

El Nitrógeno en un Sistema Maíz-Ayote en un *Typic Dystropept* de Turrialba, Costa Rica. I. Comportamiento en el Suelo¹

G. Martínez*, E. Bornemisza*, D. Kass**

ABSTRACT

A study was made at CATIE, Turrialba of a maize, pumpkin and maize-pumpkin system, on a *Typic Dystropept*: the soil levels of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were measured during a growth cycle in the surface soil, following an application of fertilizer. $\text{NO}_3\text{-N}$ content in the soil solution at 90 cm was also determined, using extraction with a porous cup and suction. Ammonium levels were high two weeks after fertilizer application (up to 184 mg kg^{-1}) and proportional to the applied levels of fertilizer. The concentration decreased after two months, showing values of about half the original ones. Curves showing ammonium concentrations at different periods had the same form for all fertilizer levels. Also, high values for $\text{NO}_3\text{-N}$ were observed at two weeks after application (up to 82 mg kg^{-1}). These values decreased somewhat more rapidly than the ones for ammonium, reaching half the original concentrations approximately 6 weeks after application. The final $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations at the end of the growth cycle were lower for $\text{NO}_3\text{-N}$ than for NH_4^+ . NO_3^- concentration at 90 cm below the soil surface indicating that about 30-50 percent of the N applied is lost through leaching, which was apparently intense. The nitrate levels in the soil solution at the sample depth were above 10 mg L^{-1} of NO_3^- for the fertilized plots, even at the end of the growth cycle.

INTRODUCCION

En muchos suelos del trópico húmedo, el nitrógeno es el principal factor limitante de la producción (11). Esto ocurre aún en numerosos casos en los cuales el N total del suelo es alto; como lo menciona Benavides (1) en una revisión de literatura sobre el tema, es frecuente no encontrar una buena correlación entre el total de este elemento en el suelo y su disponibilidad para las plantas.

¹ Recibido para publicación el 7 de abril 1987.

Parte de la tesis de maestría presentada por el primer autor en el Programa de Posgrado UCR-CATIE. Se reconoce el apoyo recibido del CONICIT durante el desarrollo del experimento.

* Estudiante y Profesor del Programa de Posgrado UCR-CATIE, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, respectivamente.

** Profesor-Investigador del CATIE, Departamento de Producción Vegetal Turrialba, Costa Rica.

COMPENDIO

Se estudiaron los niveles N-amoniacal y de nitrato, en la capa superficial de un suelo *Typic Dystropept* de Turrialba, cultivado con maíz, ayote o un cultivo mixto de ambos. También se determinó la concentración de nitrato en la solución del suelo a 90 cm, extrayéndola con vasos de cerámica porosos bajo succión. Los niveles de amonio alcanzaron valores altos (184 mg kg^{-1}) y proporcionales al nivel aplicado, dos semanas después de la aplicación. Esta concentración disminuye posteriormente hasta llegar, en aproximadamente dos meses, a su mitad. Las curvas de disminución de amonio son paralelas para los diferentes tratamientos. Para el nitrato se obtuvieron altos valores a las dos semanas (82 mg kg^{-1}), que disminuyeron algo más rápidamente que el amonio, hasta alcanzar la mitad de ese contenido aproximadamente seis semanas después de la aplicación y al final valores ligeramente inferiores al amonio. Los niveles de nitrato a 90 cm indicaron que esta forma, las pérdidas de N son del orden de 30 al 50% del N aplicado y que el nivel del anión en la solución del suelo reflejó las condiciones de lavado y es, en general, superior a 10 mg L^{-1} .

En Costa Rica, son escasas las investigaciones como las hechas por González *et al.* (5), las cuales han contribuido al mejor conocimiento del comportamiento del N en suelos del país.

Para conocer algunos de esos aspectos —por lo menos en forma aparente ya que no se disponía de ^{15}N — se estudió la distribución de diferentes formas de N en la capa superficial y a 90 cm por debajo del suelo, en condiciones de Turrialba y en función de diferentes dosis de aplicación del elemento y sistemas de cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en terrenos de la sede del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica, con una temperatura media anual de 23.4°C , una humedad relativa promedio de 86.7% y un brillo solar de 4.5 horas por día.

El suelo estudiado es plano; clasifica como **Typic Dystropept** y pertenece a la serie Instituto arcilloso. Sus propiedades se resumen en el Cuadro 1.

Los componentes texturales se determinaron con el método de Bouyoucos (2); la materia orgánica con el método de Walkley y Black, descrito por Saiz del Río y Bornemisza (10). Para determinar P, K, Cu, Zn y Mn se usó la solución extractora Olsen Modificada, siguiendo las recomendaciones de Díaz-Romeu y Hunter (4).

Para la determinación del N-amoniaco se usó la metodología de Jackson (8) y para el N-nitrato, el procedimiento colorimétrico con brucina (9).

El Ca, Mg y la acidez extraíble se determinaron en una solución de KCl 1N, según Díaz-Romeu y Hunter (4). La extracción y determinación de B y S se realizó según los mismos autores. Los tratamientos de N, aplicados a la siembra y en forma de nitrato de amonio, fueron:

- Tratamiento 1: maíz y ayote = (AM-0)
0 kg ha⁻¹ N
- Tratamiento 2: maíz y ayote = (AM-60)
60 kg ha⁻¹ N.
- Tratamiento 3: maíz y ayote = (AM-120)
120 kg ha⁻¹ N.
- Tratamiento 4: maíz en monocultivo = (M-60)
60 kg ha⁻¹ N.
- Tratamiento 5: ayote en monocultivo = (A-60)
60 kg ha⁻¹ N.

Cuadro 1. Características químicas y texturales del suelo estudiado (0-20 cm), **Typic Dystropept**, Turrialba.

| Característica | Unidad | Valor |
|------------------------|---------------------------|-------|
| pH en H ₂ O | (1:2.5) | 5.3 |
| Acidez extraíble | cmol (+) kg ⁻¹ | 1.0 |
| Materia orgánica | % | 5.4 |
| N total | % | 0.21 |
| P | mg kg ⁻¹ | 14.0 |
| K | cmol (+) kg ⁻¹ | 0.30 |
| Ca | cmol (+) kg ⁻¹ | 3.70 |
| Mg | cmol (+) kg ⁻¹ | 0.90 |
| S | mg kg ⁻¹ | 12.0 |
| B | mg kg ⁻¹ | 0.21 |
| Cu | mg kg ⁻¹ | 13.0 |
| Zn | mg kg ⁻¹ | 3.7 |
| Mn | mg kg ⁻¹ | 16.0 |
| Arena | % | 31.0 |
| Limo | % | 41.0 |
| Arcilla | % | 27.0 |

Se tomaron muestras de suelo superficiales (0-20 cm), compuestas, cada 15 días hasta la floración y de aquí en adelante, cada tres semanas.

Factor de ponderación: considerando que el lavado depende de la cantidad y la intensidad de las lluvias se calculó este factor con base en las precipitaciones máximas en mm cada quincena. Para el valor del factor se usó el siguiente criterio:

| Precipitación máxima (mm)/quincena | Factor de Ponderación |
|------------------------------------|-----------------------|
| 0-15 | 0 |
| 16-30 | 1 |
| 31-45 | 2 |
| 46-60 | 3 |
| 61-75 | 4 |
| 76-90 | 5 |

Las muestras a 90 cm se extrajeron usando vasos porosos, enterrados a 90 cm, estableciendo una succión de 60 centibares 24 horas antes de extraer la solución, para equilibrarla.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento del amonio

En la Fig. 1 se presentan los niveles de amonio en la capa superficial del suelo, con curvas que representan diferentes niveles de abonamiento de N.

Se observa que las dosis de nitrato de amonio aplicadas guardaron una proporcionalidad en las cantidades de amonio encontradas. Inmediatamente después de la aplicación se presentaron niveles altos, que disminuyeron en un principio rápidamente y luego, con un ritmo moderado. Se observa que los periodos en que se alcanzaron niveles que corresponden aproximadamente a la mitad del N amoniaco aplicado, correspondieron a unas 6 a 9 semanas, independientemente de la cantidad aplicada, ya que las curvas tienen formas similares.

Esta disminución explica los resultados positivos obtenidos comúnmente con aplicaciones fraccionadas del fertilizante nitrogenado que aseguran de nuevo un alto nivel del elemento, en el momento que disminuye la concentración en el suelo, luego de la aplicación inicial.

Se cree que la disminución es en parte resultado de la extracción de las plantas, en parte consecuencia de la nitrificación y finalmente, resultado de pérdidas por lavado (lixiviación).

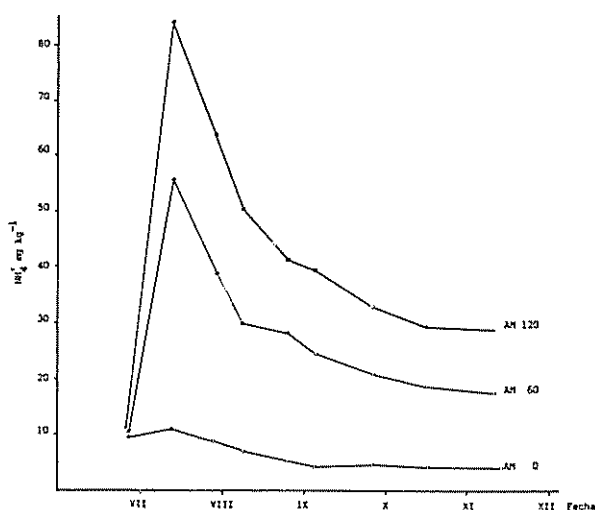


Fig. 1. Niveles de amonio en la capa superior del suelo.

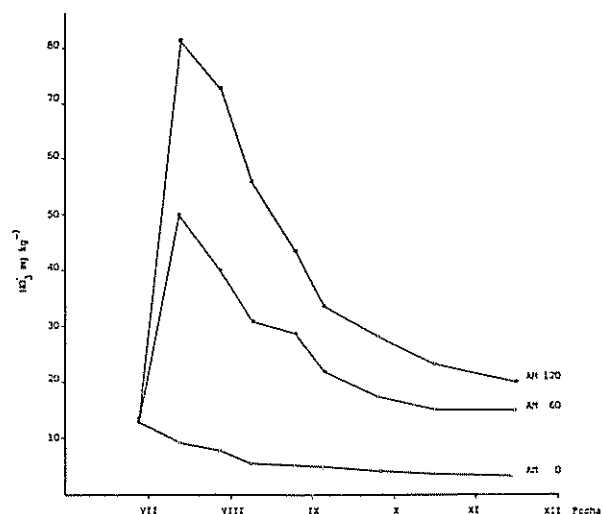


Fig. 2. Niveles de nitrato en la capa superior del suelo.

Es interesante observar, que aún al final del experimento, se conservaron niveles de N amoniacal considerables —aunque en menor grado en el suelo superficial— que son proporcionales a las cantidades aplicadas de esta forma nitrogenada. Tales niveles indican un pequeño efecto residual de este elemento aún bajo condiciones de un fuerte lavado de suelo, como ocurre en Turrialba.

Comportamiento del nitrato

En la Fig. 2 se presenta la concentración de nitrato en la capa superficial (0–20 cm) en las diferentes fechas de muestreo. Debido a que se utilizó nitrato de amonio como fuente del elemento, inmediatamente después de la aplicación se observan altos valores de nitrato en todas las curvas, excepto en la de cero aplicación. A pesar de la alta movilidad del nitrato, éste se redujo a la mitad de su concentración hasta aproximadamente las seis semanas, confirmando las observaciones de González (5) sobre este mismo anión.

La velocidad de pérdida fue similar a la del amonio, presentada en la Fig. 1. También se nota que los niveles perdidos aumentaron proporcionalmente con las cantidades aplicadas.

Al final del periodo todavía se detectó una concentración de nitrato en el suelo equivalente a casi un tercio en la dosis menor aplicada y menos de una quinta parte, en el caso de la dosis más alta. Esta observación confirma la mejor retención de concentraciones menores del anión y su lavado proporcional a su concentración en la solución del suelo.

Las curvas de pérdida de las dos formas de nitrógeno son similares pese a esperarse menor pérdida de amonio, lo cual se explica probablemente debido a la baja capacidad de intercambio efectivo del suelo, de $5.9 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$.

Las rápidas disminuciones de ambas formas de nitrógeno explican las experiencias de campo a favor de la práctica de aplicar el fertilizante nitrogenado en forma fraccionada utilizando dosis bajas del elemento en cada época para reponer los niveles de concentración en el suelo que se reducen durante el ciclo del cultivo.

Otra observación fue la detección de un efecto residual apreciable de N de nitratos (N-NO_3^-).

Movilización y pérdida de N

Para estimar la movilización y las pérdidas del N aplicado se midió la concentración de nitratos en un extracto de la solución del suelo a 90 cm de profundidad, ya que se estimó que muy pocas raíces de plantas anuales llegan a explorar esta región. Los valores obtenidos (Fig. 3) reflejan las cantidades aplicadas, las condiciones climáticas las cuales se presentan en el Cuadro 3, e incluso, las prácticas agrícolas utilizadas. Considerando este último factor se observa que la curva A-60 que representa el sistema de ayote en monocultivo, indica niveles mayores de nitrato en la solución del suelo que la curva AM-60, que representa el cultivo asociado, el cual se caracteriza por un aprovechamiento más intensivo del N y así por una pérdida menor.

Cuadro 2. Comportamiento quincenal de las características hídricas en el sitio experimental.

| Fecha | Precipitación | EIP mm | Saldo neto Aprox. | Factor Ponderación | Factor Lixiviación |
|-------|---------------|-----------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Jun 2 | 49.4 | 38.6 | 10.8 | 1 | 10.8 |
| Jul 1 | 174.0 | 45.4 | 128.6 | 3 | 385.9 |
| Jul 2 | 144.0 | 52.1 | 92.5 | 3 | 277.5 |
| Ag 1 | 172.0 | 34.0 | 138.4 | 5 | 691.9 |
| Ag 2 | 133.8 | 53.2 | 80.6 | 3 | 241.3 |
| Set 1 | 99.7 | 45.4 | 54.3 | 1 | 254.3 |
| Set 2 | 140.2 | 53.9 | 86.3 | 3 | 253.9 |
| Oct 1 | 132.8 | 37.6 | 95.2 | 4 | 380.7 |
| Oct 2 | 122.5 | 47.2 | 75.3 | 3 | 226.0 |
| Nov 1 | 80.9 | 42.3 | 38.0 | 1 | 38.0 |

Hay que indicar que en varios tratamientos, a esta profundidad, corresponden niveles de nitrato altos en la solución del suelo, superiores a lo que se considera admisible para agua potable. Si se considera que el agua a esta profundidad se incorpora prontamente al agua freática, los niveles encontrados al final del experimento posiblemente podrían representar una contaminación del ambiente, particularmente en el caso de los monocultivos.

Para estudiar la influencia de las características meteorológicas sobre la movilización de nitratos en condiciones de Turrialba se examinaron diferentes formas de calcular la eficiencia de agua que se moviliza en el suelo.

Los datos presentados en el Cuadro 2, combinados con los niveles de nitrato, indicaron que una representación lineal de estos valores, en función de un factor

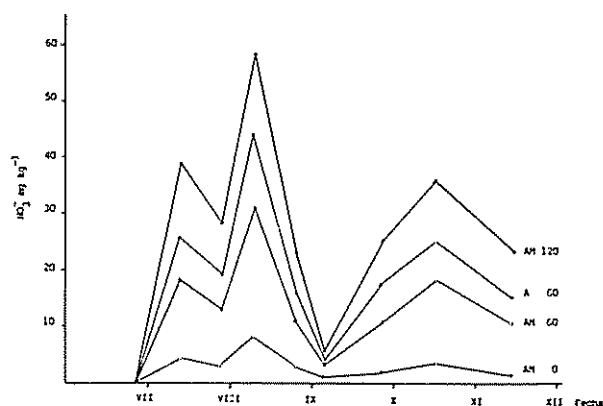


Fig. 3. Concentración de NO_3^- en la solución del suelo a 90 cm de profundidad.

de lixiviación obtenido de la multiplicación del agua disponible por un factor de estimación proporcional a las intensidades de las lluvias (cuyo cálculo se presenta en el capítulo de Materiales y Métodos), resultan en correlaciones significativas entre estos valores.

En la Fig. 4 se presentan las curvas para los cinco tratamientos y los coeficientes de correlación entre los datos.

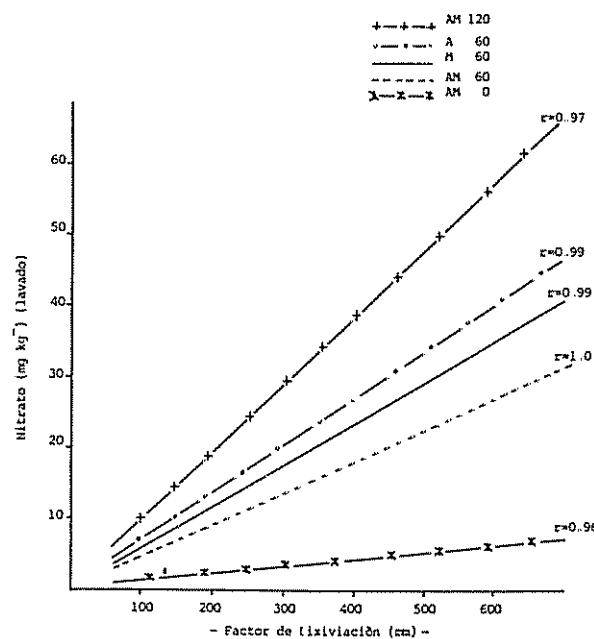


Fig. 4. Modelos lineales mostrando el efecto del factor de lixiviación (mm) sobre la movilización de nitratos (mg kg^{-1}).

Cuadro 3. Efecto aparente de diferentes agrosistemas y dosis de nitrógeno sobre pérdidas de N-fertilizante (kg ha⁻¹).

| Sistema | AM-0 | AM-0 | AM-120 | M-60 | A-60 |
|--|------|------|--------|------|------|
| Total pérdida | 5.7 | 24.6 | 56.6 | 31.5 | 35.9 |
| % del aplicado | — | 41.1 | 47.2 | 52.5 | 59.8 |
| Pérdida aparente de abono (Trat AM-0) | — | 18.6 | 50.9 | 25.8 | 30.2 |
| % de pérdida en base aparente | — | 31.5 | 42.4 | 43.0 | 50.3 |

Los valores muy altos obtenidos dejan clara la estrecha correlación que existe entre el factor de lixiviación y la concentración de nitrato, lo cual se interpreta como prueba de que el método propuesto explica el arrastre de los nitratos de las capas superiores del suelo a la capa freática.

En la Fig. 4 también se observa la gran influencia de los diferentes agroecosistemas sobre el lavado de nitrato. Las pérdidas aumentan con el nivel de aplicación y disminuyen con la aplicación de policultivos que resultan en el aprovechamiento más eficiente del N aplicado. Esta observación coincide con otras realizadas previamente por Hart (6), y Holle y Hart (7).

La información meteorológica para el período experimental indicó que hubo exceso de agua en todas las quincenas del mismo, manteniendo así un lavado bastante continuo del suelo, aunque con intensidades variables (Fig. 3). Con base en este lavado se calculó la pérdida de nitrato como producto del volumen quincenal de agua y su contenido en nitrato. El Cuadro 3 presenta los datos calculados. Se observa en este cuadro, confirmando resultados presentados anteriormente, los efectos de los niveles de N aplicados y del sistema de cultivo usado sobre el movimiento del N. Se detectó que las pérdidas aumentan con el nivel de aplicación, no solamente en cantidad sino también en porcentaje de lo aplicado. También, las pérdidas son menores con cultivos mixtos que con monocultivos, confirmando la eficiencia de este sistema maíz-ayote en cuanto a utilización del N.

LITERATURA CITADA

- BENAVIDES, G. 1972. La mineralización del nitrógeno en suelos de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 4(1): 37-68.
- BOUYOUCOS, G.L. 1928. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science* 28:365-369.
- BREMNER, J.J. 1985. Total nitrogen. In *Methods of soil analysis II Chemical and microbiological properties*. Ed. by C.A. Black. Madison, ASA Agronomy No. 9 p. 1149-1176.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE 68 p.
- GONZALEZ, M.A.; PACHECO, R.; BRICEÑO, J.A. 1985. Efectos de la urea y del nitrato de amonio sobre la movilidad de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Dystropep de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 9(2):241-252.
- HART, R.D. 1979. Agroecosistemas: conceptos básicos. Turrialba, Costa Rica. CATIE 211 p.
- HOLLE, M.; HART, R.D. 1981. Efecto de seis factores agronómicos de manejo del agrosistema maíz-*Cucurbita* spp. In *Reunión Anual de PCCMCA Santo Domingo, República Dominicana*. v 1, p. 1-11.
- JACKSON, M.L. 1982. *Análisis químico de suelos* 4 ed. Barcelona, España, Omega p. 254-281.
- KEENEY, D.; NELSON, D.W. 1982. Nitrogen; inorganic forms. In *Methods of soil analysis II. Chemical and microbiological properties*. Ed. by A.L. Page. 2 ed. Madison, ASA Agronomy No. 9 p. 643-693.
- SAIZ DEL RIO, J.F.; BORNEMISZA, E. 1967. *Análisis químico de suelos: métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad*. 2 ed. Turrialba, Costa Rica. IICA 107 p.
- SANCHEZ, P.A. 1981. *Suelos del trópico: características y manejo*. Trad. por E. Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
- VOSE, P.B. 1982. The need to integrate associative N₂ fixation and soil organic matter studies. In *Proceedings of Regional Colloquium on Soil Organic Matter Studies*. Ed. by C.C. Cerri, D. Athie, y D. Soderishi. São Paulo, Brasil, CENA-USP-Promocet Eds p. 81-86.

Reseña de Libros

SISTEMAS AGROFORESTALES; PRINCIPIOS Y APLICACIONES EN LOS TROPICOS. 1986. Organización de Estudios Tropicales (OTS) y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). San José, Costa Rica. 818 p.

En la última década se ha despertado en los investigadores de agroecosistemas un marcado interés en el estudio, tipificación y caracterización de los sistemas agroforestales, los cuales se han empleado en los trópicos desde hace ya decenas de años. Esto ha motivado la celebración de numerosos eventos internacionales e intranacionales sobre el tema y al establecimiento del "International Council for Research in Agroforestry" (ICRAF), organismo internacional especializado en sistemas agroforestales con sede en Nairobi, Kenia.

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha mostrado, desde hace ya varios años, un liderazgo en el estudio de estos sistemas en la América tropical. La presente obra es una valiosa contribución de ese centro en colaboración con la Organización de Estudios Tropicales (OTS), consorcio de universidades latinoamericanas y norteamericanas, sobre este importante campo de los sistemas agroforestales.

El libro pretende ser un primer esfuerzo tendiente a recopilar la información de campo y la investigación que se ha producido sobre el tema en el trópico americano, aunque también incluye observaciones del paleotrópico. Este trabajo está dividido en siete capítulos cuyo contenido es el siguiente:

I. Introducción: define el concepto de sistema agroforestal y muestra un vistazo sobre el contenido y pretensiones de la obra.

II. Sistemas Agroforestales: Con base en la definición de lo que es un sistema agroforestal, caracteriza sus principales tipos.

III. Planteamiento de Sistemas Agroforestales: La Caracterización del Area: Muestra la metodología que se debe emplear para definir el uso de la tierra

de un determinado sitio y con base en esto, determinar si es posible el establecimiento en ese lugar de un sistema agroforestal.

IV. Selección de Sistemas Agroforestales: Con fundamento en las características del sitio se discuten varias alternativas de utilización de la tierra bajo sistemas agroforestales.

V. Manejo y Evaluación de Sistemas Agroforestales: Se mencionan los elementos que se deben tomar en cuenta en el manejo de los sistemas agroforestales tropicales y los métodos que se pueden emplear a este respecto.

VI. Difusión de Sistemas Agroforestales: Con base en el conocimiento actual sobre estos sistemas se discute, con cierto detalle las limitaciones y el potencial que éstos tienen en el uso racional de la tierra en los trópicos. A manera de ilustración se mencionan varios casos de Costa Rica y uno de Tanzania, en los que se ilustran diferentes tipos de combinaciones: ganadería y árboles, agricultura y árboles, etc. Este capítulo tiene una fuerte inclinación didáctica ya que, mediante ejercicios, una guía para el instructor y lecturas complementarias, se sientan las bases para la puesta en marcha de un curso introductorio sobre agroforestería.

Es importante mencionar también que, en cada uno de los capítulos, se incluye una bibliografía muy actualizada sobre el tema que se trata. Además, al final de la obra se presenta, a manera de apéndice, información muy valiosa sobre; centros que suministran semillas de utilidad agroforestal, centros de información sobre el tema institucionales interesadas en el estudio de estos sistemas y un inventario de sistemas agroforestales en América Latina, con detalle sobre el ambiente y los organismos que en cada caso se combinan.

Considero que las instituciones y personas que intervinieron en la preparación de esta obra han realizado una magnífica labor de recopilación y de síntesis, por lo que merecen un reconocimiento de parte de todos los que nos interesamos en el uso racional del suelo. Sin duda, esta obra será de consulta obligada para planificadores y técnicos agropecuarios y forestales que laboran en los trópicos; pero, además, por la forma clara y sencilla en que está escrita, su lectura es también asequible a agricultores y ganaderos interesados en hacer un mejor uso de sus tierras.

LUIS A. FOURNIER O.
ESCUELA DE BIOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA