gley, Humic Gley
Aridisols	Desert, Reddish Desert, Serozem, Solonchak, some Brown and Reddish Brown soils, associated Solonetz
Mollisols	Chestnut, Chernozem, Brunizem, Rendzina, some Brown, Brown Forest, associated Humic Gley, and Solonetz
Spodosols	Podzols, Brown Podzolic, Groundwater Podzols
Alfisols	Gray-Brown Podzolic, Gray Wooded, Noncalcic Brown, Degraded Chernozem, associated Planosols and Half-Bogs.
Ultisols	Red-Yellow Podzolic, Reddish-Brown Lateritic, associated Planosols, and some Half-Bogs
Oxisols	Laterite soils, Latosols
Histosols	Bog soils

Correlación de la Taxonomía Americana de Suelos con los sistemas de clasificación de suelos del Brasil, Francia y Fao

Taxonomía Americana de Suelos	Sistema Brasileiro	Sistema Francés	Sistema FAO
<u>Oxisols</u>	Latosols (soils with latosolic B horizon with 6.5 meq/100 g of CEC of clay)	Soil ferralitiques fortement desatures, typiques ou humifères	Ferrasols
Ustox or Orthox	Latosol Vermelho Escuro (Dark Red Latosol)	Sols ferralitiques fortement desatures typiques ou humifères	Orthic or Acric Ferralsols
Ustox or Orthox	Latosol Vermelho Amarelo (Red-Yellow Latosol)	Sols ferralitiques fortement desatures typiques ou humiferes	Orthic or Acric Ferralsols
Ustox or Orthox	Latosol Amarelo (Yellow Latosol)	Sols ferralitiques fortement desatures typiques ou humiferes	Xanthic Ferralsols
Eustrustox or Eutrorthox	Latosol Roxo or Terra Roxa Legítima (Dusky Red Latosol)	Sols ferralitiques fortement desatures typiques ou humiferes derivados de basalte	Rhodic Ferralsols
<u>Ultisols</u>	Podzólico Vermelho Amarelo (Red-Yellow Podzolic)	Sols ferralitiques moyennement désaturés eluvies	Acrisols Dystric Nitosols
Alfisols	Podzólico Vermelho Amarelo equivalente eutrófico (Eutrophic Red-Yellow Podzolic)	Sols ferrugineux tropicaux lessivés	Luvisols Eutric Nitosols
Alfisol	Terra Roxa Estruturada	Sols ferrugineux tropicaux lessivés	Luvisols Eutric Nitosols
Psamments	Red and Yellow Sands	Sols ferralitiques moyennement ou fortement desaturés de texture sableuse	Ferralic Arenosols
Spodosols	Podzols	Podzols	Podzols
<u>Vertisols</u>	Grumusols	Vertisols	Vertisols
Inceptisols	Soils with incipient B horizon	(Several)	Cambisols
Aridisols	Soils with natric B horizon	Sols halomorphes	Solonchaks
Entisols	Regosols	Regosols	Regosols
Various	Soils with hardpan	Planosols	Planosols
Various	Other hydromorphic soils	Sols hydromorphes	Gleysols

Source: Adapted from Van Wambeke (1971), Beinroth (1975), Costa de Lemos (1968), Aubert (1968), and M.N. Camargo (personal communication)

ACTIVIDAD EDAFICA DE LAS LOMBRICES DE TIERRA\*

Soto Rojas Luis Hernando\*\*

Conferencia presentada al Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT

Cali. Febrero de 1987

---

\* El presente artículo está basado, parte de la revisión bibliográfica de la Tesis de Biólogo: "Contenido proteínico de la lombriz de tierra Andiodrilus bogotaensis (Michaelson, 1900) criada en cautiverio", presentada a la Universidad Nacional de Colombia.

\*\* Biólogo egresado de la Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá, Colombia.

## Contenido

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1
El suelo y sus organismos	1
Lombrices de tierra	2
Aspectos biológicos	2
Clasificación ecológica	3
ACTIVIDAD EDAFICA DE LAS LOMBRICES DE TIERRA	3
Efectos físicos	4
Efectos químicos	5
Efectos biológicos	7
Efectos pedogenéticos	8
FIGURAS	
1. Interrelaciones de las características físicas del suelo influenciadas por la actividad de las lombrices de tierra	6
2. Interrelaciones entre la actividad de las lombrices de tierra las propiedades del suelo y el crecimiento vegetal.	9
3. Desarrollo del horizonte A1 formado por la actividad de las lombrices	11
TABLAS	
1. Comparación de algunos elementos, entre deyecciones de lombrices y suelo alledaño	7
2. Número de actinomicetes y bacterias en el intestino de <u>L. terrestris</u>	8
BIBLIOGRAFIA	12

## INTRODUCCION

La pedología es la rama de la ciencia del suelo que estudia la formación del mismo, además de su clasificación y el origen de sus características (Hardy, 1970); esta rama de la ciencia edáfica considera que todos los suelos provienen directa o indirectamente de rocas intemperizadas, por la acción de fuerzas químicas, físicas y biológicas (Boul, 1983).

El Sistema Taxonómico Americano, en su Séptima Aproximación, define al suelo como "una colección de cuerpos naturales organizados sobre la superficie de la tierra, que contiene materia viviente y soportan o son capaces de soportar plantas". El suelo es además el resultado de la suma total de interacciones entre sus agentes formadores: clima local, vegetación y organismos, relieve, edad del terreno y los materiales parentales (Volubuev, 1964).

Lo anterior significa que para que un material pueda llamarse suelo debe contener organismos vivos, representados en Flora y Fauna edáfica. El conocimiento integral del recurso suelo, exige por consiguiente estudios encaminados a la comprensión de los organismos como factores activos de formación y transformación del suelo.

La fauna edáfica ejecuta cambios de importancia fundamental en la génesis, la morfología y las propiedades fisico-químicas del suelo. Las modificaciones de los materiales del suelo por los animales comprenden alteraciones de la superficie del suelo, formación de túneles y su relleno parcial, elaboración de estructuras diferentes, concentración de materiales minerales y orgánicos a diferentes profundidades del perfil, cambios importantes en la humedad, aireación y temperatura de los suelos, y transformaciones fundamentales en las fases orgánica y mineral por medio de reacciones fisico-químicas y biológicas.

Con base en lo anterior, el presente artículo tiene como objeto evaluar el efecto de las lombrices de tierra en las propiedades del suelo. Se pretende también con este escrito, despertar el interés de las personas relacionadas con el agro por la biología del suelo, disciplina que hasta ahora no ha recibido la atención que merece como auxiliar y complemento importante de la ciencia del suelo.

### El suelo y sus organismos

El último trabajo de Darwin "La formación del humus vegetal a través de las lombrices de tierra", fue de suprema significancia para el desarrollo de la ciencia del suelo, es por esto que se considera al gran naturalista como el iniciador de la biología del suelo en esta área del conocimiento (Ghilarov, 1983).

Después de Darwin los bioedafólogos han ideado diversas nomenclaturas para clasificar los organismos que habitan el suelo. De acuerdo a su permanencia en el medio ambiente edáfico los animales se han clasificado en habitantes permanentes o geobiontes (lombrices de tierra, milipodos, enquitreidos, etc.) y moradores temporales o geófilos, caso que presentan aquellos invertebrados que penetran al suelo para protegerse de condiciones desfavorables durante alguna etapa de su ciclo biológico (homópteros, dípteros, etc.) o que hibernan dentro del suelo como es el caso de algunos coleópteros (Rapoport, 1957; Wallwork, 1970). Parisi (1977) dividió los organismos del suelo por su permanencia allí en edafobios (viven solamente una parte de su ciclo biológico en el suelo); edafófilos (que prefieren el medio ambiente edáfico a pesar de poderlo abandonar) y edafóxenos (habitantes casuales presentes en el suelo y que no ostentan adaptaciones especiales para la vida hipógea).

Las relaciones tróficas entre los organismos del suelo, fueron base para otras clasificaciones, Kevan (1970) los subdividió así:

- Consumidores primarios o fitófagos verdaderos y aquellos que consumen material vegetal o animal en descomposición.
- Consumidores secundarios que corresponden a predadores y parásitos.
- Consumidores terciarios y cuaternarios que devoran a otros en sucesión.

Según sus hábitos alimenticios Hardy (1970) clasificó los animales que habitan el suelo en: Fitófagos, Coprófagos, Fungívoros, Algívoros, Bacteriófagos, Predadores, Coprófagos y Necrófagos.

Por el tamaño del cuerpo, Walwork (1970) dividió la fauna edáfica en Microfauna, Mesofauna y Macrofauna.

Krausse con base en el grado de adaptación, clasificó los organismos del suelo en Epiedafón o habitantes del mantillo; Hemiedafón (habitantes intermedios) y Cuadafón o moradores de las capas minerales (Rapoport, 1959); Rapoport ideó además otra clasificación edafofaunística así: Geohidrobios, Geocatmbios y Hologeobiontes, según habiten respectivamente, las películas de agua del suelo, su atmósfera intersticial o ambas.

Tal vez la clasificación sobre la cual se deba hacer énfasis, para obtener un conocimiento mas integral del suelo y del papel de los organismos que lo habitan, sea aquella que intente explicar las funciones de éstos dentro del perfil del suelo. Diferentes investigadores (Darwin, 1881; Hardy, 1970; Dunger, 1971; Kuhnelt, 1985; etc.) concluyen que los organismos del suelo influyen sobre él en diversas formas: reducen el volumen de los residuos vegetales, abren canales para sus desplazamientos, amadrigamiento y mezclan la materia orgánica con el suelo mineral; algunos organismos pueden actuar en los tres eventos antes mencionados, como es el caso de los oligoquetos terrestres.

Lombrices de tierra

Aspectos biológicos

Las lombrices de tierra pertenecen al Phylum Annelida (Annelus: anillo) ya que su cuerpo vermiforme está conformado por una serie de segmentos o anillos; taxonómicamente se ubican en la clase Oligochaeta (Oligo: pocas; Chaeta: cerdas), lo que significa que poseen cuatro pares de apéndices quitinosos o quetas en cada segmento que sirven como punto de apoyo para su movimiento (Storer et al. 1975).

El tamaño de los anélidos terrestres varía desde unos pocos milímetros hasta aproximadamente tres metros (Tetry, 1963); son organismos que se caracterizan por ser un grupo de gran capacidad adaptativa a nuevos ambientes (Catchell, 1971) de allí que su distribución sea mundial a excepción de las regiones desérticas, las áreas cubiertas por nieve perpetua y los países desprovistos de suelo y vegetación (Edwards y Lofty, 1972; Lavelle, 1983).

El alimento de los oligoquetos terrestres lo constituyen material orgánico y suelo mineral en diferentes proporciones. El sistema digestivo es rectilíneo y conformado por la boca, cavidad bucal, faringe, esófago, buche e intestino; posee además

glándulas calcíferas asociadas. El aparato excretor consta de un par de nefridios por segmento por los que eliminan los productos de desecho al exterior; el intercambio se lleva a cabo a través de piel (Barnes, 1978).

Los gusanos de tierra son animales de sangre fría con aparato circulatorio cerrado; el sistema nervioso es segmentado y poseen órganos fotorreceptores. Son organismos hermafroditas, el sistema reproductor masculino consta de dos pares de testículos, dos pares de conductos espermáticos, dos pares de vasos deferentes y un par de vasos eferentes, cada uno de los cuales termina en el poro masculino; el sistema reproductor femenino comprende un par de ovarios, dos canales del oviducto, dos sacos ovigeros y un par de oviductos que se abren al exterior. Este sistema también comprende dos pares de receptáculos seminales en los que se almacena el espermatozoides recibido durante la cópula ya que su fecundación es cruzada.

Las diversas especies de lombrices de tierra habitan en diferentes profundidades del perfil del suelo y se adaptan bien para ingerir el material de cada estrato donde viven (Lavelle et al. 1973a). Bouché teniendo en cuenta este aspecto, hizo una clasificación ecológica alrededor de tres polos de adaptación, según el estrato que habitan en el perfil del suelo, estas tres categorías son:

**Epigeicas:** Con especies de lombrices que viven en acumulaciones orgánicas relativamente descompuestas en la superficie del suelo, deyección dentro del medio en que viven y consumen suelo mineral en bajas proporciones. Su talla es pequeña, su reproducción es alta y alcanzan la madurez sexual rápidamente. Son totalmente eliminadas durante las estaciones secas que resisten en forma de cápsulas. Sus predadores son abundantes y los capullos contienen generalmente varios embriones.

**Endogeicas:** Con lombrices que se alimentan cerca a la superficie del suelo de diversos restos orgánicos descompuestos, su talla es variable y su reproducción es más baja que las especies epigeicas, ya que están más protegidas de los predadores. Representan entre el 25-50% de la biomasa total de los suelos y juegan un papel complementario en la fertilidad del suelo. Estas especies abren cavernas para estivar en períodos de sequía.

**Anécicas:** Con lombrices de grandes tamaños, viven en galerías subverticales profundas; su reproducción es relativamente baja. Se alimentan de materia orgánica superficial que acarreas a sus galerías y también de suelo mineral; depositan sus heces o deyecciones en la superficie; éstas junto con las lombrices endogeicas, estivan en períodos secos y ambas son "labradoras de la parte mineral del suelo" (Bouché, 1983).

Lavelle (1983) subdividió la categoría de lombrices endogeicas propuesta por Bouché en: Oligohúmicas, Mesohúmicas y Polihúmicas dependiendo de la cantidad relativa de humus que consumen las diferentes especies.

#### ACTIVIDAD EDAFICA DE LAS LOMBRICES DE TIERRA

Aristoteles por primera vez observó la función de los oligoquetos terrestres y los llamó "los intestinos de la tierra" (Edwards y Lofty, 1972); Darwin enfatizó sobre su importancia y ésta fué sustentada posteriormente por numerosas investigaciones. Los diversos investigadores concuerdan en afirmar que, por medio de la actividad desarrollada por las lombrices de tierra, se mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

## Efectos físicos

El movimiento de las lombrices de tierra a través del perfil del suelo influye, entre otros, sobre la estructura, la estabilidad estructural, el drenaje, la aireación, el pH y la porosidad del mismo.

Las lombrices de tierra, por su tamaño relativamente grande, y por el comportamiento de ciertas especies, tienen impactos significativos sobre la estructura del suelo (Abbott y Parker, 1980), según Paris (1969) ellas crean una estructura migajosa en praderas; Vysotkii comprobó que la alta estabilidad estructural granular de los suelos, es debida a la producción de deyecciones por las lombrices (Ghilarov, 1983). Una mejor estabilidad estructural en las deyecciones de las lombrices se debe a los siguientes aspectos:

- La estabilidad es aumentada mecánicamente por medio de los filamentos procedentes de haces vasculares vegetales y fragmentos de raíces ingeridos con los alimentos, los cuales ligan el suelo a su paso por el intestino.

Por el crecimiento de hifas después de que las heces han sido expulsadas.

- Por medio de compuestos estabilizadores, como sustancias mucilaginosas, que provienen de los microorganismos que proliferan en los materiales ingeridos por las lombrices o que se desarrollan después que la mezcla ha sido excretada.

Las partículas del suelo son cementadas en el intestino de las lombrices por el humato de calcio formado a través de la materia orgánica ingerida y la calcita excretada por las glándulas calcíferas (Hayes, 1983).

El grado de agregación de las partículas también se incrementa en el suelo no ingerido por las lombrices (suelo superficial y de las madrigueras), al entrar en contacto con secreciones de su cuerpo como gomas, materiales mucosos y nitrogenados (Hayes, 1983).

Los anélidos terrestres, al excavar galerías, contribuyen a incrementar el drenaje ya que estos túneles, convierten a los suelos en una especie de esponja que permite una mayor capacidad de infiltración del agua y su paso más rápido hacia el subsuelo, lo que evita el agua de escorrentía (Saenz, 1974; Rouschop, 1984; Kavan, 1970; Stout, 1983). A su vez los túneles generan una mayor aireación al cuerpo del suelo.

En el proceso de alimentación la lombriz fracciona el material vegetal y tritura la fracción mineral del suelo, esto incrementa la capacidad de retención de humedad de la mezcla a niveles similares a los de la turba (Gatchell, 1983; Edwards, 1983).

Otro factor del suelo que se ve afectado por la actividad de las lombrices es la tendencia a la neutralización del pH por la constante adición de carbonato de calcio (Saenz, 1974); las lombrices al ingerir el alimento concentran el calcio presente en las glándulas calcíferas, este elemento es posteriormente vertido al sistema circulatorio a fin de mantener constante el pH de la sangre y del líquido celómico mediante el control de los niveles de calcio y de los iones carbonato, luego el calcio eliminado, en forma de gránulos de calcita, al sistema digestivo, de allí que las excretas posean un pH menos ácido que el resto del suelo.

La mayor parte de los efectos de las lombrices de tierra sobre las propiedades físicas del suelo pueden ser interpretados, según Syers y Springett (1983), en

términos de cambios en la distribución del tamaño de los poros, que son de dos tipos: aquellos formados por los canales usados para el desplazamiento y amadrigamiento y los poros resultantes de las deyecciones. Los efectos de estos dos tipos de porosidad se resumen en la Figura 1.

### Efectos químicos

En general se afirma que suelos con altas densidades de población de lombrices de tierra poseen una mayor fertilidad, y para el hombre que labora en campo la presencia de estos organismos le indica buenas condiciones del terreno para el cultivo.

La influencia de la actividad de las lombrices de tierra sobre los nutrientes del suelo es debido entre otros a:

1. La acción enzimática directa sobre la materia orgánica en su intestino (Syers y Springett, 1903).
2. El metabolismo de la materia orgánica donde se liberan elementos (Mansell et al. 1981).
3. La formación de humus (Rouschop, 1984).

Uno de los elementos nutritivos que las lombrices hacen más disponibles para las plantas es el nitrógeno, el cual es incrementado en formas metabólicas solubles por diferentes vías; una de ellas es por medio de las secreciones de su epidermis en forma de mucoproteínas, mucopolisacáridos (Paris, 1969; Leclercq, 1984) o de orina fluida que contiene amonio, urea, ácido úrico y alantoína, sustancias fácilmente solubles en el suelo, gracias a la acción de las poblaciones microbianas que aceleran su nitrificación (Satchell, 1971).

Otra fuente que incrementa la mineralización del nitrógeno es la producción de deyecciones por las lombrices, ya que el paso del nitrógeno orgánico por el intestino incrementa su disponibilidad, más de lo que ocurre en el mantillo in situ (Satchell, 1983).

El mucus intestinal (que lubrica y hace más digerible el alimento) producido por las lombrices de la familia Glossoscolecidae, en pastos tropicales, es una de las fuentes de nitrógeno, su producción anual equivale al 20% de la materia orgánica total del suelo, lo que implica un importante eslabón en los ciclos del carbono y del nitrógeno (Lavelle et al. 1983b).

El nitrógeno también aumenta en el suelo por medio del cuerpo de las lombrices después de su muerte (Rouschop, 1904); el 70% de este elemento, contenido en sus tejidos, se mineraliza después de 10 a 20 días (Satchell, 1971; Paris, 1969).

El fósforo es otro elemento que aumenta la disponibilidad para las raíces de las plantas, debido a la acción combinada de las lombrices de tierra y los microorganismos (Edwards, 1903); según Mansell (1901) y Satchell (1903) el fósforo es retenido en el suelo por fuerzas de adsorción.

Otros elementos que las lombrices hacen más disponibles para las plantas son el calcio en forma de gránulos de calcita, lo cual beneficia el sistema suelo planta; el molibdeno, elemento indispensable para todos los microorganismos y necesario para las plantas (Voisin, 1962; Carter et al. 1983), así como el magnesio (Edwards, 1980).

Abbott (1970) concluye que el paso de la materia "materia orgánica suelo" por el tracto digestivo de las lombrices de tierra, cambia la relación de nutrientes (Tabla 1) haciéndolos más disponibles para las plantas).

Tabla 1. Comparación de algunos elementos, entre deyecciones de lombrices y suelo aledaño (Leclercq, 1984).

Elementos	Composición en ppm		Incremento en % por medio de la actividad de las lombrices
	Suelo superficial	Deyecciones	
Efectos biológicos			
Ca (intercambiable)	1990	2790	40
Mg (intercambiable)	0.162	0.492	204
N (nitritos)	0.004	0.022	366
P (disponible)	0.009	0.067	644
K (intercambiable)	0.032	0.350	1017
Tasa de saturación	0.074	0.093	26

#### Efectos biológicos

Los suelos con altas densidades de poblaciones de lombrices de tierra o, a los que se les han inoculado, muestran una mayor diversidad y mejor composición botánica, así mismo, en áreas de cultivo se presenta un incremento en la producción de cosechas y una mayor resistencia de las plantas al ataque de enfermedades (Oliver, 1960; Graff, 1983; Hoogerkamp et al. 1983).

Las razones por las cuales se presenta un mayor desarrollo vegetal en suelos con altas poblaciones de lombrices, son debidas a diferentes causas relacionadas con su comportamiento. Los túneles hechos por las lombrices promueven el crecimiento de las raíces de las plantas y por medio de ellos pueden alcanzar mas fácilmente la profundidad en busca de minerales y humedad (Abbott y Parker, 1980; Edwards, 1980).

El crecimiento acelerado de las plantas se debe también a compuestos que se ha aislado de las deyecciones, los túneles y los cuerpos de las lombrices, que actúan como estimulantes del crecimiento vegetal (Cyers y Springett, 1963); investigaciones realizadas por Mansell et al. (1981) revelaron la presencia de compuestos indólicos en extractos de varias especies de lombrices.

El transporte descendente de semillas por las lombrices fue comprobado por Grant (1963) en ensayos realizados con Lumbricus terrestris y Allolobophora longa. La introducción de semillas al suelo, por parte de las lombrices, es muy importante en la dinámica de la población de las plantas, ya que es un factor potente en la prolongación de la sobrevivencia de la vegetación, al disminuirse la pérdida de semillas por diversos efectos y ataques en la superficie del suelo.

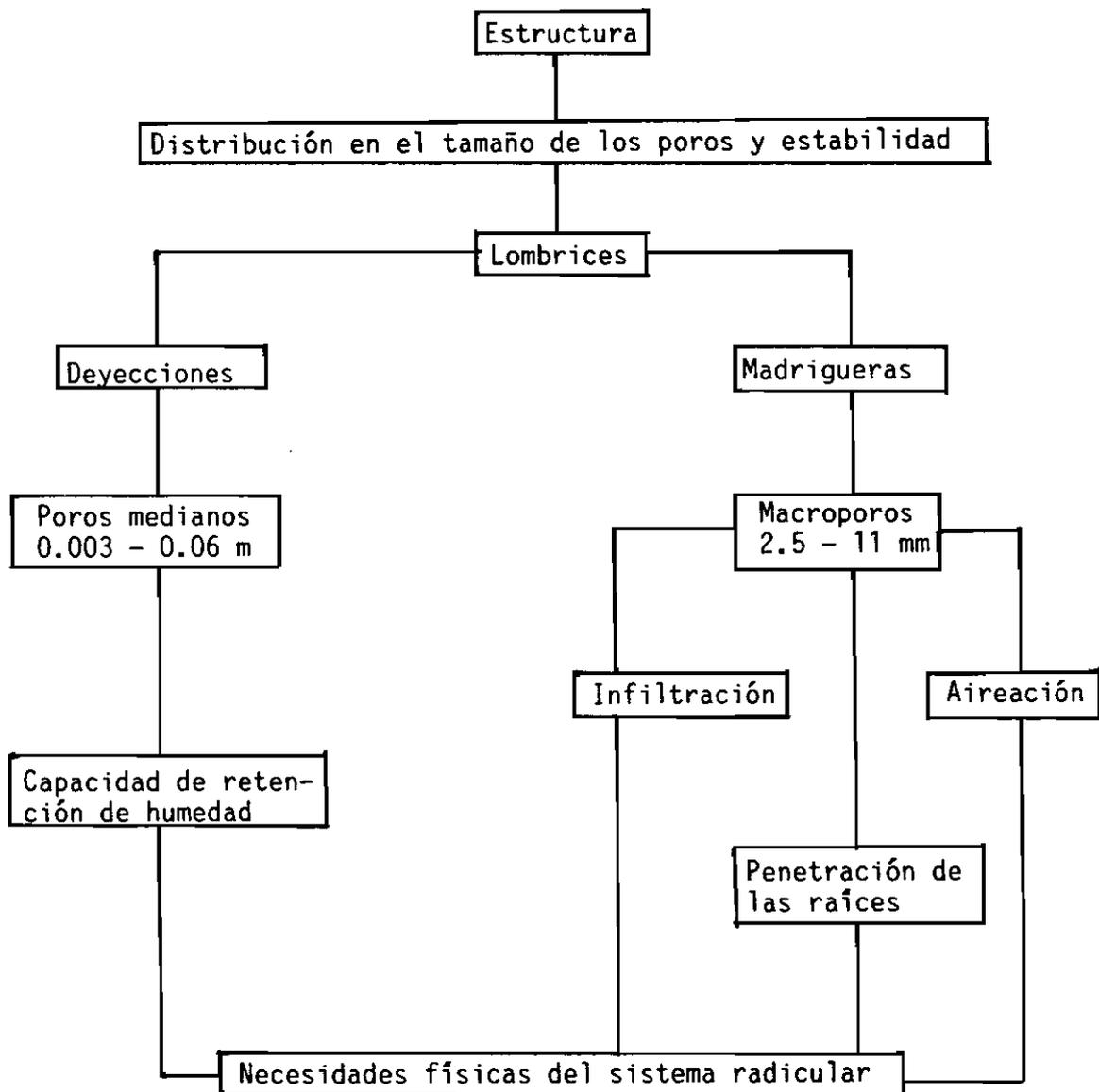


Figura 1. Interrelaciones de las características físicas del suelo influenciadas por la actividad de las lombrices de tierra. (Tomado de Syers y Springett, 1983).

El incremento en el desarrollo vegetal, debido a la presencia de lombrices, puede ser interpretado como un efecto de sus actividades físicas, químicas y biológicas sobre el suelo. Las interrelaciones entre ciertas actividades de la lombriz de tierra, las propiedades del suelo y el crecimiento vegetal se resumen en la Figura 2. Estas relaciones son interactuantes, cíclicas y complejas (Oyers y Springett, 1903).

El incremento de las poblaciones microbianas es otra actividad que beneficia la relación suelo planta. Las lombrices ayudan a preparar el medio que promueve la actividad microbiana, aumentan el grado de mezcla de la materia orgánica con la microflora edáfica y así facilitan su actividad enzimática; gran parte de estos microorganismos son los responsables de la síntesis de un ampliorango de polímeros encontrados en las sustancias húmicas y los promotores de la liberación de nutrientes esenciales para la fertilidad de muchos suelos (Hayes, 1983).

Las heces de las lombrices de tierra se caracterizan por tener un número alto de microorganismos, mayor cantidad de aerobios celulolíticos, hemicelulolíticos, amilíticos, bacterias nitrificantes y menor número de bacterias denitrificantes que el suelo patrón (Satchell, 1983); además, las paredes de los túneles amplían el área de actividad de los microorganismos al contener mayor cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno anaeróbicas y aeróbicas, proteolíticas y amonificantes (Satchell, 1983).

En el intestino de las lombrices de tierra se encuentran las mismas clases de microorganismos del suelo en el cual viven. Las bacterias y actinomicetes son aumentados durante su tránsito por el sistema digestivo de la lombriz (Tabla 2); este hecho beneficia al suelo, ya que estas altas cantidades de microorganismos desempeñan un papel importante en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Satchell, 1971).

Tabla 2. Número de actinomicetes y bacterias en distintas secciones del intestino de L. terrestris (Durgas, 1971).

	Intestino anterior (x 10 )	Intestino medio (x 10 )	Intestino posterior (x 10 )
Actinomicetes	26	350	1500
Bacterias	475	32900	440700

#### Efectos pedogenéticos

Darwin caracterizó y evaluó cuantitativamente el papel de los agentes biológicos, principalmente de las lombrices de tierra, en la formación del suelo (Darwin, 1881). La actividad de las lombrices es significativa en el proceso de descomposición de la materia orgánica, su unión con el suelo mineral e incorporación en los horizontes profundos (Stout, 1983); investigaciones realizadas en suelos de la sabana de Bogotá demostraron que la ausencia de lombrices y otros componentes edafofaunísticos es una de las causas, por las cuales el material vegetal depositado en el suelo se acumula en su superficie formando una gruesa capa u horizonte O (Cortés, et al. 1985).

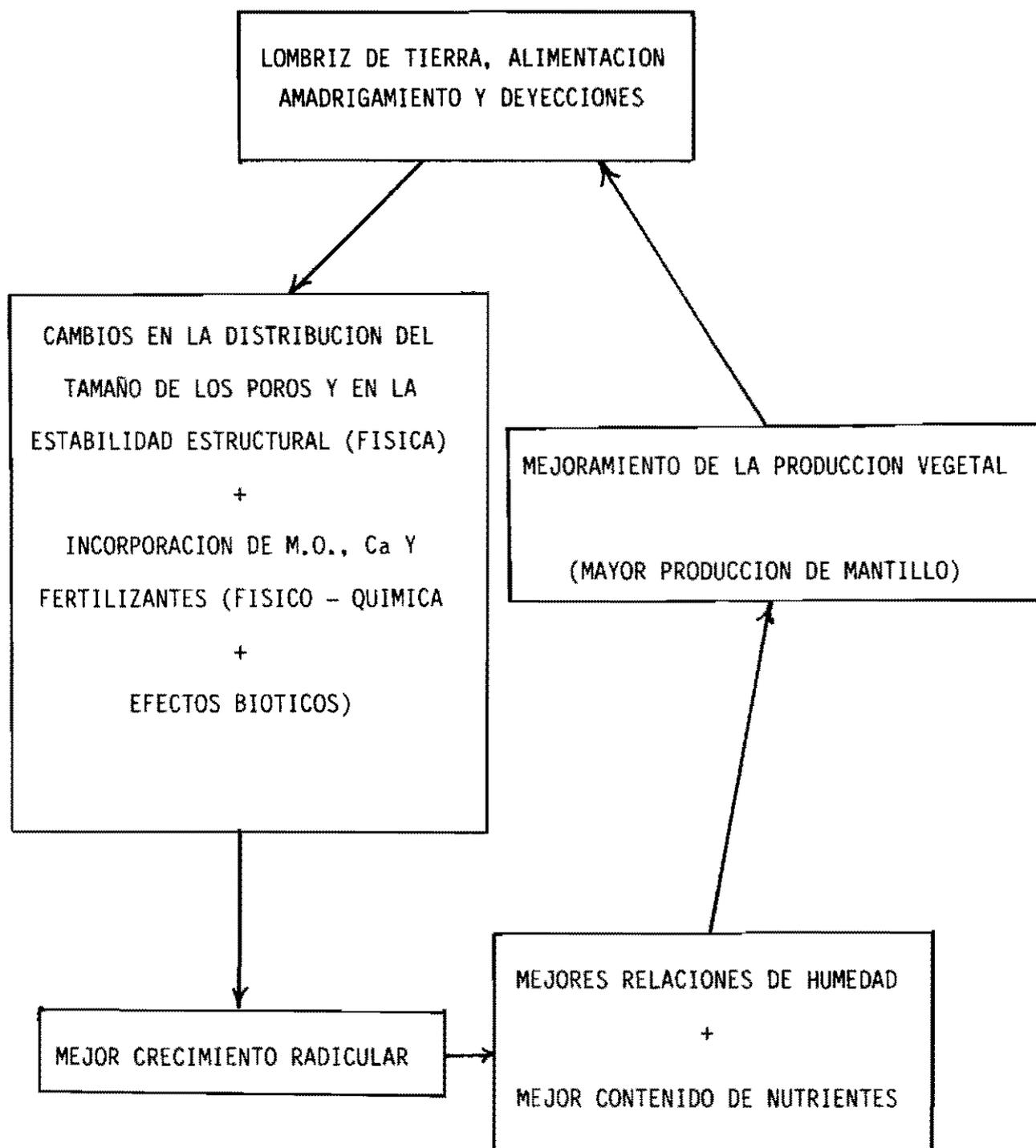


Figura 2. Interrelaciones entre la actividad de las lombrices, las propiedades del suelo y el crecimiento vegetal (Syers y Springett, 1983).

Suelos de Holanda con horizontes O fueron enriquecidos agregando altas densidades de poblaciones de L. terrestris y A. caliginosa. El horizonte A1 empezó a desarrollarse después de tres años de la incorporación de las lombrices; inicialmente, este horizonte, presentó el carácter de una mezcla compuesta por deyecciones de lombrices y suelo mineral, después de cinco años en la superficie se presentó una capa de carácter homogéneo de 1-2 cm de espesor, esta capa incrementó gradualmente su tamaño (5.0 cm) en un tiempo de 10 años (Figura 3); la estructura de los primeros decímetros de profundidad, inicialmente laminar o en bloques, se transformó en granular y los tuenzales alcanzaron una profundidad de 50 cm a los ocho años de experimentación (Hoogerkamp et al. 1983).

Los horizontes superficiales de suelos formados por lombrices y termitas, están ampliamente distribuidos en el trópico. Hoogerkamp encontró en Nigeria que el material del suelo entre 10-60 cm de profundidad está constituido por material transportado a la superficie por las termitas (Horizonte Crt); los 2.5 cm más superficiales de este suelo fueron, adicionalmente, modificados por la lombriz Ilpoperla nigeriae.

Diferentes investigadores describen formaciones especiales o microrrelieves determinados, atribuidos a la actividad de los oligoquetos terrestres; los microrrelieves hacen referencia a montículos de hasta 1m de diámetro por 1.5m de altura (zurales o taticosi), que cubren partes bajas de terrenos que se inundan periódicamente y que proveen, a las lombrices de tierra, de suelo insaturado durante periodos de lluvia (Lee, 1983).

Se puede resumir que todas las funciones desarrolladas por las lombrices de tierra en el suelo, descritas anteriormente, y que son el producto de su comportamiento, ayudan a minimizar el efecto adverso de algunos factores, por el incremento de la estabilidad del medio que habitan, al mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Debido al beneficio que prestan las lombrices en el suelo, en los últimos años ha habido un interés creciente por su cría masiva en cautiverio; los resultados obtenidos hasta el momento, demuestran que con su zootecnia se reciclan ecológicamente diversos desechos biodegradables, se produce un lumbriocompost de mejores calidades que los logrados con los sistemas de compostaje tradicionales y además, se generan altas cantidades de estos organismos que son utilizados como fuente de proteína o inoculados en los suelos, con el fin de mejorar algunas condiciones degradadas por el mal uso y manejo que el hombre ha causado en este importante recurso.

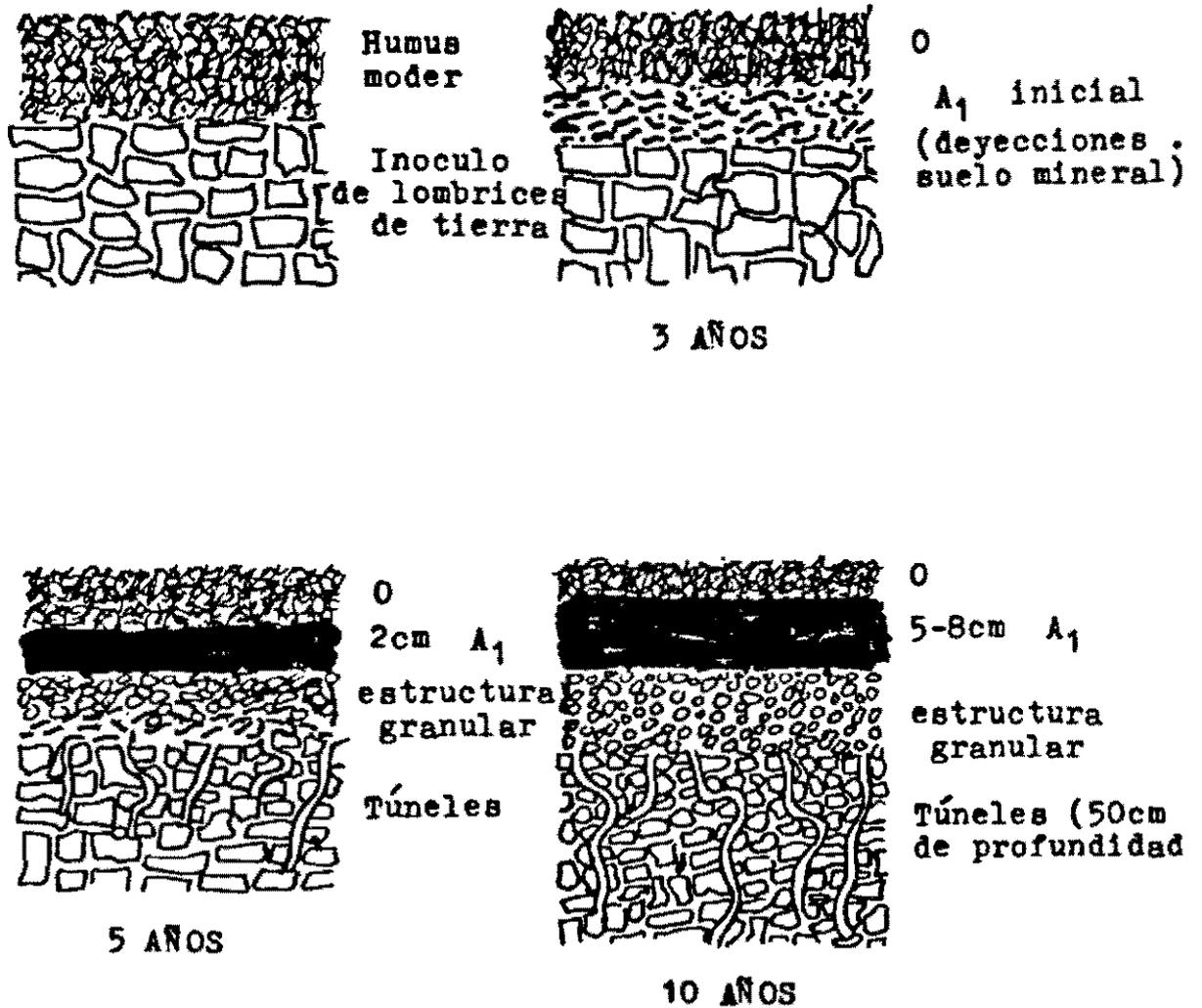


Figura 3. Desarrollo del horizonte A<sub>1</sub> formado por la actividad de las lombrices *L. terrestris* y *A. caliginosa* después de 10 años de inoculadas (adaptado de Hoogerkamp et al. 1983).

## BIBLIOGRAFIA

- Abbot, I. and Parker, C.A. The occurrence of earth-worm of western Australia in relation to land use and rainfall. *Australian Journal of Soil Research*, 10(3): 343-352, 1980.
- . Interactions between earthworms and their soil environment. *Soil. Biol. Biochem.* 13: 191-197, 1981.
- Barnes, R.D. *Zoología de los invertebrados*. México, Interamericana, 1978. 761 p.
- Douche, M.D. Les lombriciens et le traitement des déchets. *In: Compost Information le lombricompostage*. Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets. No. 11 - 1er. trimestre, 1983. pp. 2-5.
- Dool, S.W.; Holsa, C.D. and McCracken, R.J. Génesis y clasificación del suelo. México, Trillas, 1983. 417 p.
- Burges, A. y Raw, F. *Biología del suelo*. 3a. ed. Barcelona, Omeda. 1971. 596 p.
- Carter, A.; Kennedy, C.A.; Guthrie, T.F. and Timmenga, H. Heavy metals in earthworms in non-contaminated and contaminated agricultural soil from near Vancouver, Canada. *In: Satchell, J.E., ed. Earthworm Ecology*. London, Chapman and Hall, 1983. pp. 267-274.
- Cortes, L.A.; Chamorro, B.C. y Vega, V.A. Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al Embalse del Neusa (Cundinamarca). Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1985. 95 p.
- Darwin, C. On humus and the earthworm the formation of vegetable mould through the action of worms with observation on their habits. London, Faber and Faber, 1945. 153 p.
- Edwards, C.A. and Lofty, J.R. *Biology of earthworms*. London, Chapman and Hall, 1972. 202 p.
- . Interaction between agricultural practice and earthworms. *In: Dindal, L. ed. Soil Biology as related to land use practices. Proceedings of the VII International Soil Zoology Colloquium of the International Society of Soil Science*, New York, 1980. pp. 3-12.
- . Earthworms organic waste and food. *Spn*, 26(3): 106-108, 1983.
- Chilaryov, M.S. Darwin's formation of vegetable mould its philosophical basis. *In: Satchell, J.E. ed. Earthworm Ecology*. London, Chapman and Hall, 1983. pp. 1-4.
- Graff, O. Darwin on earthworms- The contemporary background and with the critics thought. *In: Satchell, J.E. ed. Earthworm Ecology*. pp. 5-18.
- Grant, J.D. The activities of earthworms and the fates of seeds. *In: Satchell, J.E. ed. Earthworm Ecology*.

- Hardy, F. Suelos tropicales. Mexico, Herrero Hnos., 1970. 334 p.
- Hayes, M.H.B. Darwin's "vegetable mould" and some modern concepts of humus structure and soil agregation. In Satchell, J.E., ed. Earthworm Ecology. 1983. pp. 19-33.
- Hoogerkamp, M.; Rogaar, H. and Eijsackers, H.J. Effects of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherland. In Satchell, J.E., ed. Earthworm Ecology. pp. 85-106.
- Kevan, D.K. The soil faune. In: Baker, K. and Snyder, W. Ecology of Soil-Borne Plant Phatogens. 2 ed. USA, University of California Press, 1970. 571 p.
- Kuhnelt, W. Biología del suelo. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1975. 667 p.
- Lavelle, P.A. The estructura of earthworm Ecology. 1983. pp. 449-466.
- ; Zaidi, Z. and Schaefer, R. Interactions between earthworms, soil organic matter and microflora in an African Savanna soil. In: Lebrum, H.M.; De Medts, A.A.; Wibo, G.C. and Wauthy, W. ed. New Trends in Soil Biology. Proceedings of the VIII International Colloquium of Soil Zoology. Belgium, Die-Drichart, 1983a. pp. 253-257.
- ; Rangel, P. and Kanyonyo J. Intestinal mucus production by two species of tropical earthworms: *Millsonia Lamtoiana* (Megascolecidae) and *Pontoscolex correthurus* (Glossoscolecidae). In: Lebrum, H.M.; De Medts, A.A.; Wibo, G.C. and Wauthy, W., ed. New Trends in Soil Biology. 1983b. pp. 405-410.
- Leclercq, J. Dossier Lumbriculture. IV aperçus des literatures commerciales Belges, Francaise et Italiennes. Faculte des Sciences Agronomiques del'Etat. Zoologie Generale et Faunistique. France, Jul., 1984. 27 p.
- Lee, K.E. The influence of earthworms and termites on soil nitrogen cycling. In: Lebrum, H.M.; De Medts, A.A.; Wibo, G.C. and Wauthy, W. ed. New Trends in Soil Biology. pp. 120-132.
- Mansell, G.P.; Syers, J.K. and Greeg, P.E. Plant availability of phosphorus in dead herbaje ingested by surface casting earthworms. Soil Biol. Biochem., II: 163-167 p. 1981.
- Oliver, S.E. Nuestra amiga la lombriz de tierra. Revista Nacional de Agricultura. Bogotá, 666: 47-49, Oct., 1960.
- Paris, O.H. The function of soil fauna in grassland ecosystems. In: Dix, R.L. and Deidleman, R.C., ed. The grassland ecosystem. IFD Colorado, State University fort Collini, 1969. pp. 331-360.
- Parisi, V. Biología y ecología del suelo. Barcelona, Blume, 1979. 169 p.
- Rapoport, E.H. Algunos aspectos de la biología de suelos. Argentina, Universidad Nacional del Sur, 1959. 23 p.

Rouschop, J. Elevage du lombric et son utilization en alimentation des volailles. France, Hy Glemboux Verviers, 1983 1984. 131 p.

Saenz, C. La lombriz en el mejoramiento de la tierra. Baceta Agrícola (Argentina), 1974. pp. 62-A, 63-B, 64-C.

Satchell, J.E. Lumbricidos. In Burges, A. y Raw, F. Biología del suelo. 3 ed. Barcelona, Omega, 1971. pp. 300 374.

----- . Earthworm microbiology. In:----- . Earthworm Ecology- From Darwin to Vermiculture. London, Chapman and Hall, 1983. pp. 351-364.

Storer, T.L); Usinger, L.R.; Sterbins, C.R. y Nibakken, W.J. Zoología general. Barcelona, Omega, 1975. 815 p.

Stout, J.D. Organic matter turnover by earthworms. In Satchell, J.E., ed. Earthworm Ecology. pp. 35 48.

Syers, J.K. and Springett, J.A. Earthworms ecology in grassland soils. In Satchell, J.E., ed. Earthworm Ecology. pp. 67 83.

Tetry, A. Annelida. In Grasse, P. Zoologie. Paris, Libraire Gallimard, 1963. 7848 o 837 p.

Voisin, A. Dinámica de los pastos. Madrid, Tecnos, 1962. 452 p.

Volubuev, V.R. Ecology of soils. Israel. Academy of Science of the Azerbaïdzham, 1964. 224 p.

Wallwork, J.A. Ecology of soils animals. London, McGraw-Hill, 1970. 293 p.