PROMECAFE

FUNDAMENTOS ECOLOGICOS DEL CULTIVO DE CAFE

Luis A. Fournier O.
Sección de Ecología
Escuela de Biología
Universidad de Costa Rica

IICA

ZONA NORTE

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS – OEA

Esta publicación pertenece a una serie que tiene como propósito poner al alcance de los técnicos que trabajan en café, de caficultores progresistas y de agrónomos en general, artículos en castellano o traducciones de artículos en otros idiomas, que por su circulación restringida no alcanzan a llegar a un público más extenso y por su utilidad y valor merecen conocerse en los países que forman el PROMECAFE.

ISSN 0534-5391

Serie de Publicaciones Misceláneas No. 230

PROMECAFE

FUNDAMENTOS ECOLOGICOS DEL CULTIVO DE CAFE

Luis A. Fournier O.
Sección de Ecología
Escuela de Biología
Universidad de Costa Rica

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS
OEA

ZONA NORTE

IICA Fournier, Luis
PM–20 Fundamentos ecológicos del cultivo de café. San José, Costa Rica: IICA, PROMECAFE, 1980.
29 p. – (IICA: Publicación Miscelánea; no. 230).

1. Café – Ecología. I. Título. II. Serie

AGRIS F40 Dewey 633.73

FUNDAMENTOS ECOLOGICOS DEL CULTIVO DE CAFE

Luis A. Fournier O.
Sección de Ecología
Escuela de Biología
Universidad de Costa Rica

Desde los albores de la humanidad la naturaleza ha ofrecido al hombre una continua oportunidad para observarla y descubrir sus principios fundamentales. El hombre ha aprovechado gradualmente esta oportunidad, de acuerdo con las capacidades de su desarrollo cultural y con el correr del tiempo se ha llegado a percatar que en la naturaleza hay unidad, que ella es un todo, un todo complejo.

La comprensión de esta situación llevó al hombre a la búsqueda de una interpretación integral de la naturaleza, que se logró denominar como ecosistema, no sin antes haber sido propuestos muchos otros términos, como complejos de la naturaleza, biogeocenosis, holocenosis, biosistema, etc (10).

Fosberg (14) uno de los precursores de este concepto, define el ecosistema como un sistema de interacción, compuesto por uno o más organismos vivientes y su ambiente efectivo, tanto físico como biológico.

Conferencia dictada en el Curso Internacional sobre Caficultura Intensiva. PROMECAFE-CATIE, Turrialba, Costa Rica. Setiembre, 1978.

Por su parte Odum y Odum (23) consideran que existe un ecosistema en cualquier área en donde los organismos vivientes y los elementos abióticos del medio presenten una relación de intercambio de materiales.

De las varias interpretaciones del concepto de ecosistema, es posible inferir que este se compone de dos fases principales: la viviente (biótica) y la inerte (abiótica). La fase abiótica está constituida por los elementos climáticos, edáficos y fisiográficos y la biótica por las plantas y los animales, cualquiera que sea su tamaño y su grado de complejidad estructural y funcional.

La fase biótica de un ecosistema es susceptible de subdividirse en dos categorías de organismos, los autótrofos y los heterótrofos. En el primer grupo se incluyen todos aquellos organismos que como las plantas verdes y las bacterias quimiosintéticas, son capaces de llevar a cabo la síntesis de compuestos orgánicos complejos a partir de compuestos minerales simples, por medio de la utilización de la energía radiante del sol, o la liberada en reacciones de oxidación-reducción. Por otra parte, el grupo de los heterótrofos lo integran los animales y todas aquellas plantas que son incapaces de llevar a cabo este tipo de síntesis y que por lo tanto, dependen de los organismos autótrofos para satisfacer sus necesidades energéticas. Desde luego se incluyen aquí todos los protista no fotosintéticos.

Con base en esta diferencia en aprovechar la energía se acostumbra denominar a los organismos autótrofos como productores y a los heterótrofos consumidores.

En el grupo de los consumidores es posible reconocer dos categorías: macroconsumidores, que son aquellos organismos que como las plantas parásitas y los animales se alimentan de otros organismos o de cierto tipo de sustancias orgánicas y los microconsumidores que son las bacterias y los hongos que ayudan a la descomposición de la materia orgánica. Los microconsumidores, que se conocen, también como descomponedores, son muy importantes, como se verá más adelante, para la estabilidad del ecosistema.

El ambiente

El conjunto de factores del medio y sus interacciones, que en forma directa afectan a determinado organismo durante alguna etapa de su ciclo de vida,

constituye el ambiente de este organismo.

Esta definición de ambiente presupone las siguientes consideraciones: a) el ambiente es una función del organismo, es decir, existe en función del organismo y por tanto, se hace necesario diferenciar entre ambiente activo, el que en un momento dado afecta directamente al organismo y el potencial que es aquella parte del medio que puede llegar a afectarlo en un futuro; b) el ambiente varía con el tiempo, es decir, muestra periodicidad, ya que el aprovechamiento que los organismos hacen del medio o la acción que este tiene sobre ellos muestra constantes variaciones; c) el ambiente varía con la ontogenia del organismo, debido a que los requerimientos de este varían cualitativamente y cuantitativamente durante su ciclo de vida.

Elementos ambientales

En el Cuadro siguiente se presenta un resumen de los elementos ambientales, basado principalmente en la división propuesta por Kramer y Koslowski (18).

ELEMENTOS AMBIENTALES Y SUS CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES

Elementos	Características
Climáticos:	
Luz	Intensidad, calidad, duración (fotoperíodo)
Temperatura	Fluctuaciones, duración (termoperíodo)
Precipitación	Cantidad, frecuencia, distribución estacional, calidad.
Humedad	Variaciones, duración
Vientos	Velocidad, duración, dirección
Gases	Variaciones en concentración; oxígeno, bióxido de carbono, nitrógeno y en contaminaciones (bióxido de azufre, halógenos, humo, polvo, gases)
Edáficos:	
Características del sustrato	
Quimicas	Estructura, textura, aireación, humedad, temperatura

Elementos	Características
Químicas	pH contenido de minerales y compuestos orgánicos, capacidad de intercambio de bases.
Bióticas	Contenido de materia orgánica, plantas y animales y sus secreciones.
Geológicas	Origen de los materiales formadores del suelo, vulcanismo.
Fisiográficas	Topografía, grado de pendiente y de exposición.
Bióticas	
Hombre	Mejoramiento de plantas, desmonte, drenaje, fuego, fertilización, poda, ralea, desyerbe (químicas y mecánicas), irrigación, contaminación, combate de plagas y de enfermedades, etc.
Plantas	Competencia (agua, luz, nutrimentos, espacio) parasitismo, mutualismo, etc.
Animales	Ramoneo, pastoreo, polinización, transmisión de enfermedades, dispersión de propágulos y de polen, parasitismo, etc.
Virus	Parasitismo

Factores limitantes y ámbito de tolerancia

El crecimiento normal de una planta de café está determinado por la interacción de todos los diversos elementos y factores que constituyen su ambiente. Sin embargo, es interesante anotar, que este crecimiento está fuertemente supeditado a los elementos o factores que se encuentran en menor cantidad o en exceso. Estos factores y elementos que limitan el crecimiento de una planta de café pueden ser tanto de carácter físico (luz, humedad, nutrimentos) como bióticos (hongos, insectos, bacterias, nemátodos, malas hierbas). Una especie de

café como Coffea arabica L., está dotada de un determinado potencial genético que se manifiesta a través del grado de adaptabilidad al ambiente de los diversos cultivares y variedades que la integran. Esta situación le permite a la especie el crecer con éxito en un territorio bastante amplio, de acuerdo al ámbito de tolerancia de sus individuos. Se tiene entonces, que cada especie tiene un ámbito de tolerancia con respecto a los componentes de su ambiente con dos puntos extremos, uno máximo y otro mínimo y una zona óptima

MINIMO ---------- OPTIMO ---------- MAXIMO

Así pues, tanto los excesos como faltantes de un factor o elemento del ambiente pueden tornarse limitantes para la planta de café. Por ejemplo, un suelo con exceso de humedad puede ser tanto o más limitante para el crecimiento del cafeto que uno en que este elemento se encuentra a un nivel inferior de la capacidad de campo del suelo. Casualmente, el éxito de un cultivo de café en una determinada región depende de que las variedades que ahí se planten tengan un ámbito de tolerancia adecuado al ambiente de ese sitio.

En el caso del café (Coffea arabica L.) una planta nativa de las montañas de Etiopía, su ámbito de tolerancia anda cerca de los 18 a 21°C que es la temperatura promedio de esa región. Por otra parte, la precipitación es ahí de unos 1600 a 2000 mm de promedio por año. El café ocurre aquí en el estrato leñoso inferior de un bosque de cuatro estratos (el superior de 30-40 m) en un ambiente de plena sombra, no expuesto a temperaturas excesivas (27). Se considera que la precipitación mínima anual para el café es de unos 1000 mm, siempre que esté bien distribuida, pero el valor óptimo es de unos 1700 mm (2, 17, 21, 27). Según Maestri y Barros (21) las plantaciones comerciales de café están distribuidas desde Cuba, 22°Norte a 26°Sur, en Paraná, Brasil. Más allá de estos límites las temperaturas por debajo de los 12°C, durante períodos muy largos, inhiben el crecimiento y el desarrollo de la planta.

Odum y Odum (23) sugieren una serie de principios complementarios a la ley general de tolerancia:

1. Los organismos pueden tener un ámbito de tolerancia amplio para un factor y estrecho para otro.

2. Los organismos con ámbitos amplios de tolerancia para todos los factores de su ambiente muestran por lo general una mayor distribución.
3. Cuando las condiciones no son óptimas para una especie, con respecto a un factor ecológico, los límites de tolerancia se pueden reducir con respecto a los otros factores.
4. El límite de tolerancia y el ámbito óptimo para un factor físico, a menudo varía geográficamente y estacionalmente dentro de una misma especie; es decir, los organismos se ajustan a las condiciones locales.
5. A veces se puede determinar experimentalmente que los organismos en su forma natural no ocupan su ámbito con respecto a un factor físico. En tales casos es muy probable que otros u otro factor sean más importantes.
6. En el período de reproducción es en el que los factores ambientales se tornan más críticos.

El cafetal como un ecosistema

Como se ha indicado al principio de este trabajo, un ecosistema se establece cuando se produce un flujo de energía del medio físico hacia los seres vivientes, fundamentalmente a través del proceso de fotosíntesis. Conforme el hombre ha ido colonizando la tierra, los ecosistemas naturales, tales como los bosques, han ido cediendo lugar a ecosistemas "artificiales" como es el caso del agroecosistema de un cafetal. Estos ecosistemas se establecen con un objetivo muy definido, como es el de suministrar un determinado producto o productos agrícolas. El mantenimiento de la producción en estos agroecosistemas depende fundamentalmente de la capacidad que tenga el hombre de aprovechar, de manera racional, el ambiente del lugar en beneficio de la especie o especies cultivadas en ese sitio.

Veamos ahora cuales son los componentes y características más importantes de un agroecosistema cafetalero, con el fin de comprender mejor las bases ecológicas de la producción de café.

En un agroecosistema cafetalero existe un conjunto de poblaciones de diferentes especies, tanto de organismos productores como consumidores y es

en realidad la interacción de estas poblaciones la que permite obtener una determinada producción en el sistema. Por lo tanto, es importante revisar brevemente algunas de las características más sobresalientes de una población.

Características de una población

1. Natalidad: es la capacidad intrínseca que tiene toda población de aumentar en número con base en su capacidad reproductiva.
2. Mortalidad: los individuos que mueren en una población en un tiempo determinado ya sea por accidente o porque hayan completado su ciclo de vida.
3. Migración: número de individuos que entran o salen de una población en un tiempo dado.
4. Distribución de edades: número de individuos que ocurren en cada una de las categorías de edad que constituyen la población.
5. Crecimiento: la interacción de la natalidad, mortalidad, migración y distribución de edades en un determinado tiempo permite a la población aumentar o disminuir su número de individuos.
6. Densidad: número de individuos de una población que ocupa un área determinada.
7. Frecuencia: distribución de los individuos de la población en su área de ocurrencia.
8. Estructura: disposición espacial de la población.
9. Cobertura: proyección de la parte aérea sobre el substrato.
10. Fisonomía: apariencia del conjunto de individuos de la población.
11. Periodicidad: cambios que sufre una población en el resto de sus características durante un determinado tiempo.
12. Area de distribución: el espacio del substrato que ocupa una población.

En el caso de un cafetal, las poblaciones de las especies que lo constituyen puede que no tengan todas estas características, debido a que la mayoría de estas especies son reguladas por el hombre. Por ejemplo, si tomamos la especie principal, el café, se puede observar que las varias características que determinan el número de individuos en la población, o sea, su densidad (natalidad, migración, distribución de edades) son reguladas estrictamente por el sistema de cultivo y lo

mismo se puede decir de la frecuencia, estructura, cobertura y área de distribución. Sin embargo, no ocurre lo mismo con respecto a la periodicidad y fisonomía, ya que estas características están estrechamente ligadas a la reacción genético-fisiológica de las plantas a la periodicidad de los cambios ambientales. Esto se manifiesta en la periodicidad en la absorción neta de los diferentes elementos minerales del suelo (4), o con respecto a los períodos de maduración del fruto (13). Por otra parte, si se considera otra de las especies frecuentes en el ecosistema cafetalero, como el "chapulín del café" (Idiarthron atrispinum) se verá que las características de su población son un tanto más naturales, ya que el tamaño de ésta por lo general esta regulada como en toda población natural, por las condiciones climáticas, disponibilidad de alimento y enemigos naturales.

Potencial biótico, resistencia ambiental y productividad

Las características de una población le confieren a ésta un potencial de crecimiento (aumento en número) o de productividad (fijación de materia y energía) que varía según las condiciones ambientales. En el caso de las plantas verdes, como el café, la productividad es prácticamente equivalente a su capacidad de llevar a cabo fotosíntesis.

Esta capacidad potencial que tiene una población de aumentar en número o de acumular energía y materia se denomina potencial biótico. Este potencial biótico llega a expresarse en toda su magnitud, cuando todos los parámetros del ambiente se encuentran en un nivel óptimo. Esta situación prácticamente no se presenta en la realidad, ya que el complejo ambiental siempre ejerce ciertas limitaciones sobre la población. Esta limitación del potencial biótico se denomina resistencia ambiental y es un concepto de suma importancia para la comprensión de los sistemas de producción agrícola, ya que la agricultura es una lucha constante por reducir el efecto de la resistencia ambiental sobre los organismos que el hombre cultiva.

Por ejemplo, como se muestra en un estudio de Pérez González y Gutiérrez (24) el potencial biótico de la especie Coffea arabica L. es bastante diferente entre los diversos cultivares de la especie, sobresaliendo "Caturra" con una alta productividad; un promedio de 14.782 kg/ha en seis cosechas. Pero aún en este cultivar

si se disminuye la resistencia ambiental, se puede lograr una mayor manifestación del potencial biótico. Así en la cosecha 1977-1978 con una adecuada distancia entre plantas, y con control fitosanitario y labores culturales eficaces, se logró obtener una producción de 29.220 kg/ha (5).

Características de un agroecosistema cafetalero

A continuación se hará un breve análisis de las principales características de un agroecosistema cafetalero, con base en el modelo presentado en la Figura 1.

Medio ambiente: Esta constituido por las condiciones físicas, químicas y topográficas del suelo, así como por los factores y elementos climáticos (luminosidad, temperatura, vientos, humedad etc.)del sitio. Este medio ambiente natural tiene cierta resistencia ambiental que puede ser disminuida mediante el uso de la sombra, fertilización, manejo de suelos, labores culturales, etc.

Biota: La biota de un cafetal es en apariencia sencilla, si la comparamos con la de un bosque tropical, pero cuando ésta se analiza, aunque sea en forma somera, se ve que es compleja.

Productores: En este grupo se incluyen todos los organismos autótrofos, o sea los que son capaces de obtener energía del medio ambiente físico y fijarla en compuestos orgánicos complejos. Esta categoría la componen las plantas de café, los árboles de sombra, las malas hierbas y todas las plantas inferiores fotosintéticas y quimiosintéticas, que ocurren tanto en el suelo del cafetal como en los varios substratos aéreos (hojas, ramas, troncos, piedras) algas, musgos, helechos, líquenes y bacterias.

Consumidores: Este grupo de organismos se compone de aquellas especies heterótrofas, que no son capaces de obtener su energía del medio físico y que por lo tanto tienen que aprovecharse de los tejidos de otros organismos vivientes o sus desechos para que llenar sus requerimientos energéticos. En este grupo hay dos grandes categorías, los macroconsumidores que derivan su energía de tejidos vivos y los microconsumidores (principalmente hongos y bacterias) que actúan en la descomposición de la materia orgánica y que por lo tanto tienen gran importancia en los ciclos de los

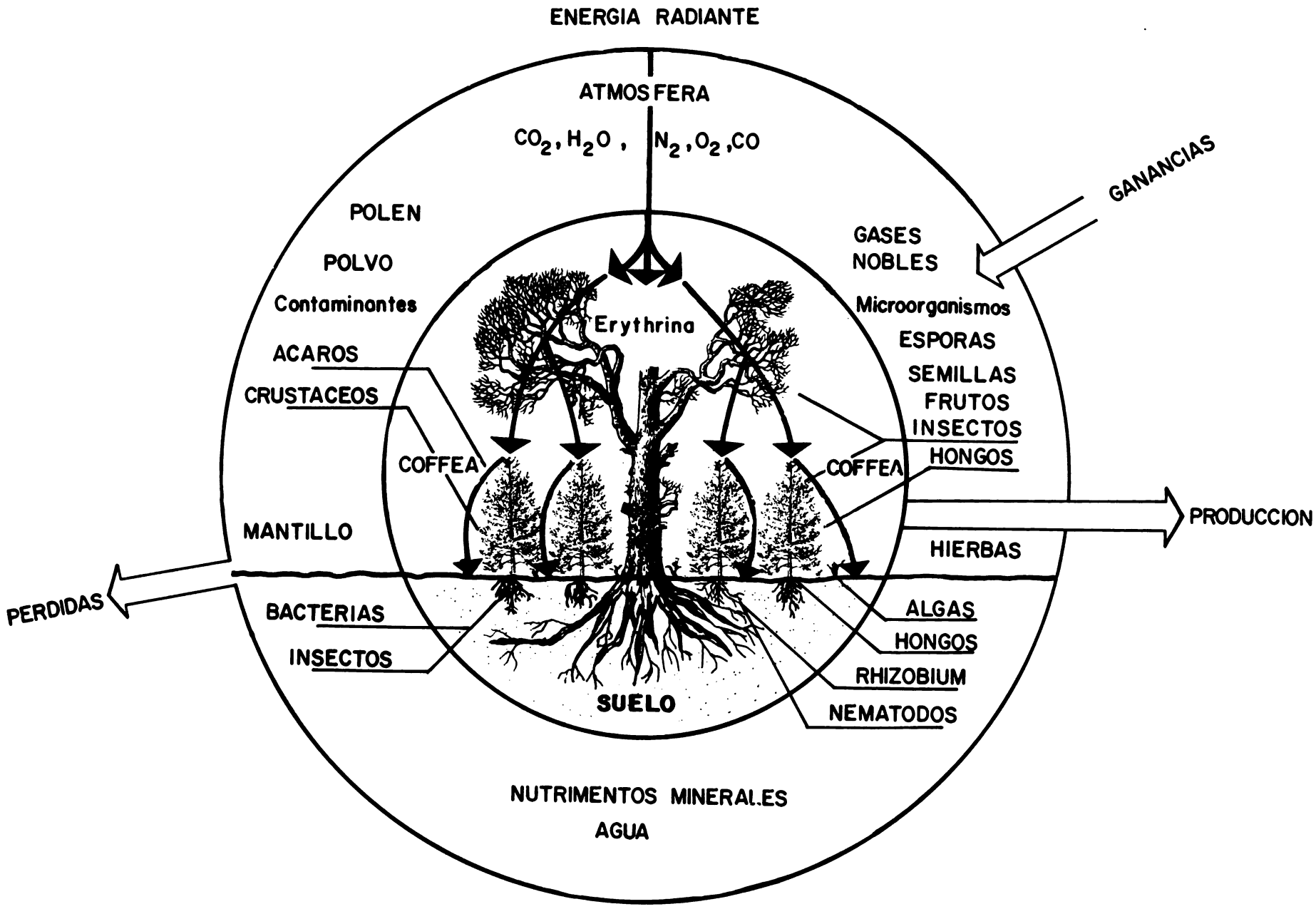


FIG = 1 ESQUEMA DE UN AGROSISTEMA CAFETALERO

elementos minerales en el cafetal. Los macroconsumidores son un grupo harto complejo que incluye tanto animales como plantas y son elementos muy importantes de la resistencia ambiental en el ecosistema cafetalero. Se incluyen aquí todos los hongos patógenos, tanto los que atacan la parte aérea de la planta (Mycena citricolor, Hemileia spp., Cercospora coffeicola, Phoma costarricensis, etc.), así como el sistema radical (Ceratocystis fimbriata, Fusarium sp., Rosellinia spp.). También comprende, nemátodos, insectos, ácaros, etc., que atacan a la planta de café y a los árboles de sombra. También son macroconsumidores algunos animales superiores componentes ocasionales de los cafetales como: los pájaros, serpientes, largartijas, ardillas, zorros, etc, así como los polinizadores que visitan la plantación cuando florecen los cafetos, los árboles de sombra o algunas de las malas hierbas.

Relaciones dentro del ecosistema

La estrecha unión que existe entre la fase biótica y la abiótica del ecosistema da lugar a una serie de relaciones que se detallarán a continuación:

Productividad

Elaboración por medio de las plantas verdes y las bacterias quimiosintéticas de una serie de compuestos orgánicos complejos a partir de sustancias minerales simples. Este proceso suministra al ecosistema el material y la energía necesaria para los procesos vitales.

En el agroecosistema cafetalero la productividad depende fundamentalmente del proceso de fotosíntesis, mediante el cual las plantas de café absorben la radiación energética y la transforman en enlaces químicos ricos en energía. En el proceso de fotosíntesis intervienen procesos fotoquímicos, otros exclusivamente enzimáticos que no requieren ninguna radiación luminosa (las llamadas reacciones oscuras) y, por último, unos procesos de difusión por lo que tienen lugar los intercambios de anhidrido carbónico y oxígeno entre el cloroplasto y el aire exterior. Cada uno de estos procesos parciales está influido por factores internos y externos, que pueden limitar la productividad del proceso en conjunto. A este respecto, además de un adecuado suministro de nutrimentos minerales y control de las plagas y enfermedades que puedan disminuir el área foliar, la luz solar es de fundamental

importancia para la productividad del cafeto. Como la penetración de la luz en el sistema depende en alto grado del sombrío, es importante una adecuada regulación de la sombra. Según Carvajal (4) las experiencias efectuadas en Costa Rica demuestran que el cafeto produce más materia seca y fotosíntesis por unidad de área foliar cuando crece en condiciones de solana.

Transformaciones

Los organismos productores utilizan parte de la energía que capturan y de los materiales que elaboran, para satisfacer sus propias necesidades metabólicas. Como consecuencia de esto se pierde energía, pero se producen también sustancias orgánicas más complejas y se incorporan a los tejidos vegetales sustancias minerales. En esta transformación inicial que los organismos productores hacen de sus propios productos de síntesis se sientan las bases para otra serie de transformaciones que los organismos heterótrofos realizan de acuerdo con sus diversas formas de nutrición y de asimilación.

Utilización de la energía dentro del ecosistema cafetalero

Este es un aspecto importante de considerar para la estabilidad de este tipo de ecosistema, ya que como en todo agroecosistema, las fuerzas de la resistencia ambiental (plagas, enfermedades, malas hierbas, lavado de nutrimentos, etc.) son factores que tratan de disminuir el flujo de energía de las plantas de café a la producción de frutos; que es el principal objetivo del establecimiento de este sistema. Así que es necesario que estas pérdidas de energía se reduzcan a un mínimo, con el fin de mantener un adecuado nivel de energía para la producción.

Descomposición, excreción y acúmulo

Se entiende por descomposición la destrucción de compuestos orgánicos y su reconversión a compuestos inorgánicos y residuos orgánicos relativamente inertes. En este proceso se libera energía y se forman como productos finales agua, anhídrido carbónico y formas gaseosas, y no gaseosas de los diversos elementos minerales. En el ecosistema este proceso incluye la descomposición de los restos vegetales y animales por los hongos y las bacterias, así como también en un sentido más amplio la oxidación fisiológica (respiración) de todos los demás organismos integrantes del ecosistema.

La descomposición de los restos orgánicos en el ecosistema cafetalero es importante en el mantenimiento de los ciclos de los diversos nutrimentos minerales esenciales para el adecuado crecimiento del cafeto. En esta descomposición además de numerosos grupos de hongos y bacterias que utilizan estos restos como substrato, intervienen la microfauna del mantillo y del suelo. Es importante mencionar aquí que las poblaciones de estos grupos de organismos se pueden ver afectados seriamente por un desmedido empleo de productos agroquímicos.

Los organismos productores y consumidores del ecosistema liberan en el medio ambiente productos de su metabolismo (CO_2, H_2O, NH_4, SO_2, Urea, etc.), así como los restos de sus cuerpos o partes de ellos. Muchos de estos residuos son aprovechados por otros organismos, pero una buena parte de ellos intervienen en una serie de ciclos biogeoquímicos vitales para la estabilidad del ecosistema. Por otra parte, muchas de estas excreciones, como los antibióticos que producen algunos organismos, afectan adversamente a otros seres.

Una buena parte de las sustancias excretadas llegan a acumularse en el substrato en forma de compuestos relativamente estables. Algunos de estos compuestos como el humus, tienen un efecto favorable como mejoradores de las condiciones físicas y químicas del substrato.

Importación y exportación de materia y energía

Todo ecosistema es abierto, y en tales condiciones está sujeto a sufrir pérdidas y ganancias de energía y de materia. En un agroecosistema cafetalero las pérdidas pueden ser tanto naturales (erosión, lixiviación, arrastre de hojas y de minerales por el viento, migración de animales que se alimentan con partes de las plantas) o artificiales (extracción de la cosecha, extracción de leña de la poda de los cafetos o de los árboles de sombra). También, pueden ser naturales o artificiales las ganancias. Entre las naturales están el arrastre de suelo por erosión de otros ecosistemas y de materiales vegetales, tanto por acción de agua como el viento. Por otra parte el hombre incorpora al agroecosistema cafetalero nutrimentos minerales, abono orgánico, productos agroquímicos, plantas de resiembra,etc.

Equilibrio del ecosistema

La productividad de un ecosistema natural llega a alcanzar cierta estabilidad dinámica, como resultado de un equilibrio entre el medio físico y la biota. Este equilibrio se mantiene dentro de ciertos límites, siempre que no se produzcan alteraciones entre los diversos componentes del sistema. Sin embargo, en un agroecosistema como el de un cafetal, este equilibrio es muy frágil y depende enteramente de la acción del hombre. En el momento que un cafetal se abandona comienzan a operar las fuerzas de la sucesión ecológica que tienden a reestablecer en el sitio un ecosistema natural, que en su etapa final llega a lograr un equilibrio entre la fijación y el gasto de energía, de acuerdo a las condiciones naturales del sitio.

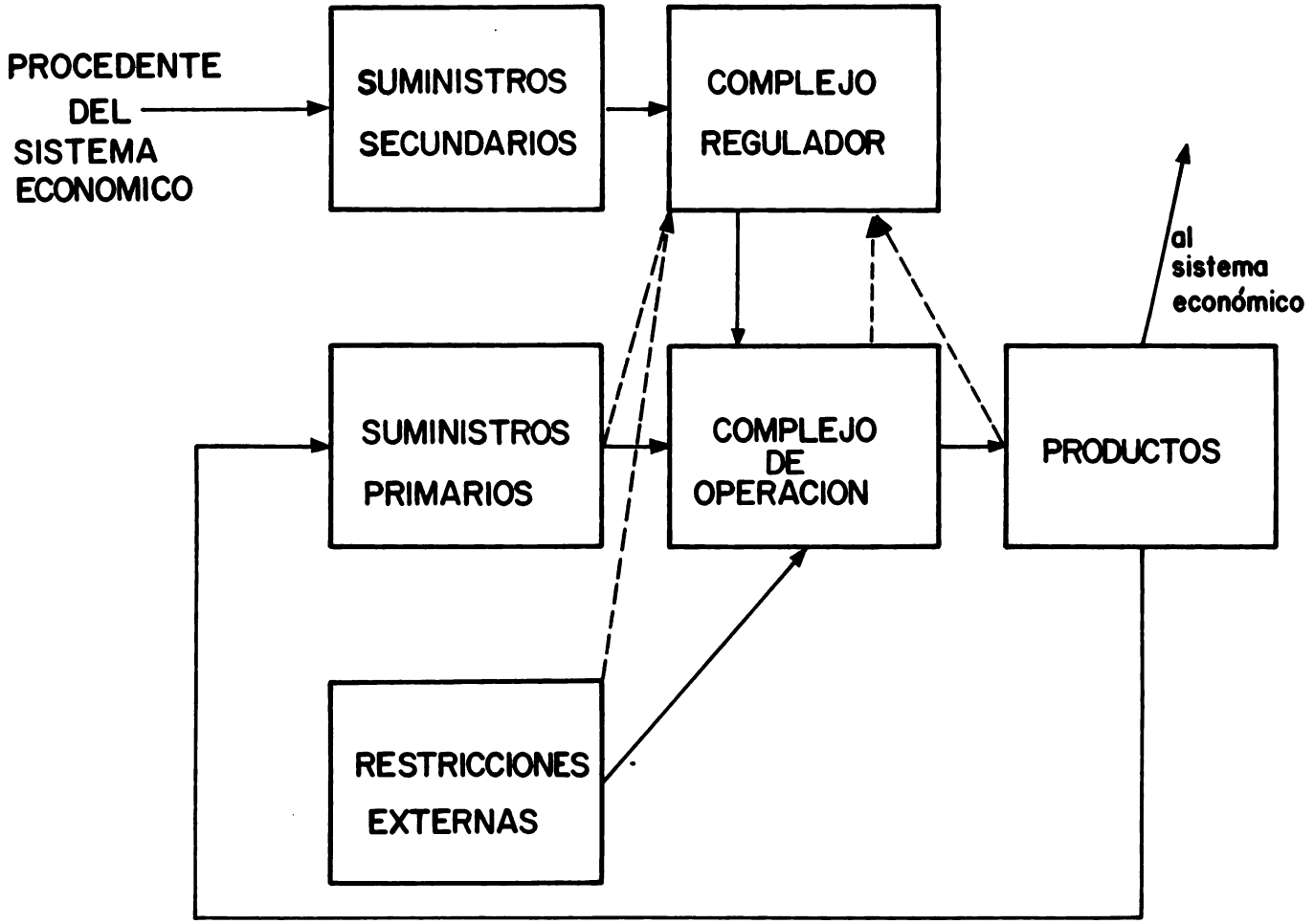
Modelos de ecosistemas productores de café

El éxito de la producción agrícola además de los factores socio-económicos (ecología humana) depende de como la tecnología pueda aminorar la resistencia ambiental que ejercen el clima, el suelo y la fisiografía sobre el potencial genético de los individuos que componen la población de plantas cultivadas.

En ecosistemas naturales la productividad resultante de esta interacción población-ambiente es lo fundamental; sin embargo, en agrosistemas lo que interesa en forma directa es la producción, o sea, aquella parte de la produtividad que se logra encauzar hacia uno o varios productos de interés económico. Por ejemplo, en un cafetal, lo que interesa es el volumen de la cosecha que este produce al año.

La Figura 2, tomada de Wallen (28) representa un modelo de agrosistema que servirá de base para el análisis de los varios modelos productores de café que se presentan en las Figuras 3-6. Este modelo se aplica a todo el sistema, pero es conveniente mencionar que como se indica en la Figura 7, que es el nivel de la planta individual que debemos enfocar nuestro interés, ya que la producción conjunta de todas estas unidades (los cafetos) es la que condiciona la producción de todo el sistema.

El modelo de la Figura 3 representa las condiciones naturales del bosque etíope que se considera como el área de origen de la especia *Coffea arabica* L., la que se cultiva más en la América Tropical. Este bosque es relativamente



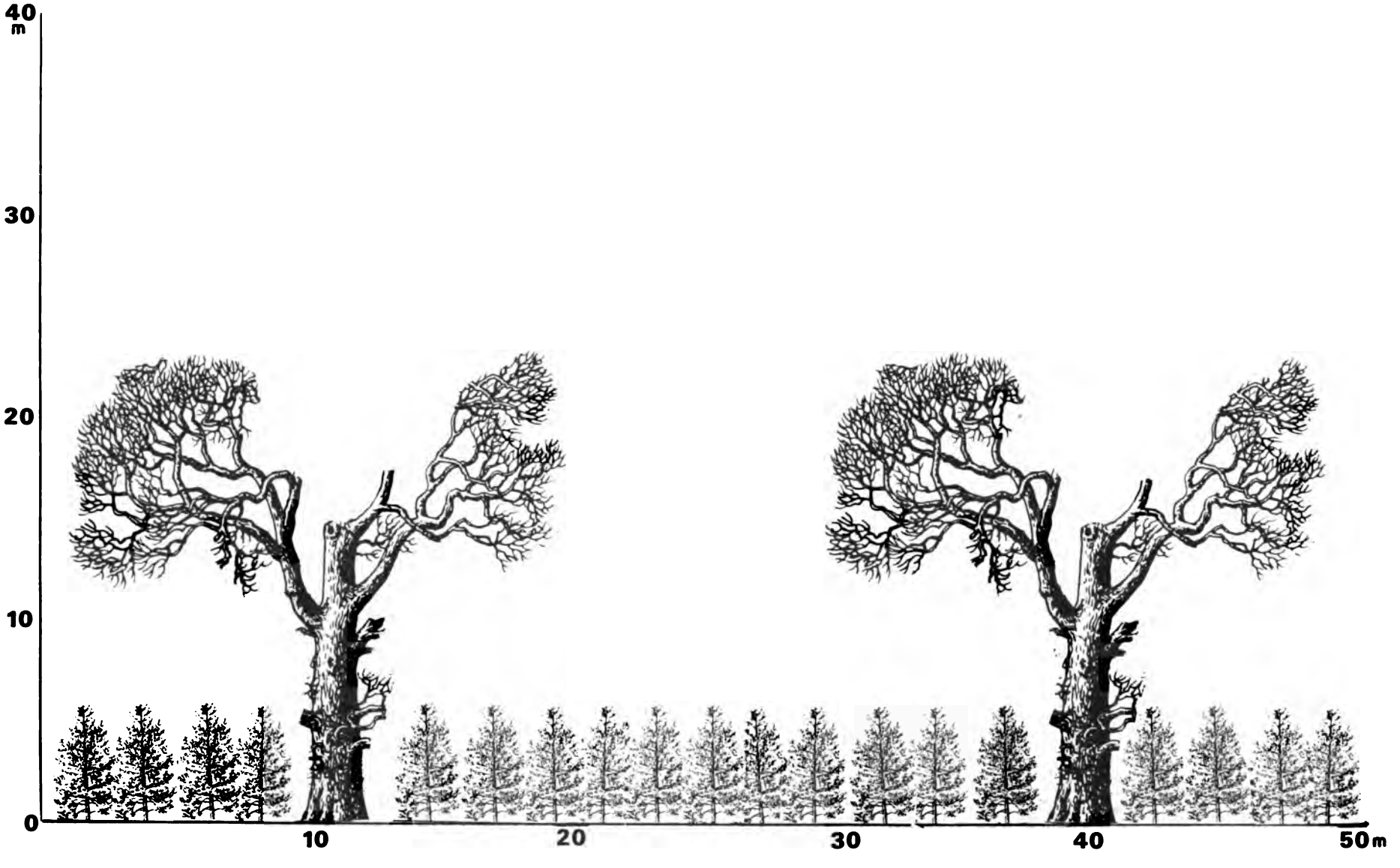
COMPONENTES=

Suministros primarios		suministros secundarios	restricciones externas	regulación	operación
ATMOSFERA	GEOSFERA				
radiación	tipo suelo	hombre	contaminantes	cultivo	planta
temperatura	prof. suelo	máquinas	enfermedades	nutrimentos	genética
precipitación	cobertura suelo	energía	pestes	pesticidas	fenología
evaporación		agua	malas yerbas	irrigación	fisiología
viento	nutrimentos	fertilizantes		protección de ambiente físico	productos cosecha desperdicios
gases					

FIG. 2 MODELO GENERAL DE UN AGROSISTEMA

FIG = 3 BOSQUE DE ORIGEN DEL CAFE

FIG = 4 CAFETAL CON EXCESO DE SOMBRA



FIG= 5 CAFETAL DE ALTA DENSIDAD DE SIEMBRA CON SOMBRA REGULADA

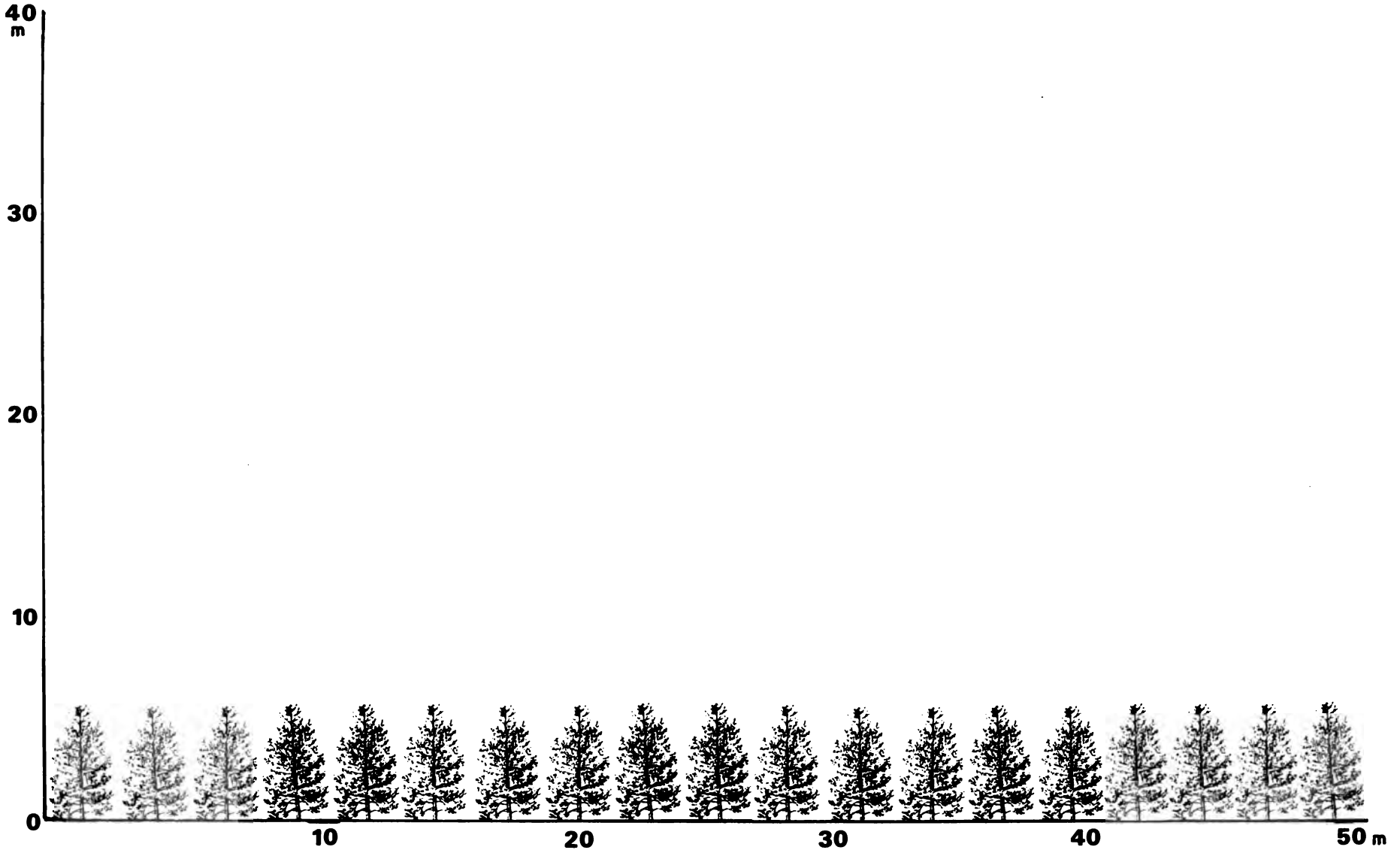


FIG = 6 CAFETAL CON ALTA DENSIDAD DE SIEMBRA Y SIN SOMBRA

complejo y en él están presentes diversos estratos de plantas leñosas.

Los modelos de las Figuras 4, 5 y 6 muestran tres situaciones de ecosistemas productores de café regulados por el hombre. Estas tres situaciones se pueden observar en la actualidad en los países productores de café de la América Latina. El primero de estos modelos (Fig. 4) es un cafetal en el que los suministros secundarios (ver Figs. 2 y 7) son relativamente bajos y en igual forma lo es el complejo regulador. En estas condiciones, la productividad y producción del ecosistema cafetalero dependen en alto grado de los suministros primarios y de las restricciones externas en interacción con el complejo de operación. También es en este sistema en el que los productos incluyen un alto porcentaje de desechos no pertenecientes a la producción de café. Los modelos de las figuras 5 y 6 ilustran dos ecosistemas productores de café en los que emplean un alto grado de tecnología (suministros secundarios-complejo regulador) de ahí que los suministros primarios se vean en ambos casos muy reforzados y las restricciones externas altamente reducidas. Por tal razón la producción aumenta grandemente. No obstante, entre estos dos ecosistemas cafetaleros existe una diferencia notable, uno de ellos opera bajo sombra regulada (Figura 5) mientras que el otro (Figura 6) representa la máxima expresión de los suministros secundarios sobre los complejos regulador y de operación. Este es un cafetal cultivado a plena exposición solar, con alta densidad de siembra, alto nivel de fertilización química y un estricto combate de plagas, enfermedades y malas yerbas. Estas últimas altamente reducidas en cuanto a densidad y complejidad florística, por la falta de luminosidad. En este tipo de ecosistema altamente dependiente de la tecnología, la productividad y la producción son menos diferentes que en los otros casos contemplados.

En el área cafetalera de Costa Rica se observan ya numerosos cafetales bajo estas condiciones del modelo de la Figura 6, en donde la densidad por hectárea es de 7200 plantas y la producción de café en el tercer año de plantados es de cerca de 5.500 kg por hectárea (25).

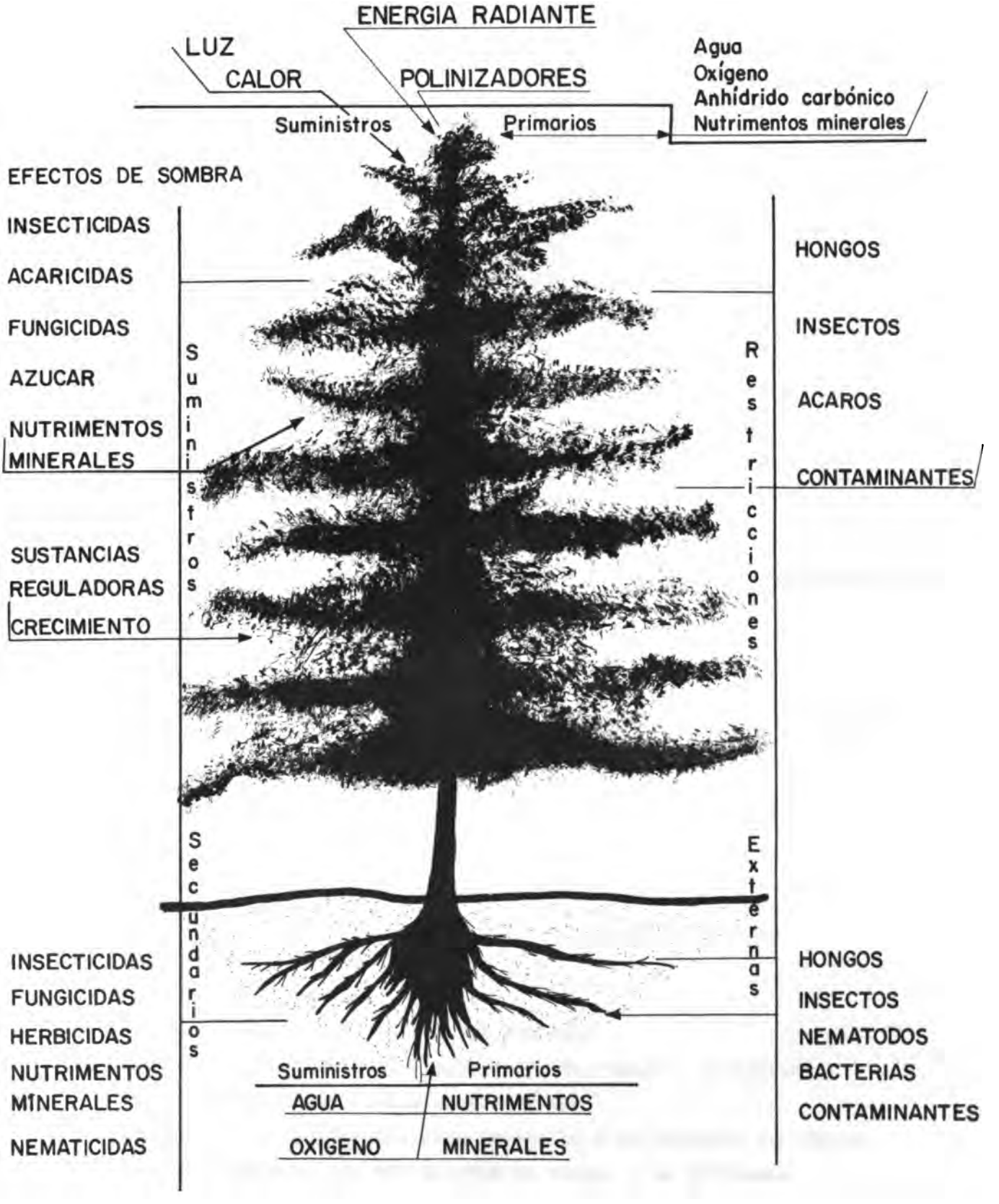


FIG. 7 = FACTORES Y ELEMENTOS DETERMINANTES DE LA PRODUCCION DE UNA PLANTA DE CAFE.

Alteraciones del ambiente natural con el establecimiento de un ecosistema productor de. café

Como se puede observar en los modelos de agrosistemas cafetaleros de las Figuras 3-6 el establecimiento de un cafetal elimina por completo, para efectos prácticos, el bosque natural. Esto condiciona un cambio notable en las condiciones microclimáticas y edáficas del sitio, cuya cabal comprensión es de gran importancia para el establecimiento de una plantación estable con un alto rendimiento sostenido.

A continuación se presenta un breve resumen de estos cambios, que con mayor detalle se pueden consultar en los trabajos de Fournier (10), Hardy (15) y Holdridge (16).

1. Aumento en la luminosidad.
2. Aumento en la temperatura del suelo y de la atmósfera circundante así como en su fluctuación diurna y anual.
3. Aumento en la evaporación.
4. Disminución de la humedad relativa.
5. Aumento en la intensidad y patrón de movimiento de las corrientes de viento.
6. Disminución de la capacidad de infiltración del suelo.
7. Aumento en la escorrentía.
8. Disminución de la humedad del suelo.
9. Cambios en la dinámica de los gases en el suelo.
10. Disminución en el contenido de materia orgánica del suelo.
11. Cambios en la reacción del suelo.
12. Aumento en la erosión.
13. Aumento en la mineralización del mantillo.
14. Cambios en la microflora y microfauna del suelo y el mantillo.
15. Interrupción de los ciclos biogeoquímicos.
16. Desarrollo de un microambiente favorable a la sucesión ecológica con un aumento de las poblaciones de yerbas y de gramíneas.

Estos cambios se manifiestan en mayor grado en una situación como la representada en la Figura 6, lo que hace que este sistema, ecológicamente simple,

sea más vulnerable que los otros a los efectos de las restricciones externas.

Es evidente que la planta de café que originalmente crecía en los bosques de Etiopía, difiere en mucho de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas que como el cultivar "Caturra" se plantan ahora en estos agrosistemas altamente tecnificados. Ha sido necesaria esta evolución en la especie para poder adaptarse a un sistema regulado por el hombre que demanda una alta producción pero que también tiene un alto costo. Los cambios más notables que se han podido observar son: disminución en el tamaño de la planta, disminución en el ángulo de inserción de las ramas, disminución en la separación entre pares de ramas y entre nudos, aumento en el número de flores por nudo; aumento en el tamaño de las hojas, en el número de estomas, en la estructura del sistema radical, etc. Algunos de estos cambios se ilustran a continuación en que se comparan a este respecto los cultivares "Typica" y "Caturra".

Comparación entre algunas características de los cultivares "Typica" y "Caturra" de Coffea arabica L. (11)

Característica	Typica	Caturra
Longitud de la hoja cm	13,88	13,98
Ancho de la hoja cm	5,69	7,15
Long/ancho de la hoja	2,44	1,95
Longitud de la semilla cm	1,088	0,982
Ancho de la semilla cm	0,688	0,728
Long/ancho semilla	1,48	1,35
Angulo de inserción de ramas	63°	58°
Ramas con más de 20 flores/nudo	-50%	+50%
Longitud de internodios	5,07	2,63
Altura de la planta m	+3,00	-3,00
Ancho del vástago m	+1,00	+1,00
Resistencia al viento	poca	mucha
Producción de kg/ha (24)	10.840	14.782
Area foliar (4)	100%	113%

Lo anterior muestra que ha habido una tendencia a desarrollar un tipo de plantas de cafe de porte mediano, relativamente compacta, de hojas grandes,

internodio corto y resistencia al viento. Todas estas características la hacen mejor adaptada a los cambios que el hombre ha introducido al ambiente natural en que crecía esta planta. No existe aún suficiente información sobre fisiología comparada de los cultivares más importantes de Coffea arabica L. pero es muy probable que también existan diferencias a este respecto.

Cronología de los diferentes factores y elementos del ambiente que determinan una cosecha de café

La Figura 8 representa en forma esquemática la secuencia e interacción de los diferentes componentes de la producción de café en un sistema altamente tecnificado. Este esquema trata de poner en evidencia que la magnitud de la cosecha que se recolecta en determinado período es consecuencia de un proceso acumulativo de productividad, que se proyecta 3-4 años atrás. Sin embargo, también en algunas oportunidades la cosecha de café puede depender de las restricciones externas de unos pocos días como es el caso de las heladas del Brasil, o de las estaciones secas extremas que a veces se presentan en el área cafetalera de Mesoamérica. En Costa Rica en el año 1977 algunas zonas cafetaleras tuvieron una sequía tan fuerte, que la cosecha alcanzó los niveles más bajos registrados en los últimos 10 años (Fournier, datos sin publicar).

Importancia de la fijación biológica de nitrógeno en plantaciones de café

En las páginas anteriores se ha presentado un análisis de diversos aspectos ecológicos que el autor considera de importancia en la producción moderna de café. Es indudable, que estas notas son muy someras, pero dejan planteado un marco de referencia para que otros distinguidos colegas ahonden en los diversos aspectos de la producción de café.

Sin embargo, se ha considerado conveniente discutir con cierto detalle uno de los muchos aspectos de la ecología de los sistemas de producción de café, el de la fijación del nitrógeno por la acción de microorganismos, por la importancia que este tiene en la actualidad.

El nitrógeno es uno de los elementos minerales de mayor importancia en la nutrición de las plantas y casi todos los suelos en que se cultiva café las plantas

PODA SOMBRA		PD		RESIEMBRA	RS
PODA CAFE		PC		DESHIJA	D
FERTILIZACION	SUELO	FS		VARIOS	V
	VASTAGO	FF	Fórmula completa	DESARROLLO FRUTOS	DF
		FFN	Nitrógeno	RECOLECCION FRUTOS	RF
YERBICIDA		Y		DIFERENCIACION YEMAS	DY
DESYERBA MANUAL		YM		FLORACION	F
COMBATE	PLAGAS	CP		CRECIMIENTO VEGETATIVO	CV
	ENFERMEDADES	CE			

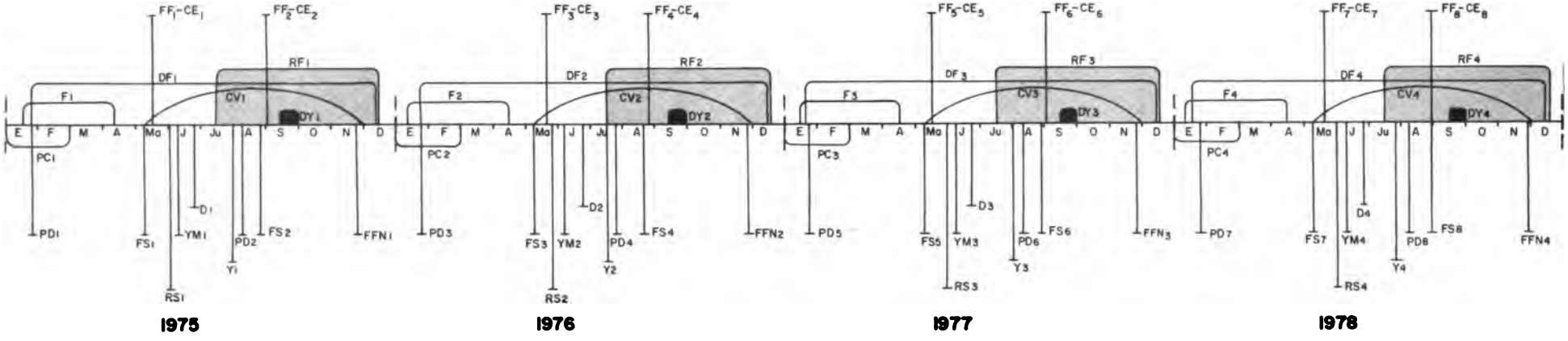


FIG. 8 CRONOLOGIA DE LOS FACTORES Y ELEMENTOS QUE DETERMINAN LA MAGNITUD DE UNA COSECHA DE CAFE.

responden favorablemente a la fertilización con este elemento en sus diferentes formas. Es de esperar que con el aumento en las plantaciones de alta productividad la demanda de fertilizantes nitrogenados también vaya un aumento. Desafortunadamente, el costo de producción de los fertilizantes nitrogenados es bastante alto, ya que en buena parte se producen a partir del petróleo. Se cálcula, que para producir una tonelada métrica de nitrógeno se necesitan seis barriles de petróleo, con un costo de US$72,00.

Pero los fertilizantes comerciales no son la única fuente de nitrógeno de importancia para los ecosistemas productores de café. En el suelo existen en forma libre o asociadas a las raíces de algunas plantas varios grupos de bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico en forma de amoníaco. Además de las bacterias, también fijan nitrógeno atmosférico en el suelo las algas azul-verdosas (6, 7). Evans y Barber (8)calculan que la fijación de nitrógeno por organismos vivientes alcanza a unos 175.000.000 de toneladas métricas por año, de tal suerte que se necesitarían más de 1.000.000.000 de barriles de petróleo para producir este nitrógeno.

Desde el inicio de la caficultura, en nuestra región se han empleado para la regulación de la luminosidad árboles de la familia de las leguminosas, principalmente de los géneros Inga, Erythrina y Gliricidia sepium. Esta ha sido una situación muy favorable, ya que estos árboles tienen en sus raíces nódulos fijadores de nitrógeno mediante una asociación simbiótica con bacterias del género Rhizobium. También se presentan en estos suelos bacterias de vida libre como Azotobacter, que fijan, como las anteriores, el nitrógeno atmosférico. Por otra parte, nuestros suelos cafetaleros también son ricos en algas azul-verdosas entre las que sobresalen los géneros Nostoc, Anabaena y Oscillatoria.

Pero veamos cuál es la situación de estos fijadores de nitrógeno en los cafetales altamente tecnificados del modelo de la Figura 6. En este agrosistema se ha eliminado por completo la sombra, lo que erradica la producción de nódulos fijadores de nitrógeno y por otra parte, la aplicación de altas dosis de nitrógeno de fertilizantes comerciales parece tener también un efecto inhibidor sobre los otros organismos fijadores de nitrógeno de vida libre. También se ha observado, que la aplicación de sustancias químicas para el combate de plagas y de

malas hierbas en el suelo tiene también un efecto inhibitorio sobre muchos de estos organismos fijadores de nitrógeno (6), lo mismo que sobre hongos, bacterias e insectos que intervienen en la descomposición de los restos orgánicos (1).

Esta situación es preocupante y muestra la gran necesidad que se tiene de estudiar con gran profundidad y de manera integral la biología de los suelos cafetaleros de la América Latina, si realmente queremos mantener una caficultura de altos rendimientos sostenidos y de costos relativamente bajos.

BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. Degradation microbienne et effets biologiques des pesticides dans le sol. In UNESCO. Biologie des sols, Comptes rendus de Recherches. 1969. pp. 215-248.

2. ALVIM, P. de T. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. Café 2(6):57-64. 1960.

3. CAIN, S.A. Foundations of plant geography. Harper & Bros. 1944. 556 p.

4. CARVAJAL, J. F. Cafeto-cultivo y fertilización. Instituto Nacional de la Potasa. Berna, Suiza. 1972. 141 p.

5. COSTA RICA. Programa Cooperativo Oficina del Café y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Informe Anual de Labores de 1978. San José, Costa Rica. 1979. 68 p.

6. DA SILVA, E. J., HENRIKSSON, L. E. y HENRIKSSON, Elisabet. Effect of pesticides on blue-green algae and nitrogen-fixation. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 3(1):193-204. 1975

7. DOBEREINER, Johana Ed. Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the Tropics. Plenum Press. 1978. 398 p.

8. EVANS, H. J. y BARBER, Lynn E. Biological nitrogen fixation for food and fiber production. Science 197:332-339. 1977.

9. FOURNIER, L. A. Los estudios ontogenéticos en el mejoramiento de la productividad de los cafetos. Café 7(1):1-4. 1966.

10. _____. Fundamentos de ecología vegetal. Edición preliminar. 2 tomos, Departamento de Biología, Universidad de Costa Rica. 1970. 174 p. (mimeografiado).

11. _____. Algunas características de importancia para la separación de los cultivares de Coffea arabica L. Turrialba 23:483-486. 1973.

12. _____. Factores que influyen en el rendimiento de la mano de obra en la recolección del café en Ciudad Colón, Costa Rica. In II Congreso Agronómico Nacional 22-27 de febrero de 1976, San José, Costa Rica. Vol. I, Resúmenes. p. 75.

13. FOURNIER, J. L. y FOURNIER, L. A. Análisis del período de recolección del café en la región de Villa Colón como un aporte a la planificación de labores en este cultivo. Compañía Agrícola El Potrero Ltda., Villa Colón, Costa Rica. Boletín Técnico No. 1, 1970. 9 p.

14. FOSBERG. The island ecosystem. In: Man's place in the island ecosystem, Fosberg, F. R. ed. Bishop Museum Press. pp. 1-6. 1963.

15. HARDY, F. Edafología tropical. Traducción de la edición en inglés por Rufo Bazán. Herrero Hermanos, México. 1970. 416 p.

16. HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en zonas de vida. Traducción de la edición inglesa por Humberto Jiménez Saa. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, San José, Costa Rica. 1978. 216 p.

17. HUNTER, J. R. The climatic limits of cacao, coffee and rubber. Inter-American Institute of Agricultural Sciences, Turrialba, Costa Rica, Coffee and Cacao Training Materials, No. 16. 1959. 9 p.

18. KRAMER, P. O. y KOZLOWSKI, T. T. Physiology of trees. McGraw-Hill. 1960. 642 p.

19. LARCHER, W. Ecofisiología vegetal. Traducción del alemán por J. Lalucat. Ediciones Omega. 1977. 305 p.

20. LOUCKS, O. L. Emergence of research on agro-ecosystems. Annual Review of Ecology and Systematics. 8:173-192. 1977.

21. MAESTREI, M. y BARROS, R. S. Coffee. In: Ecophysiology of Tropical Crops, Academic Press. 1977. pp. 249-278.

22. MONTOYA, L. A. y UMAÑA, R. Effect of three light intensities and three levels of nitrogen (urea) on incidence of die-back. Coffee 3(8):2-5. 1961.

23. ODUM, E. P. y ODUM, H. T. Fundamentals of ecology. 2a. ed. W. B. Saunders. 1959. 546 p.

24. PEREZ GONZALEZ, J. y GUTIERREZ Z., G. Respuesta de algunos cultivares y variedades de Coffea arabica L. a diferentes densidades de siembra. Agronomía Costarricense 2(1):61-68. 1978.

25. PEREZ, V. Veinticinco años de investigación sistemática del cultivo del café en Costa Rica: 1950-1975. Agronomía Costarricense 1(2):169-185. 1977.

26. RICHARDS, P. W. The tropical rain forest. Cambridge University Press. 1964. 450 p.

27. SYLVAIN, P. El cafeto en relación al agua. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao. No. 11. 1959. 46 p.

28. WALLEN, C. C. A brief survey of meteorology as related to the biosphere. World Meteorological Organization. Special Environmental Report No. 4. 1974. 54 p.

FECHA DE DEVOLUCION

25 SET 198[illegible]			
2[illegible] 1982			
21 DIC 1982			
[illegible]			
B[illegible]			
[illegible]			
15 OCT 1990			
25 AGO 1993			

IICA

INSTITUTO INTE ... **AS**

El Instituto es el organismo ...
establecido en 1942 por los go...
estimular y promover el desarr...
bienestar de la población.

Son países miembros del IICA: ...
bia, Costa Rica, Ecuador, El Sa...
Haití, Honduras, Jamaica, México, ...
na, Surinam*, Trinidad-Tobago, Ur...

La dirección postal de la Sede Cen...
Cable: IICASANJOSE; Telex: 2144...

* En proceso de ingreso.

El Programa Cooperativo Regional para la Protección ... Centroamérica y Panamá PROMECAFE está formado p... arías de Estado, los Organismos del Café de los países mi... igación y Enseñanza, CATIE y el Organismo Internacional ...

PROMECAFE fue creado el 31 de enero d... eraciones en San José, Costa Rica.