

AGROECOSISTEMAS

CONCEPTOS BASICOS

Robert D. Hart



CONTENIDO

	Página No.
PREFACIO	x
CAPITULO 1: Sistemas x	1
Historia del concepto dentro de las ciencias	1
¿Qué es un sistema? Definición	2
Los elementos de un sistema	2
Estructura de un sistema	4
Función de un sistema	8
Relación entre estructura y función	9
Pasos principales en el análisis de un sistema	12
Resumen	13
Literatura citada	15
CAPITULO 2: Sistemas ecológicos x	17
Historia	17
Jerarquía del sistema ecológico	17
Simbología de circuitos	18
Conceptos a nivel de ecosistema	22
Flujo de energía	25
Ciclos biogeoquímicos	26
Conceptos al nivel de comunidad	26
Índice de estructura	28
Sucesión	29
Principios y conceptos a nivel de población	29
Características de una población	31
Interacción entre poblaciones	31
Resumen	32
Literatura citada	33

CAPITULO 3: Sistemas agrícolas *	35
Marco conceptual	35
Análisis de sistemas agrícolas	38
× La región	39
× La finca	39
El agrosistema	44
Sistemas de cultivos y sistemas de animales	45
Otros subsistemas de agroecosistemas	47
Resumen	49
Literatura citada	49
CAPITULO 4: Una región como un sistema	50
Estructura regional	53
Componentes	53
Arreglos espaciales	53
Procesos regionales	53
Procesos físicos	54
Procesos bióticos	54
Procesos socio-económicos	58
El sector agropecuario regional	60
El sistema primario	60
El sistema secundario	64
El sistema terciario	64
Aplicación de modelos regionales	65
Resumen	65
Literatura citada	66
CAPITULO 5: Una finca como un sistema	67
Estructura	68
Subsistema socio-económico	68
Agroecosistemas como subsistemas	68

Función	72
Clasificación de fincas	73
Estructura	73
Función	74
Estructura y función	75
Análisis de una finca	75
Paso 1: Definición de una finca	75
Paso 2: Elaboración de un modelo cualitativo	76
Paso 3: Elaboración de un modelo cuantitativo	76
Paso 4: Validación y modificación	77
Simulación	77
Estudios de fincas	79
Resumen	80
CAPITULO 6: Agroecosistema	82
Estructura	83
Arreglos de cultivos	83
Arreglos de malezas	83
Distribución de insectos y micro-organismos	86
Arreglos físicos dentro del suelo	86
Función	86
Subsistema suelo	87
Subsistema de cultivos y subsistema de malezas	87
Subsistema de herbívoros y enfermedades	87
Plan de manejo	89
Análisis de un agroecosistema	93
Validación	93
Valor práctico del análisis	94
Evaluación de diferentes agroecosistemas	94

Agroecosistemas con subsistemas pecuarios	96
Interacción entre agroecosistemas	97
Resumen	97
CAPITULO 7: El subsistema de suelo	99
Estructura	99
Componentes	99
Arreglo espacial	100
Arreglo cronológico	101
Función	101
Génesis	103
Balance hídrico	103
Proceso químico	105
Proceso biótico	105
Manejo de un sistema de suelo	107
Manejo de entradas	107
Manejo de salidas	109
Interacción de estrategias	109
Resumen	110
Literatura citada	111
CAPITULO 8: El subsistema de cultivos	112
Estructura	113
Componentes	113
Arreglos espaciales	114
Arreglos cronológicos	117
Caracterización de arreglos de cultivos	118
Función	121
Entradas	124

Salidas	125
Relación entre entradas y salidas	125
Relación entre estructura y función	126
Análisis con experimentos	129
Simulación	130
Resumen	131
Literatura citada	132
 CAPITULO 9: El subsistema de maleza	 133
Estructura	134
Componentes	134
Arreglo espacial	134
Arreglo cronológico	134
Función	138
Manejo de malezas	142
Manejo directo	142
Manejo indirecto: subsistema suelos	143
Manejo indirecto: subsistema de cultivos	143
Resumen	144
Literatura citada	145
 CAPITULO 10: El subsistema de plagas	 146
Estructura	146
Los componentes	146
Arreglo espacial	147
Arreglo cronológico	147
Función	151
Alimentación	151
Movimiento	152
Ciclos de vida	152

Interacción con otros subsistemas.	153
Con el subsistema de suelos	153
Con el subsistema de cultivos y malezas	153
Con el subsistema enfermedades	154
Estrategia para el manejo de plagas	154
Manejo directo	155
Manejo por medio del suelo	155
Manejo por medio de los cultivos y malezas	156
Manejo por medio de las enfermedades	157
Resumen	157
Literatura citada	158
CAPITULO 11: El subsistema de enfermedades	159
Estructura	160
Los componentes	160
Arreglo espacial	165
Arreglo cronológico	165
Función	166
Interacción hospedero-hospedante	169
Interacción entre plagas y enfermedades	170
Interacción con factores ambientales	170
Manejo de enfermedades	172
Control inoculante	172
Manejo de hospedantes	172
Manejo del ambiente	173
Manejo de fungicidas	174
Resumen	174
Literatura citada	175

CAPITULO 12: Integraciones de los subsistemas	176
Enlace entre submodelos	176
Flujo a nivel de agroecosistemas	177
Flujos de materiales	130
Flujos de energía	181
Flujos de información	185
Flujos de dinero	185
Resumen	186
Literatura citada	137
CAPITULO 13: Investigación	188
La base filosófica	188
Tipos de investigación	189
Estudios	191
Experimentos	192
Elaboración de modelos	195
Resumen	199
Literatura citada	200
Anexo 1: Glosario de terminología	201
Anexo 2: Prácticas que se pueden realizar conduntamente con el estudio de los diferentes capítulos.	

PREFACIO

El objetivo principal de este documento es presentar una base conceptual para la investigación agrícola en el trópico, con especial énfasis en la investigación dirigida hacia el pequeño agricultor. Dada la realidad enfrentada por el agricultor y sus necesidades a corto plazo, una pregunta obvia es "¿Por qué escribir conceptos, cuando lo que hace falta son consejos prácticos y no ideas abstractas?".

Lo cierto es que la investigación, sin una base conceptual, es extremadamente ineficiente. Sinceramente, creo que la razón por la que la investigación agrícola en el trópico ha tenido relativamente poco éxito es que, en la mayoría de los casos, la base conceptual ha sido adoptada de la investigación en zonas templadas, olvidando que ésta tiene sus raíces en una ecología diferente a la tropical.

El enfoque de este documento es ecológico. La base ecológica de la agronomía en las zonas templadas es la relación entre una población (un cultivo) y los factores ambientales que la afectan. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el pequeño agricultor del trópico maneja un complejo de cultivos con una alta interacción, no solamente entre los cultivos, sino también entre éstos y los suelos, las malezas, las plagas y las enfermedades. Este es un fuerte argumento a favor de que la investigación orientada hacia esta forma de agricultura se base en el ecosistema, y no siga el patrón propio de las zonas templadas. La unidad de enfoque de este documento es, por lo tanto, el agroecosistema, una unidad que incluye suelos, cultivos, malezas, plagas y enfermedades.

El estudio de ecosistemas, por definición, requiere un enfoque de sistemas, lo mismo es cierto para el estudio de agroecosistemas. Por esta razón se incluye una discusión de los conceptos básicos de sistemas y, una guía para la elaboración y validación de modelos. Aunque no se entra en los detalles matemáticos necesarios para simular un modelo en la computadora, sí se incluyen los conceptos y guías para el ordenamiento de la información, que se presta tanto para análisis simples como para otros más sofisticados.

Los capítulos están ordenados así: los tres primeros introducen los conceptos básicos del enfoque de sistema, ecosistema, y sistemas agrícolas.

Los Capítulos 4 y 5 describen el ambiente en el cual funciona el agroecosistema e incluyen una discusión del concepto de sistema de finca. Los Capítulos 6 al 12 son una introducción a los conceptos básicos necesarios para estudiar el agroecosistema y los subsistemas que lo forman. El Capítulo 6 describe el agroecosistema como unidad; los Capítulos 7 al 11 enfocan los subsistemas de suelos, cultivos, malezas, plagas y enfermedades, respectivamente, el Capítulo 12 integra los subsistemas y otra vez considera al agroecosistema como una unidad. En el Capítulo 13 se esbozan algunas pautas para la investigación agrícola basada en los conceptos presentados.

Se espera que el documento sea útil en la capacitación de técnicos interesados en el enfoque de sistemas y en la investigación agrícola, lo he escrito teniendo ésto como objetivo principal. El primer borrador fue preparado durante el transcurso del curso sobre Sistemas Agrícolas que, a nivel de posgrado, dicté en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, en 1979.

Cada capítulo tiene, al final, un resumen y una serie de preguntas que pueden ayudar al estudiante a revisar los conceptos presentados en él. El Anexo 1 es un glosario de la terminología usada en el libro. El Anexo 2 incluye prácticas usadas en el curso.

Muchas son las personas que merecen mi reconocimiento por la ayuda que han aportado. Como es un documento de conceptos, tal vez deba empezar agradeciendo a mis profesores. Los dos grupos de profesores que merecen especial agradecimiento son el de la Universidad de Florida y los pequeños agricultores de la Aldea de Yojoa, en Honduras, con los cuales trabajé durante dos años y medio. Muchos de los conceptos ecológicos vertidos son del Dr. Howard Odum, quien fue mi profesor de "sistemas" en la Universidad de Florida. Durante tantas horas discutí el concepto de sistemas agrícolas con el Dr. Jack Ewel, profesor de la misma universidad, que ya no recuerdo cuáles son sus ideas y cuáles las mías.

Durante los años 1976-1978 tuve la inolvidable oportunidad de trabajar, como miembro de un equipo multidisciplinario del CATIE, en un proyecto de sistemas de producción para pequeños agricultores en Honduras, y conjuntamente con técnicos del Ministerio de Recursos Naturales, realizamos investigación en las fincas de los pequeños agricultores. Otras personas que

hayan trabajado en proyectos similares entenderán mi deseo de reconocer también a estos agricultores como "profesores", ya que fueron ellos quienes me convencieron de la necesidad de conceptos relacionados con unidades más grandes que el cultivo individual y de que estas unidades debían basarse en la investigación agrícola.

Agradezco al Programa de Cultivos Anuales del CATIE y a los miembros de su equipo multidisciplinario que participaron directamente en el desarrollo de los conceptos. Los doctores Carlos Burgos, Miguel Holle, Myron Shenk, Joseph Saunders y Raúl A. Moreno, son co-autores de algunos capítulos. También quiero reconocer la ayuda del Dr. Raúl A. Moreno por sus es fuerzos en la revisión de algunos capítulos y del Dr. Miguel Holle, quien revisó el español de otros capítulos y, durante largas discusiones, me ayu dó directamente en el desarrollo de muchos de los conceptos del libro. Agradezco a Teresa de Delfino la revisión de éste. Agradezco también los comentarios y observaciones del grupo de estudiantes que asistieron al cur so ofrecido por mí en marzo de 1979.

El presente documento, en esta su primera edición mimeografiada, ha sido posible gracias al generoso aporte financiero de la Fundación Kellogg, a través de los fondos captados por el CATIE, destinados a la capacitación de personal involucrado en el desarrollo rural del Istmo Centroamericano.

Agradezco especialmente la ayuda del Ing. Alberto Moreno de la Sub-Dirección de Capacitación y Cooperación Técnica del CATIE, por su ayuda en los aspectos de imprenta y publicación.

Finalmente, pero de ningún modo en orden de importancia, quiero agradecer la ayuda de las secretarías del Programa de Cultivos Anuales del CATIE: Sonia de Enríquez, Isabel de Vargas y Maritza Castro, que colaboraron en la preparación del primer borrador. Agradezco muy especialmente a Nydia de Moreno, quien además de poner en esténcil el documento final, ayudó en todos esos detalles que hacen que uno piense que nunca va a ser po sible terminar un documento como éste.

Es mi esperanza en concordancia con los objetivos del CATIE, que el do cumento sea de utilidad para los investigadores agrícolas en América Latina, aunque, obviamente, pueda ser mejorado en muchos sentidos. Espero añadir capítulos con más énfasis en metodología y ejemplos prácticos y publicar en

el futuro, una edición mejorada. A los lectores que encuentran algo de utilidad en estas páginas y a los que tengan sugerencias para mejorarlas, les agradeceré sus comentarios por escrito.

Robert D. Hart
Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza
CATIE, Turrialba, Costa Rica
Octubre de 1979

CAPITULO 1: SISTEMAS X

La historia del concepto de sistemas es probablemente tan vieja como el hombre mismo, pues siempre ha existido la necesidad de entender fenómenos complejos. En el último siglo de la historia humana, la complejidad de los fenómenos que el hombre debe comprender para desempeñarse dentro de una civilización que también está evolucionando hacia mayor complejidad aún ha producido también mayor interés por el concepto de sistemas. Hoy en día, el concepto de sistemas se usa comúnmente como herramienta de trabajo en la administración de instituciones, en ingeniería y en todas las ciencias en general.

HISTORIA DEL CONCEPTO DENTRO DE LAS CIENCIAS

Becht (1974) en su resumen de la historia del concepto de sistemas indica que éste se introdujo en las ciencias físicas antes que en otras ciencias. La definición de relaciones entre moléculas y elementos subatómicos necesitó de conceptos que consideraban no sólo las características de los elementos, sino también la relación entre los diversos elementos.

En biología, el concepto de sistemas fue introducido por Smuts en 1926 (Becht, 1974), bajo la idea de "totalidad" (en inglés "holism"), aunque antes, Harvey, al descubrir y describir la circulación de la sangre, relacionó este fenómeno con hidrología (Hare, 1967).

Entre los años 1930 y 1970 Von Bertalanfly (1968) desarrolló su Teoría General de Sistemas (General Systems Theory). Aunque su Teoría tiene una base dentro de la Biología, ha influenciado sin embargo, a muchos científicos dentro de otras disciplinas. Por ejemplo, la teoría de la Cibernética (estudio de retroalimentación) de Wiener (1950) y la teoría de información de Shannon y Weaver descritas en 1949 (Becht, 1974) fueron influenciadas directamente por Von Bertalanfly.

El concepto de sistemas tiene mucha importancia en Ecología. En 1935 Tansley introdujo la palabra "ecosistema" (Evans, 1956), pero el concepto propiamente tal fue desarrollado por muchos otros, entre ellos Lindeman (1942) con sus estudios de cadenas de alimentación y H. T. Odum

(1957) con estudios acerca del flujo de energía dentro de ecosistemas. El concepto de ecosistema se ha ampliado para incluir otros sistemas ecológicos (Odum, 1971).

¿Qué es un sistema? - Definición:

Becht (1974), después de revisar 24 definiciones de la literatura sobre sistemas, usa la siguiente definición:

Sistema es un arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y/o actúan como una unidad, una entidad o un todo. (Traducido del Inglés)

Hay dos palabras claves en esta definición, arreglo y actúan, esto implica dos características de cualquier sistema: estructura y función. Todo sistema tiene una estructura relacionada con el arreglo de los componentes que forman el sistema y tiene una función, relacionada con cómo "actúa" el sistema. En resumen, se puede definir un sistema como un arreglo de componentes que funciona como una unidad.

Los elementos de un sistema

Si se considera la definición de sistema, es obvio que un tipo de elemento que forma un sistema son los componentes del sistema. Si la unidad formada por los componentes funciona sin tener interacción con otros componentes del ambiente que rodea a la unidad, el sistema se define como un sistema cerrado. El concepto de sistemas cerrados es como los conceptos de vacío o gases ideales de las ciencias físicas; no existen en la realidad, pero a veces los conceptos tienen utilidad. En el mundo real los sistemas son abiertos, es decir, tienen interacción con el ambiente. Esta interacción resulta en entradas y salidas a la unidad. Al observar fenómenos reales y definir conjuntos de componentes que forman unidades, las fronteras entre unidades constituyen los límites de cada sistema. Hay ciertos elementos que todo sistema tiene y éstos son:

1. Componentes
2. Interacción entre componentes
3. Entradas
4. Salidas
5. Límites

Los componentes de un sistema son los elementos básicos (la materia prima) del sistema. Si se analiza una casa como un sistema, los ladrillos, las tejas, la tubería, etc. son los componentes del sistema. Si un equipo de fútbol es un sistema, los jugadores que integran el equipo son los componentes del sistema. Si un cuerpo humano es un sistema, los huesos, la sangre, los tejidos, etc. son entonces los componentes del sistema.

La interacción entre los componentes de un sistema es lo que proporciona las características de estructura a la unidad. En esto reside la diferencia entre un montón de ladrillos y tejas, y una casa. El montón tiene básicamente los mismos componentes (ladrillos, tejas, etc.) que la casa, pero la interacción entre los componentes es lo que proporciona la estructura y la forma a una casa. Dos cuerpos humanos pueden tener los mismos componentes (carne, huesos, etc.) pero poseer apariencias (estructuras) muy diferentes. Los jueces en un concurso de belleza ponen mucha más atención a la estructura general que a los componentes básicos que forman los sistemas.

Las entradas y salidas de un sistema son los flujos que entran y salen de la unidad. El proceso de recibir entradas y producir salidas es lo que da función a un sistema, un motor que tiene la función de mover un automóvil es un sistema que toma gasolina (entrada) y produce energía mecánica (salida) que lo mueve. Un hospital es un sistema con la función de recibir enfermos (entradas) y sanarlos (salidas).

Muchas veces existen dificultades para definir los límites de un sistema. Hay que tomar en cuenta dos pautas en la definición de los límites de un sistema; el tipo de interacción entre componentes y el nivel de control sobre las entradas y salidas.

Al analizar fenómenos reales, se verá que algunos componentes de éstos van a tener interacción directa y otros solamente interacción indirecta entre sí. Por ejemplo, si se considera la población de una ciudad y se define a los habitantes individuales de ella como componentes, un estudio de la población indicaría que algunos individuos tienen contactos directos (con sus familiares, en su iglesia, en su trabajo, etc.) y forman conjuntos de individuos. Sin embargo, estos sólo tienen relaciones indirectas con otros individuos de la ciudad. Estos

conjuntos de individuos con relación directa entre sí forman sistemas con límites que se han definido por el criterio del tipo de interacción.

Cuando un flujo sale de un componente y entra a un conjunto de componentes y el conjunto no tiene control sobre la entrada del flujo, se puede asumir que este flujo es una entrada a un sistema, y que existe un límite entre la unidad que produce el flujo (salida) y la unidad que lo recibe la entrada. Por ejemplo, precipitación es una entrada al sistema bosque (conjunto de componentes bióticos). Precipitación no está incluida dentro del sistema bosque porque éste no tiene control sobre precipitación.

La Figura 1.1 describe un sistema con dos componentes, interacción entre componentes, entradas, salidas y límites. Todo sistema real tiene estos cinco elementos. Al usar el enfoque de sistemas para estudiar un fenómeno, el primer paso consiste en la identificación de estos elementos básicos, que forman el sistema de interés.

Estructura de un sistema

La estructura de un sistema depende de las siguientes características relacionadas con los componentes del sistema:

1. Número de componentes
2. Tipo de componente
3. Arreglo (interacción) entre componentes

El número de componentes de un sistema es simplemente la cantidad (1, 2, 3, ...N) de elementos básicos que interactúan para constituir el sistema. Es obvio que el número de personas que trabajan para una empresa afecta la estructura (organización) de la empresa. Los ecosistemas pueden tener un número diferente de poblaciones de plantas y de animales; dos radios pueden tener un número diferente de transistores.

Las características de un componente individual pueden tener mucha influencia sobre la estructura de un sistema. La personalidad de un presidente (componente) influye en el tipo de gobierno (estructura) de un país. La presencia de un animal grande (componente) dentro de un ecosistema influye en la cadena de alimentos (estructura) del sis-

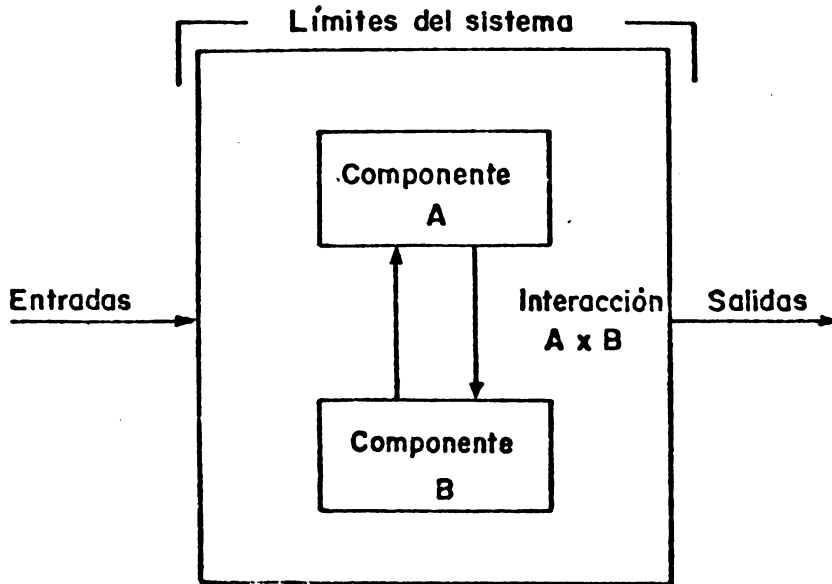
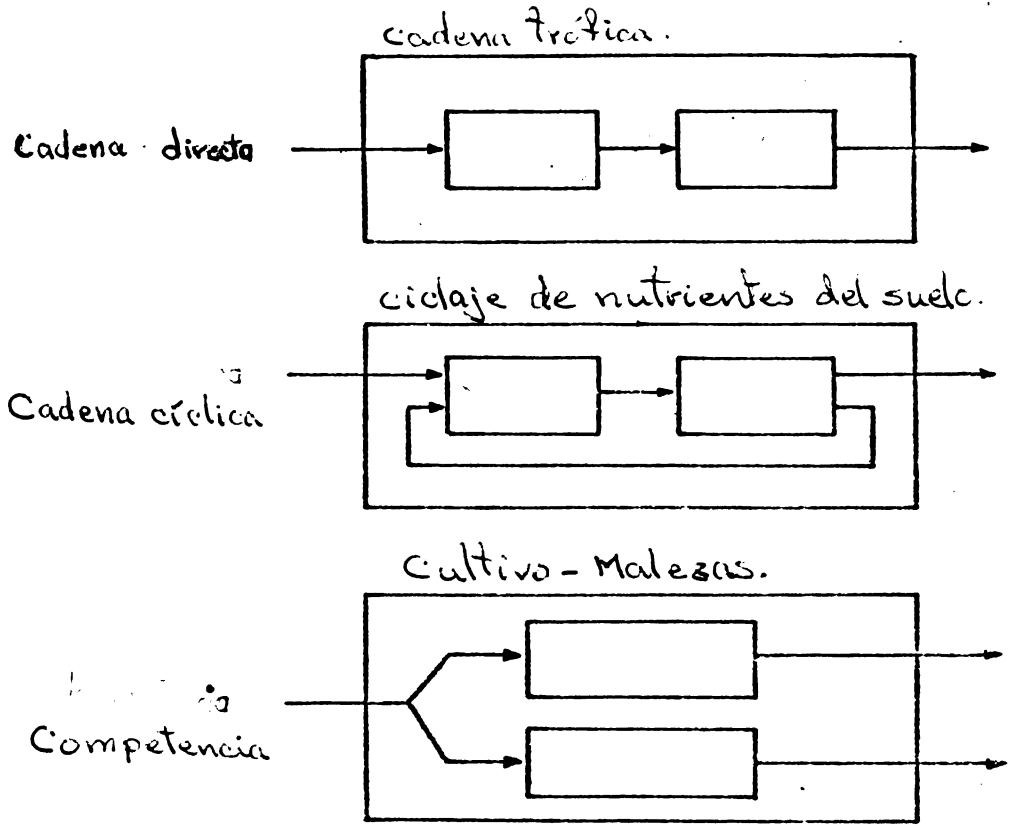


Figura 1.1 Un sistema abierto con entradas, salidas, y dos componentes definidos por límites fijos,

RELACIONES ENTRE COMPONENTES



RELACIONES ENTRE COMPONENTES Y FLUJOS

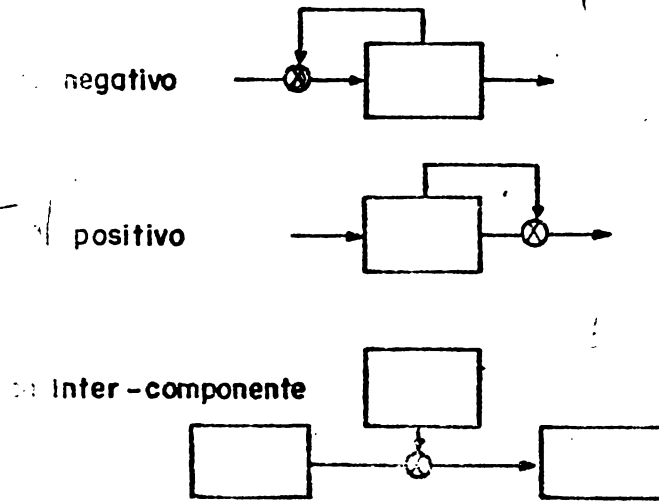


Figura 1.2 Diferentes relaciones entre componentes y entre flujos que afectan la estructura y la función de un sistema.

tema.

Aunque el número y tipo de componentes afecta enormemente la estructura de un sistema, el arreglo entre los componentes de un sistema es tal vez aún más importante. El número y tipo de componentes pone ciertos límites a los tipos de interacción que pudieran ocurrir dentro de un sistema (pocos componentes limitan el número de interacciones), pero en muchos casos, los mismos componentes pudieran estar relacionados con diferentes arreglos. En la Figura 1.2 se describen algunos tipos diferentes de arreglos entre componentes de un sistema.

Las relaciones entre dos componentes pueden ser del tipo cadena directa, en la cual una salida de un componente es una entrada a otro; del tipo cadena cíclica, en la cual hay retro-alimentación; y del tipo competitivo, en la cual dos componentes compiten por la misma entrada. Un sistema puede tener sólo uno de estos tipos de interacción, o si el sistema es más complejo, puede tener las tres.

Un ejemplo de sistema con cadena directa es la cadena de alimentos de un ecosistema. Las plantas son consumidas por los herbívoros y los herbívoros por los carnívoros (Odum, 1971). Ejemplos de cadenas cíclicas son el ciclaje de nutrientes dentro de un ecosistema (de suelo a plantas-a animales- al suelo, etc.) y el ciclaje de dinero dentro de una comunidad humana. Muchos sistemas se caracterizan por competencia entre sus componentes; algunos ejemplos son la competencia entre dos departamentos por el presupuesto de una institución de investigación y dos plantas compitiendo por la radiación solar.

La Figura 1.2 también describe tres tipos de relaciones entre componentes y flujos que entran y salen de los componentes. Hay dos tipos de auto-control: uno es el caso en donde un componente puede regular su propia entrada (los animales tienen esta característica) otro es el caso en que un componente puede regular su propia salida (ejemplo: control de una empresa sobre su venta de productos). También existe un tipo de relación entre componentes y flujos en que un componente puede controlar el flujo entre otros dos componentes. Algunos ejemplos son: una madre controlando lo que come un bebé, un árbitro controlando un partido de fútbol y una planta con su sombra afectando la radiación que recibe otra planta.

Es obvio que el tiempo de interacción entre componentes y flujos está muy relacionado con la interacción entre componentes. Los componentes en una cadena cíclica también pueden presentar un caso de regulación de flujos entre componentes. Los tipos de autocontrol (positivo y negativo) pueden ocurrir en una cadena directa, en una cadena cíclica, en competencia entre componentes o dentro de un sistema con una combinación de diferentes relaciones.

Las relaciones entre componentes y entre componentes y flujos producen el arreglo característico de un sistema. Si al arreglo se suma el tipo y número de componentes, el resultado es la estructura del sistema. Esta estructura está muy ligada con la función del sistema.

Función de un sistema

La función de un sistema dado siempre se define en términos de procesos. La función está relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas. Este proceso se puede caracterizar usando criterios diferentes, pero tal vez los más importantes son:

1. Productividad
2. Eficiencia
3. Variabilidad

La producción bruta de un sistema es una medida de la salida de un sistema. Casi siempre es necesario incluir unidades de tiempo (p.e. Kg/día) y en muchos casos una unidad que da información sobre superficie (p.e. TM/Km²/año, o \$/año/del país x). La producción neta de un sistema es la cantidad de las salidas, restando las entradas (producción neta = producción bruta-entradas).

La eficiencia es una medida que toma en cuenta las cantidades de entradas y salidas de un sistema. La eficiencia es la salida dividida por la entrada. Por ejemplo, si 10 calorías entran a un sistema y si salen 5 es una forma de utilidad, la eficiencia del sistema en convertir calorías a un producto de utilidad es .5 (5/10).

La variabilidad es un concepto que toma en cuenta la probabilidad en la cantidad de salidas. Si en un tiempo dado una fábrica produce una salida que varía entre 5 y 10 carros por día, y otra fábrica produ

ce una salida que varía entre 2 y 13 carros por día, aunque ambas producen un promedio de 7.5 carros/día, es obvio que la primera fábrica tiene cierta ventaja sobre la segunda; es menos variable en su función de producir carros.

Las características de la función, como productividad, eficiencia y variabilidad son un resultado directo de las características de estructura de un sistema. Hacer el análisis de un sistema, no es sino tratar de relacionar la estructura con la función de ese sistema.

Relación entre estructura y función

Hay algunos principios básicos que surgen de la ciencia del análisis de sistemas. La Teoría General de Sistemas de Von Bertalanfly (1968), la Filosofía de Sistemas de Laszlo (1972) y la aplicación de conceptos ecológicos a fenómenos no propiamente ecológicos (H. T. Odum, 1971) son ejemplos de la búsqueda de conceptos de sistemas que van más allá de teorías enfocadas hacia disciplinas específicas.

Algunos de estos conceptos básicos y aplicables a cualquier tipo de sistema son:

1. La relación entre retro-alimentación y variabilidad
2. La relación entre complejidad y variabilidad
3. La relación entre auto-reorganización y evolución
4. La relación entre evolución y organización jerárquica

Estos conceptos surgieron cuando se encontró la misma relación entre estructura y función pero en sistemas muy diferentes. Por ejemplo, una casa con un termostato (retro-alimentación para controlar la temperatura), un motor con un gobernador (retro-alimentación para controlar la velocidad) y un animal de tipo sangre caliente (retro-alimentación para controlar su propia temperatura); todos demuestran menor variabilidad (en temperatura de la casa y el animal, y velocidad de un motor) que casas sin termostatos, motores sin gobernadores y animales con sangre fría.

La relación entre complejidad y variabilidad ha sido un tema muy discutido en la literatura sobre sistemas. Por algunos años se aceptó la idea de que había una relación directa entre el número de compo

mentos y la variabilidad. Un problema fue que se usaba la palabra "estabilidad", pero el concepto de estabilidad se había definido de maneras diferentes; entre ellas, varianza de las salidas y posibilidad de regresar al mismo estado después de un cambio. La variabilidad en la cantidad de salidas parece estar directamente relacionada con la complejidad, pero en muchos casos, sistemas más complejos tienen menos posibilidad de regresar a un estado estable.

Muchos sistemas tienen características que los hacen cambiar rápidamente de un estado a otro (auto-reorganización). Al cambiar el ambiente, ya sea un ambiente físico o político, el sistema con esta característica puede sobrevivir al cambio. Por ejemplo, instituciones que asignan recursos para estudiar el presupuesto disponible para el próximo año y la forma de aprovecharlo, tienen más posibilidad de sobrevivir un año más que una institución que no asigna recursos para estudiar el futuro. De la misma manera, poblaciones animales con genes que mantienen diversidad entre sus individuos, tienen más posibilidades de sobrevivir a un cambio en el ambiente físico que otras. Los sistemas con auto-reorganización pueden evolucionar.

En el proceso de evolución de los sistemas del universo, han resultado muchos tipos diferentes de interacción entre sistemas. De la misma manera que los componentes de un sistema pueden tener interacción de tipo cadena directa, cadena cíclica y competencia (Figura 1.2), los sistemas también pueden formar conjuntos. Es muy obvio que la diferencia entre un sistema y un componente depende del punto de vista del observador. Para un sociólogo, los seres humanos son componentes, pero para un médico un cuerpo humano es un sistema. Esta relación de sistema a componente puede ser conceptualizada como una relación entre un sistema y un subsistema. Las relaciones entre sistemas de este tipo forman una jerarquía de sistemas, donde un sistema tiene subsistemas, con subsistemas con subsistemas, etc. (ver Figura 1.3). Ejemplos de jerarquías de sistemas son: ecosistemas-comunidades-poblaciones-organismos-tejidos y células en el caso de Biología; o país-provincia-cantón-etc. en el caso de organizaciones políticas.

Estas relaciones entre estructura y función de los sistemas, cons

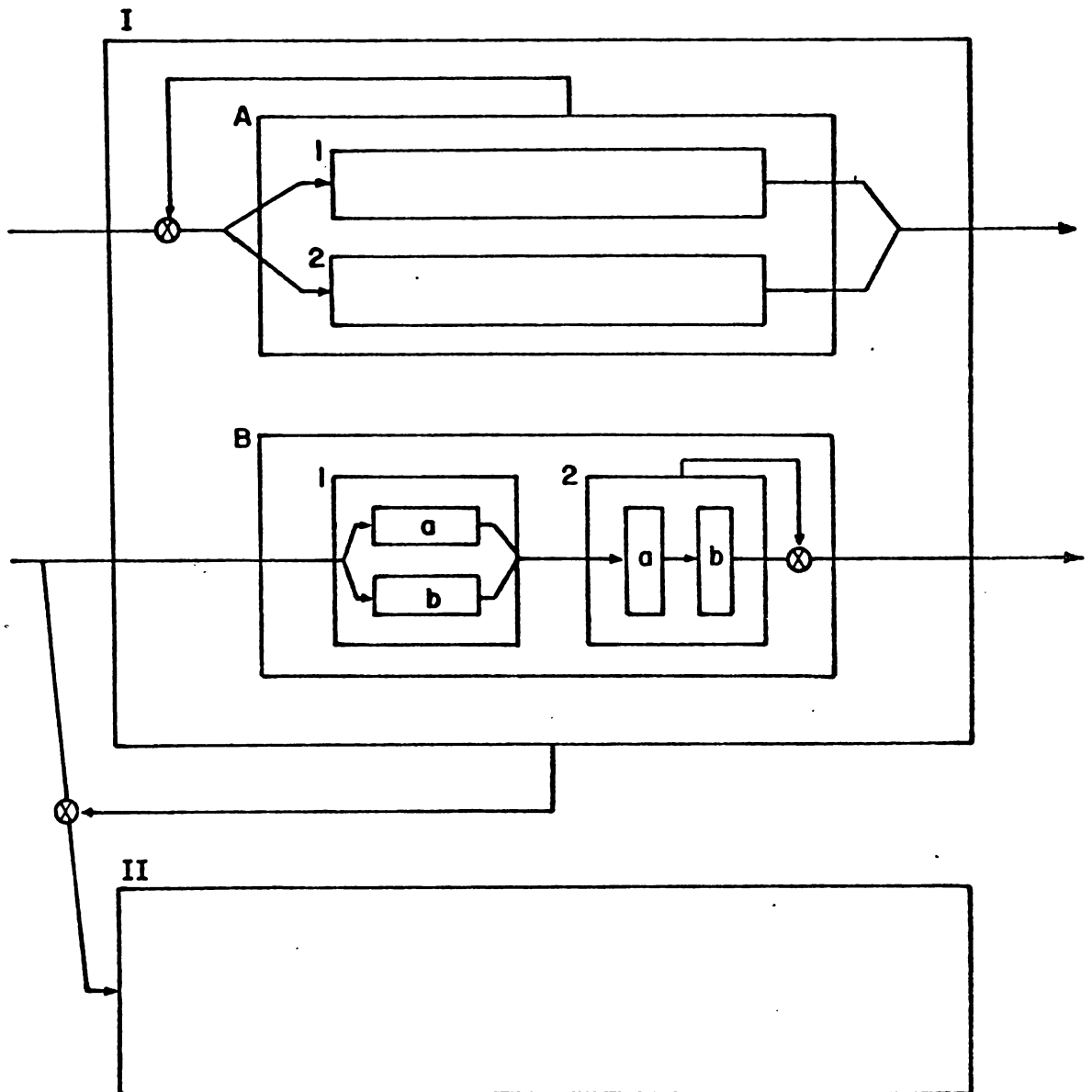


Figura 1.3 Una jerarquía formada por componentes con diferentes tipos de interacción que a su vez son subsistemas con sus propios componentes.

tituyen solamente ejemplos o guías para un especialista en análisis de sistemas. Un análisis de un sistema requiere una serie de pasos lógicos para satisfacer el propósito de definir objetivamente la relación entre la estructura y la función del sistema bajo estudio.

Pasos principales en el análisis de un sistema

Los pasos principales en el análisis de un sistema son:

1. Identificación del sistema que se espera analizar
2. Construcción de un modelo conceptual y preliminar del sistema
3. Validación del modelo preliminar
4. Modificación y revalidación del modelo si es necesario

Todos estos pasos tienen como meta principal llegar a un entendimiento de la relación entre la estructura y la función de un sistema, pero generalmente el análisis también tiene objetivos prácticos. Por ejemplo, en muchos casos se espera utilizar el análisis para recomendar modificaciones del sistema. Pero el usar los resultados de un análisis, no es propiamente un paso de este proceso.

La identificación del sistema que se espera analizar en algunos casos puede ser relativamente fácil si se contrata un especialista en análisis de sistemas para analizar un hospital y recomendar una mejor estructura para hacer más eficiente el ingreso de pacientes, no es muy difícil definir el sistema del hospital. Pero si se contrata al mismo científico para investigar porqué ha existido un incremento en el número de robos de una ciudad, la identificación del sistema que se debe analizar es mucho más difícil. El paso de identificación tiene el objetivo principal de definir los componentes y límites del sistema. Con esta información empieza el proceso de conceptualizar, en una forma preliminar, la estructura y función del sistema.

La construcción de un modelo conceptual del sistema es el paso en donde se toman todas las hipótesis de estructura y función y se combinan para formar un conjunto que describe el sistema. Un diagrama que resume las entradas, salidas, componentes, interacción entre componentes y los límites del sistema puede ser un buen modelo preliminar. Si ya ha sido estudiado el sistema por otros o si se ha estudiado un sis-

tema similar, el modelo preliminar puede ser más cuantitativo, hasta pudiera ser una ecuación matemática.

Después de construir un modelo preliminar, como en el caso de cualquier hipótesis, el próximo paso es validación. La validación puede requerir solamente observación del sistema por un período, o puede requerir experimentación en donde se efectúen ciertos cambios al sistema para observar el efecto de los cambios sobre el desempeño del sistema. En ambos casos, el sistema real se compara con el modelo preliminar para determinar la validez del modelo. Si a través del modelo no se puede predecir el desempeño del sistema en la realidad con suficiente precisión para los objetivos del análisis, es necesario modificar el sistema y revalidarlo con más observaciones o experimentación. Al llegar al punto en que la precisión del modelo satisfaga los objetivos del análisis, el análisis propio termina y empieza el proceso de aplicación. En muchos casos no hay una diferencia marcada entre estos procesos. Una manera de validar un modelo es empezar a usarlo como herramienta. La utilidad del modelo es una medida de su validez.

En la Figura 1.4, se presenta un bosquejo de un análisis del proceso fisiológico de fotosíntesis (Wilson y Loomis, 1968). Los fisiólogos que han estudiado y descrito este proceso han tomado un enfoque de sistemas para entenderlo. Empezaron hace muchos años identificando el sistema dentro de una hoja de una planta. Pasaron por una etapa cuando usaban un modelo simplificado donde se conceptualizaron la fotosíntesis como un proceso donde el dióxido de carbono se combina con agua en la presencia de energía para producir glucosa y oxígeno. En la validación de este modelo fue obvio que el modelo tenía utilidad, pero el proceso era mucho más complejo. La producción de ATP y transferencia de electrones también entraba en el proceso. El modelo en uso actualmente todavía no está completo, pero la relación entre los componentes del proceso (ATP, Ribulosa, NADPH_2 , etc.) y la función (tomar H_2O y CO_2 y producir $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ y O_2) está aclarándose.

RESUMEN

En este capítulo se ha presentado una introducción a los conceptos básicos relacionados con el enfoque de sistemas. Los puntos so-

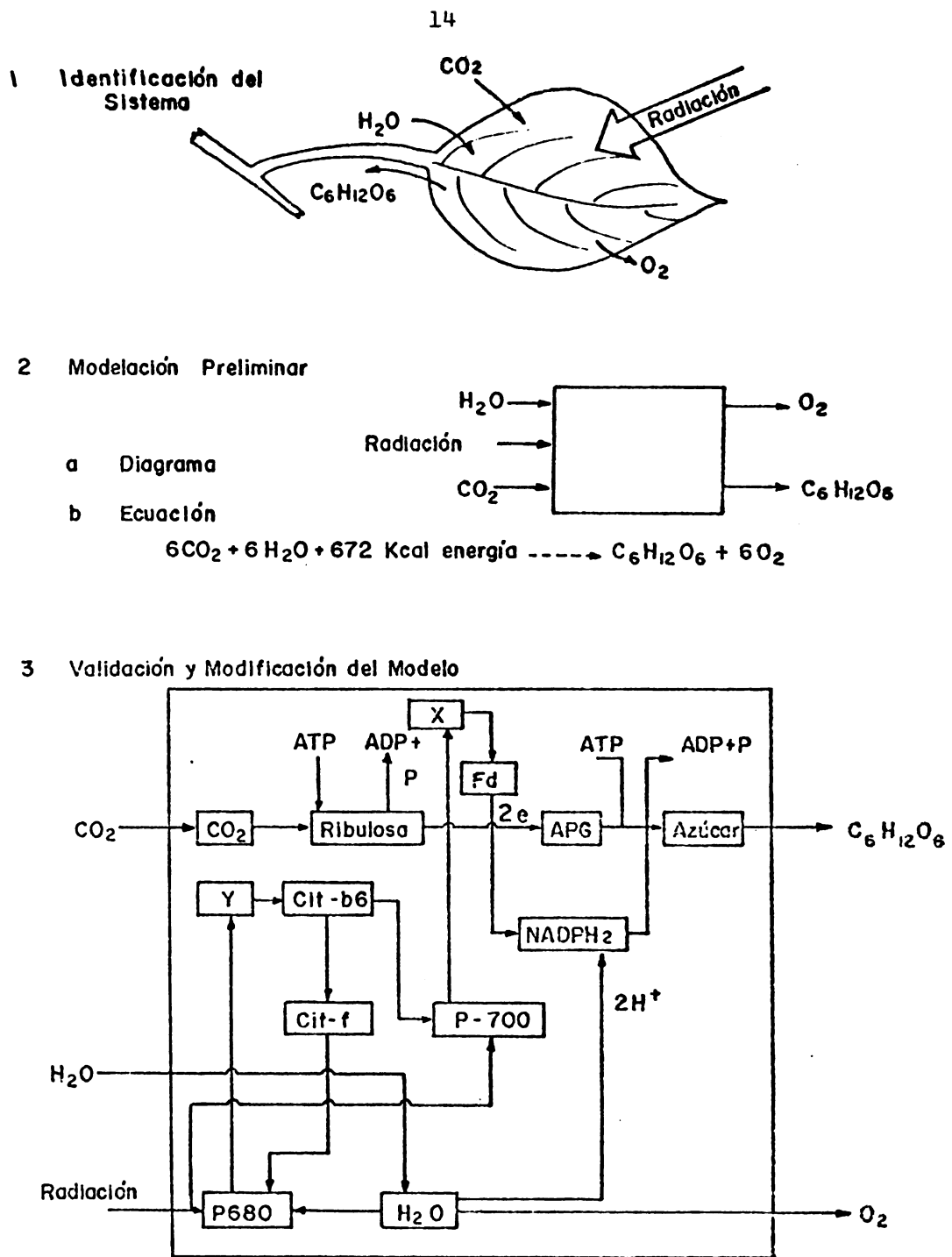


Figura 1.4 El desarrollo de un modelo del proceso de fotosíntesis. (Adoptado y resumido de Wilson y Loomis, 1968).

bresalientes de este breve resumen se pueden revisar, contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles científicos están asociados con la historia del concepto de sistemas?
2. ¿Qué es un sistema?
3. ¿Cuáles son los cinco elementos de un sistema?
4. ¿Cuáles características de un sistema afectan su estructura?
5. ¿Cuáles son los tipos de interacción entre componentes; entre componentes y flujos?
6. ¿Cuáles criterios se pueden usar para evaluar la función de un sistema?
7. ¿Cuáles son los pasos principales en el análisis de un sistema?

LITERATURA CITADA

1. BECHT, G. 1974. Systems theory, the key to holism and reductionism. *Bioscience* 24(10):579-596.
2. EVANS, F. C. 1956. Ecosystems as the basic unit in ecology. *Science* 123:1127-1128.
3. HARE, V. C. 1967. Systems analysis: a diagnostic approach. New York, Harcourt, Brace and World. 554 p.
4. LASZLO, E. 1972. Introduction to systems philosophy. New York, Gordon and Breach. 328 p.
5. LINDEMAN, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23:399-418.
6. ODUM, E. P. 1971. Fundamentals of ecology. Washington, D. C., Saunders. 574 p.
7. ODUM, H. T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. *Ecological monographs* 27:55-112.
8. _____. 1971. Environment, power and society. New York, Wiley. 331 p.

9. VON BERTALANFFY, L. 1968. General systems theory. George Braziller, New York, 295 p.
10. WIENER, N. 1950. The human use of human beings; cybernetics and society. Houghton Mifflin. Boston, Mass. 281 p.
11. WILSON, C. L. and LOOMIS, W. E. Botánica. New York, Holt, Rinehart and Wilson. 682 p.

CAPITULO 2: SISTEMAS ECOLOGICOS

Ecología es la ciencia que estudia las interacciones entre organismos vivos y su ambiente (Sutton y Harmon, 1976). Sistemas con componentes vivos obviamente tienen características diferentes que sistemas con componentes físicos o abstractos (sistemas de información, etc.). En el desarrollo de teorías de sistemas, han surgido dos orientaciones, una de ellas enfoca el estudio de sistemas de ingeniería y la otra el estudio de sistemas ecológicos. Es decir, la una se preocupa de sistemas con componentes creados por el hombre y la otra de sistemas con componentes naturales. En este capítulo se presenta un resumen de los conceptos básicos relacionados con sistemas con componentes naturales, es decir, con sistemas ecológicos.

HISTORIA

La palabra ecología deriva del vocablo griego Oikos que significa "lugar donde se vive". Por lo tanto, ecología en el sentido literal tiene que ver con el estudio de organismos dentro de su ambiente. La biología, desde su inicio, ha tomado en cuenta la interacción entre organismos y el ambiente, por lo tanto, no hay una fecha exacta de la separación de la rama de ecología de la biología general. En 1877, Karl Mobius escribió acerca de la comunidad de organismos en un arrecife; Forbes en 1887, describió un lago como un "microcosmo" (Odum, 1972).

La terminología holística entró a la ecología con el concepto (entre otros) de "totalidad" de Smuts (Becht, 1974), de "holocoen" de Friederichs en 1930, de "biosistema" de Thieneman en 1939 (Odum, 1972) y "ecosistema" de Transley en 1935 (Evans, 1956). El ecosistema, como unidad de investigación ha sido desarrollado por muchos investigadores, entre ellos Lindeman (1942), H. T. Odum (1957) y E. P. Odum (1971).

JERARQUIA DEL SISTEMA ECOLOGICO

Una manera de delimitar el área de enfoque de ecología es considerar los niveles de organización de la biología. Empezando con lo más

pequeño, la biología estudia las células, órganos, organismos, poblaciones y comunidades. Estos niveles forman una jerarquía de sistemas, (ver capítulo 1, Figura 1.3) donde las poblaciones son subsistemas de comunidades, los organismos son subsistemas de poblaciones, etc. La ecología abarca poblaciones y comunidades y añade un nivel más alto aún, el de ecosistema.

Un ecosistema es un sistema de organismos vivientes y del medio con el cual intercambian materia y energía (Sutton y Harmon, 1976). La jerarquía de subsistemas dentro de un ecosistema se resume en la Figura 2.1. Un ecosistema contiene componentes bióticos tales como plantas, animales, y micro-organismos y componentes físicos tales como agua, suelo y otros. Estos componentes interactúan para formar una estructura con una función que es un conjunto de procesos físicos y bióticos.

Si se separan los componentes bióticos de un ecosistema, éstos forman un conjunto que se denomina comunidad. Este conjunto de poblaciones interactúa y forma una unidad muy similar a una comunidad humana, con la diferencia de que en el caso de un ecosistema, la comunidad incluye poblaciones de diferentes especies tanto de plantas como de animales y de micro-organismos.

Si se separa una población de la comunidad de un ecosistema, esta población se puede estudiar como un sistema de organismos. Las poblaciones generalmente se definen como grupos de organismos del mismo grupo taxonómico (casi siempre especie). Cada organismo interactúa con otro para formar un conjunto definido como una población.

La ecología como ciencia, tiene la meta de analizar estos sistemas (ecosistemas, comunidad y población), y definir en éstos la relación entre la estructura y su función. En los últimos años, la ecología también se ha expandido hasta incluir sistemas ecológicos más grandes que los ecosistemas. Hay muchos conceptos básicos relacionados con los sistemas estudiados en ecología que pueden servir de guía en el análisis de cualquier sistema.

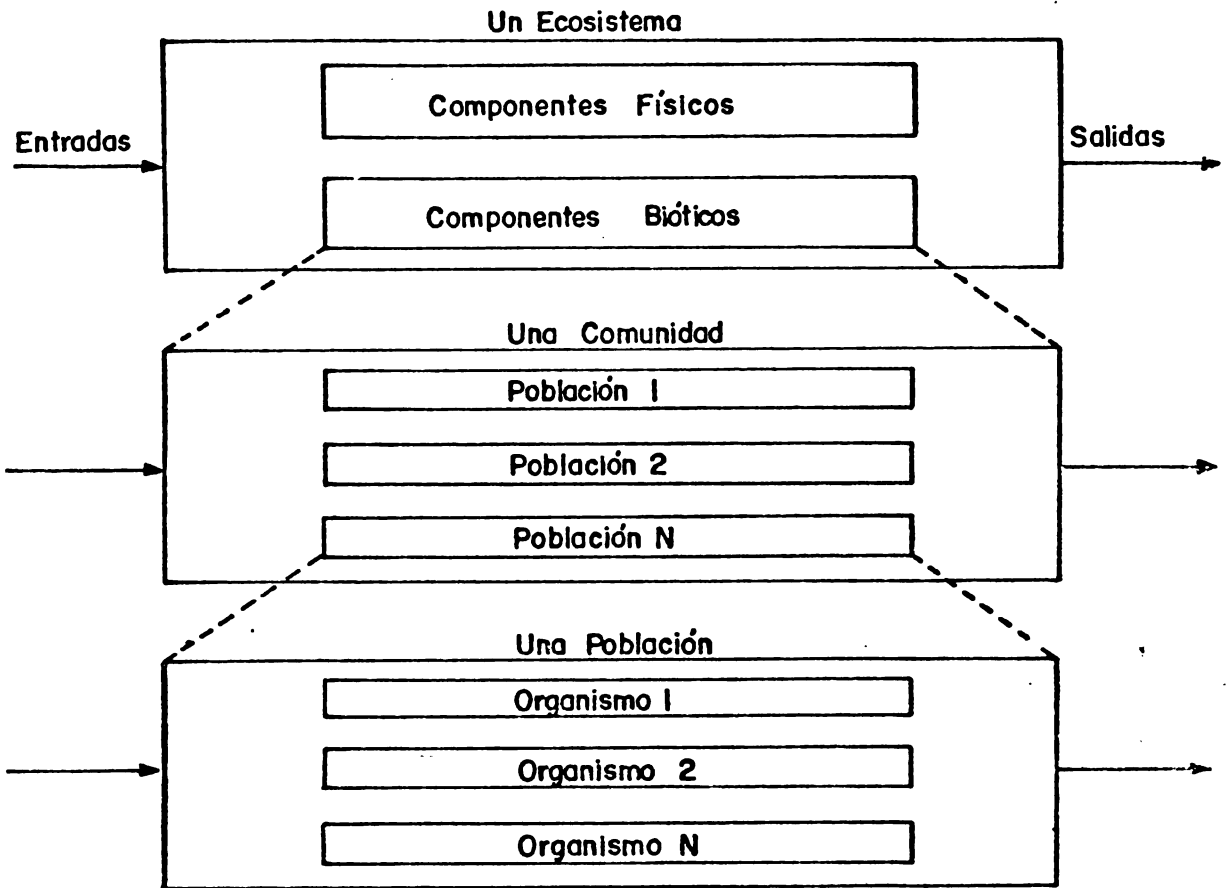


Figura 2.1 La jerarquía de sistemas ecológicos enfocada por la ciencia de la Ecología.

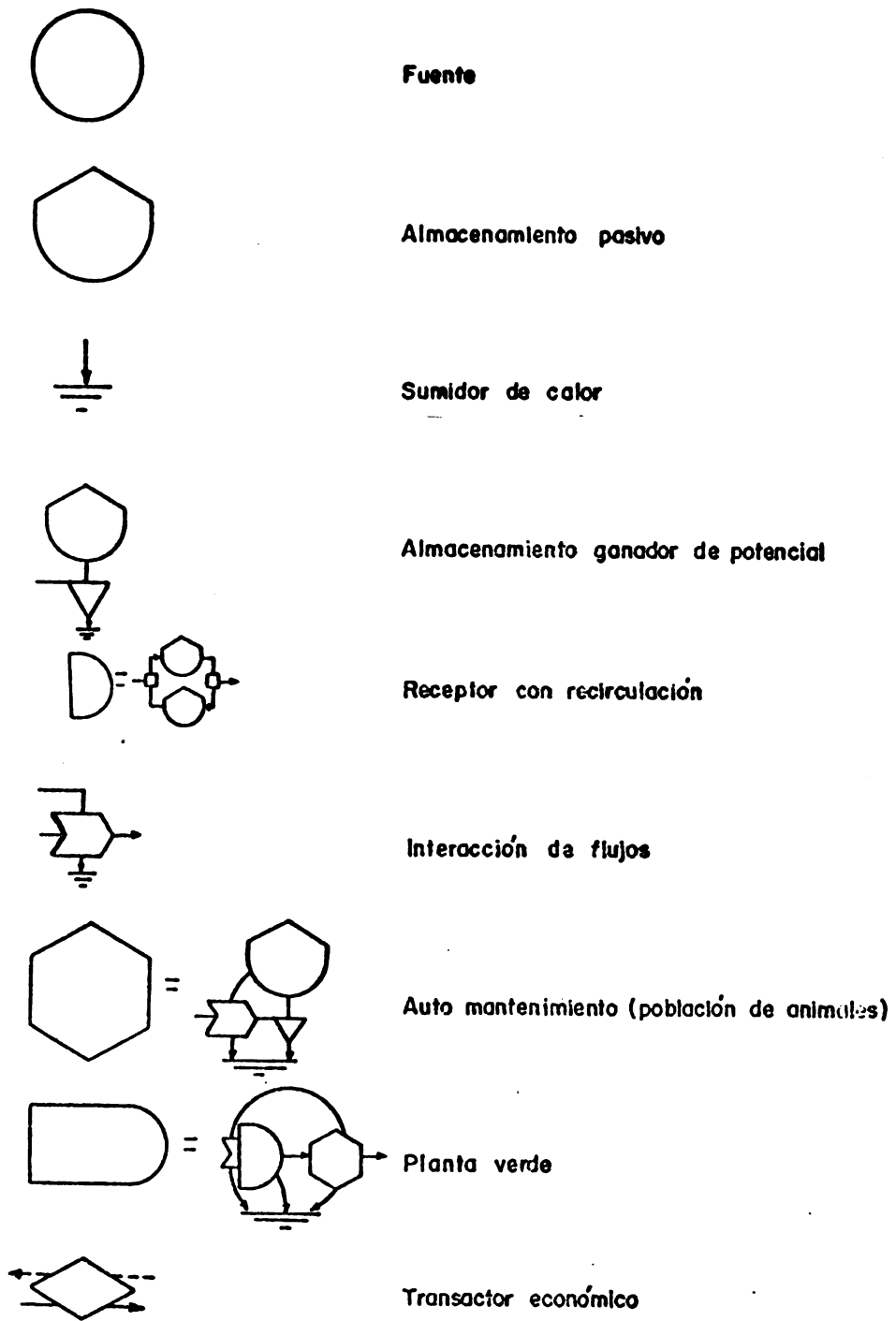


Figura 2.2 Los símbolos del lenguaje de circuitos de H. T. Odum (1971) y los fenómenos que representan.

SIMBOLOGIA DE CIRCUITOS

Para poder describir, entender y usar los conceptos básicos de ecología, es necesario aprender a manejar algunos de los símbolos usados en ecología. Hay muchas maneras diferentes de describir sistemas ecológicos, pero uno que es muy usado, es el de conceptualizar los diferentes sistemas como circuitos de flujos entre los componentes del sistema. Los ecólogos usan lenguajes simbólicos diferentes para representar estos circuitos, unos son más matemáticos y otros son más cualitativos. Los símbolos desarrollados por H. T. Odum (1971) y usados en el texto básico de ecología de E. P. Odum (1972) tienen la ventaja de ser útiles para construir un modelo cualitativo preliminar y también son valiosos para guiar un análisis que requiera más precisión matemática; los símbolos se convierten directamente en ecuaciones que pueden ser simuladas en el computador, si es necesario. También se han usado símbolos para describir sistemas sociales y hasta para simular regiones geográficas enteras.

La Figura 2.2 describe y define los símbolos básicos de la simbología de circuitos de H. T. Odum (1971). Se usa un círculo para representar una fuente de energía, materiales, dinero o información que está fuera del sistema. El flujo que sale del círculo (la fuente) puede ser constante o una función dinámica (por ejemplo: disponibilidad de oxígeno a un animal es de flujo constante, precipitación es un flujo de agua con una función dinámica). El sistema no tiene control sobre este flujo y por lo tanto, una fuente no es realmente un componente del sistema. Los límites del sistema se encuentran entre la fuente y el primer componente que recibe el flujo.

El símbolo que parece un "tanque" de agua representa un componente con almacenamiento pasivo. Este símbolo se usa para representar el almacenamiento de materiales, energía, dinero o información (por ejemplo: una bodega o una cuenta en el banco). Cuando el almacenamiento genera potencial, por ejemplo, si el tanque de agua está en una torre y se bombea agua para llenar este tanque, se añade el símbolo que representa un sumidero de calor a este símbolo de almacenamiento.

Las poblaciones de plantas se representan por un símbolo parecido

a una bala, este símbolo es la suma de dos símbolos; uno representa un receptor de energía (donde ocurre fotosíntesis) y el otro representa consumo autotrófico (respiración "consume" los productos de fotosíntesis). Las poblaciones de animales se representan con el símbolo de un hexágono. El hexágono también es la suma de dos símbolos que significan poblaciones con auto-mantenimiento (auto control).

En la simbología de circuitos, los flujos de energía, materiales e información se representan como una línea entre los componentes del sistema, entre las fuentes y el sistema (entradas) y saliendo del sistema (salidas). Una línea punteada indica un flujo de dinero. Cuando ocurre una interacción de flujo de materiales, energía o información, el símbolo que parece una punta de flecha se coloca en la intersección. La interacción entre un flujo de dinero y otros tipos de flujo, es un caso especial y se señala con el símbolo de un transactor económico. Entre los flujos que van en direcciones opuestas hay un cuadro que representa el precio, que es sólo una relación entre flujos. Por ejemplo, al comprar 5 kg de azúcar por 10 pesos, hay un flujo de dinero en una dirección y un flujo de azúcar en otra dirección. Precio (5 kg/10 pesos) indica la relación entre estos flujos.

La Figura 2.3 es un diagrama de circuitos de un ecosistema. El diagrama incluye muchos de los símbolos definidos en la Figura 2.2.

CONCEPTOS A NIVEL DE ECOSISTEMA

Un ecosistema es un sistema dinámico. Las interacciones entre componentes físicos y bióticos y transformación de energía y transporte de materiales ocurren simultáneamente. Por lo tanto, el estudio de los ecosistemas casi siempre necesita equipos multidisciplinarios de científicos para poder describir la estructura y función del sistema. Hay dos procesos importantes que ocurren simultáneamente dentro de un ecosistema. Estos son:

1. Flujo de energía
2. Ciclaje de nutrientes

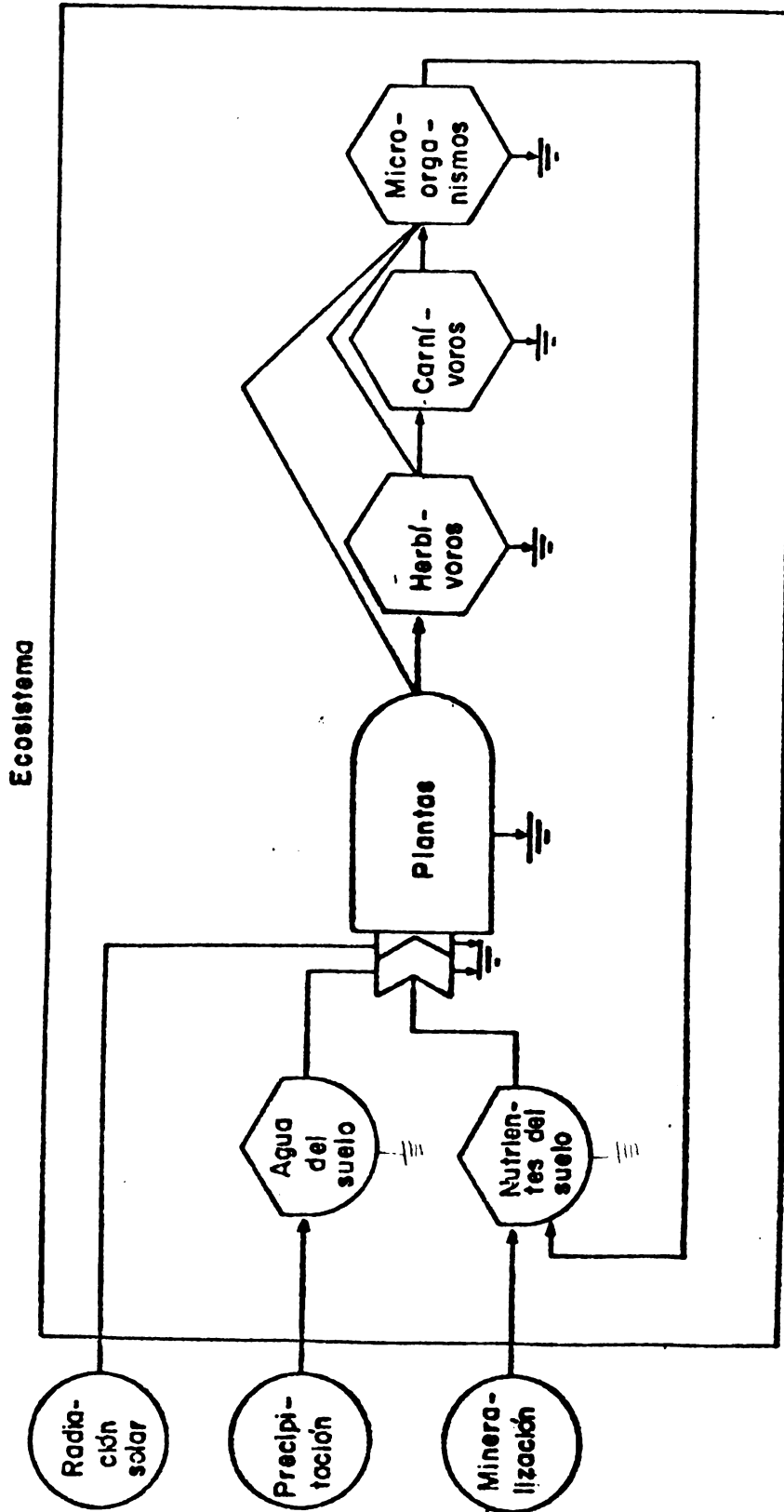


Figura 2.3 Un ecosistema representado como un diagrama de circuitos, usando la simbología de Odum (1971).

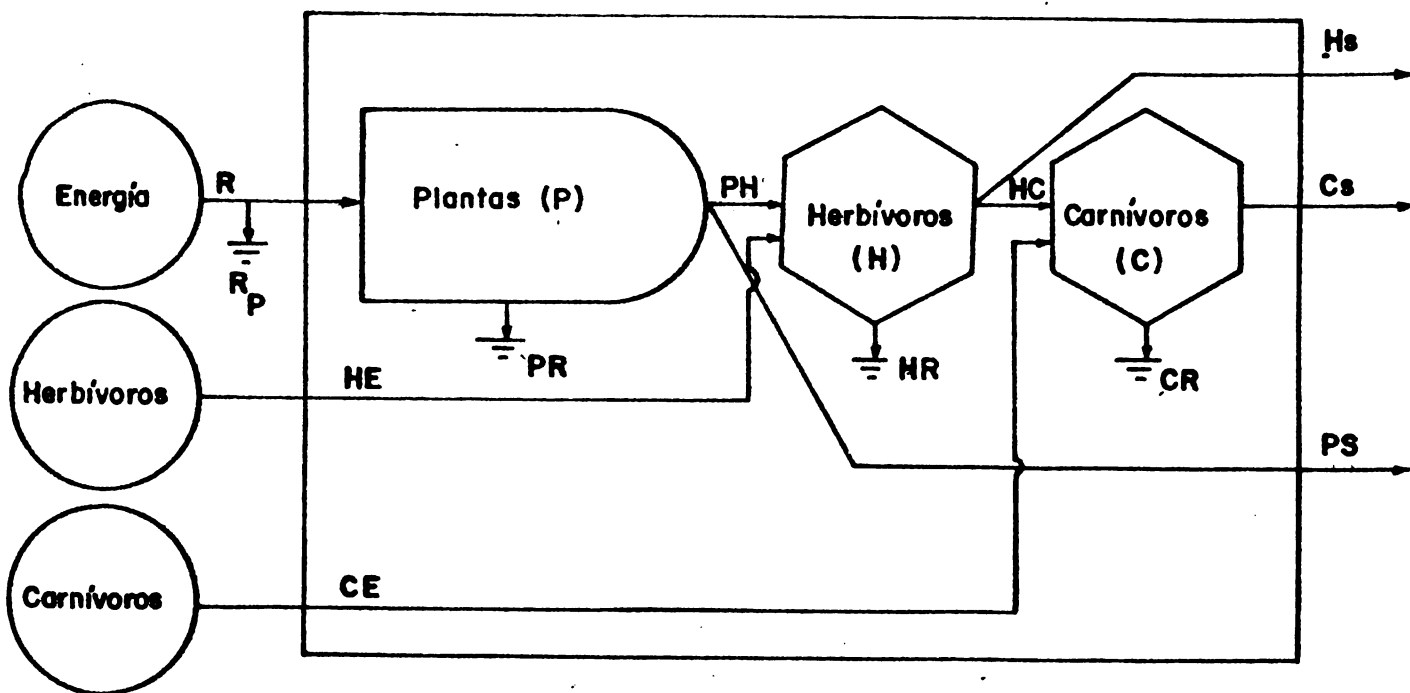


Figura 2.4 El flujo de energía por un ecosistema, donde:

R = Radiación Disponible

R_p = Radiación Perdida (No asimilada)

PPB = Producción Primaria Bruta

P = Biomasa de Plantas

Pr = Respiración de las plantas

PH = Energía consumida por herbívoros (Producción Primaria Neta)

Hr = Respiración de herbívoros

H = Biomasa de Herbívoros

HC = Energía consumida por carnívoros

Cr = Respiración de carnívoros

H_E y C_e = Entrada de herbívoros y carnívoros al sistema

H_S, C_S y P_S = Salida de herbívoros, carnívoros y plantas del sistema

El Desempeño Dinámico de los Componentes del Sistema puede ser descrito matemáticamente como:

Plantas: $\frac{dP}{dt} = PPB - Pr - PH - P_S$

Herbívoros: $\frac{dH}{dt} = PH + H_E - Hr - HC - H_S$

Carnívoros: $\frac{dC}{dt} = HC + C_E - Cr - C_S$

Flujo de energía

La radiación solar es a un ecosistema lo que la gasolina es a un motor. La radiación es la fuente principal de energía de un ecosistema. La energía entra al sistema por medio de la fotosíntesis de las plantas. Los herbívoros reciben su energía al oxidar (respiración) tejidos de plantas y los carnívoros reciben su energía consumiendo otros animales. Los micro-organismos se alimentan consumiendo restos de plantas y animales. En todos los eslabones de esta cadena de flujo de energía, un porcentaje de la energía que entra al sistema se convierte en calor. Al final, toda la energía que entra al ecosistema se convierte en calor, y se usa en incrementar la biomasa dentro del sistema, o sale del sistema en forma de biomasa animal o vegetal. Es importante notar que el flujo de energía dentro del ecosistema es en una dirección, no hay reciclaje de energía.

El comportamiento de la energía dentro de un ecosistema está obviamente determinado por las leyes termodinámicas:

1. La primera ley dice que la energía puede transformarse de una clase en otra, pero nunca se crea o se destruye.
2. La segunda ley dice, que no puede ocurrir una transformación que sea 100% eficaz.

Por lo general, sólo una pequeña porción (1-5%) de la energía solar se convierte a material orgánico por medio de la fotosíntesis. Esta tasa se designa Producción Primaria Bruta. Un porcentaje de la producción primaria se usa (por medio de respiración) para mantener su propia biomasa, entonces lo que sobra de la producción primaria se designa como Producción Primaria Neta. Esto es, la energía que queda disponible para los herbívoros del sistema. La Producción Neta de la Comunidad es la producción primaria neta menos la energía usada por los herbívoros.

También se puede medir la productividad de los animales del ecosistema. Así, Productividad Secundaria es la energía usada por los animales del sistema. La Figura 2.4 es un resumen de cómo se calculan estos índices en un ecosistema real.

Ciclos biogeoquímicos

La energía que entra y sale de un ecosistema aporta la energía necesaria para el ciclaje de materiales dentro de un ecosistema. A diferencia de la energía, que no puede recircular [algunos nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, azufre, carbono, etc. pueden ser absorbidos por las plantas, consumidos por los animales, devuelto al suelo por medio de la acción de los micro-organismos sobre la biomasa muerta] (material orgánico) y luego reabsorbidos por las plantas nuevamente. Estos ciclos de elementos químicos entre los componentes de la comunidad biótica y el ambiente físico se conoce como ciclos biogeoquímicos.

La Figura 2.5 es un resumen del ciclo biogeoquímico del nitrógeno dentro de un ecosistema. Los restos del material orgánico de las plantas y animales son atacados por micro-organismos de tipo amonificadores que liberan nitrógeno (N_2) a la atmósfera y amoníaco (NH_3) al suelo. Los micro-organismos nitrificadores producen NO_2 que se convierte en N_2 a través de los denitrificadores y en nitrato por los nitrificadores. Los relámpagos, por medio de descargas de electricidad, también producen nitrato de N_2 . El nitrógeno en forma de nitrato es absorbido por plantas y el ciclo empieza de nuevo. Esta descripción del ciclo de nitrógeno es solamente un ejemplo de un ciclo biogeoquímico. Otros elementos también circulan dentro de un ecosistema.

CONCEPTOS AL NIVEL DE COMUNIDAD

La comunidad biótica es un conjunto de poblaciones que viven en un área o en un habitat físico determinado (Odum, 1972). Como en cualquier análisis de un sistema, la mayoría de los estudios ecológicos en comunidades, han tenido la meta de describir la estructura de diferentes tipos de comunidades y relacionarla con procesos ecológicos. Los dos tipos de conceptos que han resultado de estos estudios han sido índices de estructura de comunidades y la identificación de procesos dinámicos que ocurren dentro de las comunidades. Un ejemplo de un proceso dinámico que ha recibido considerable atención en ecología es la sucesión.

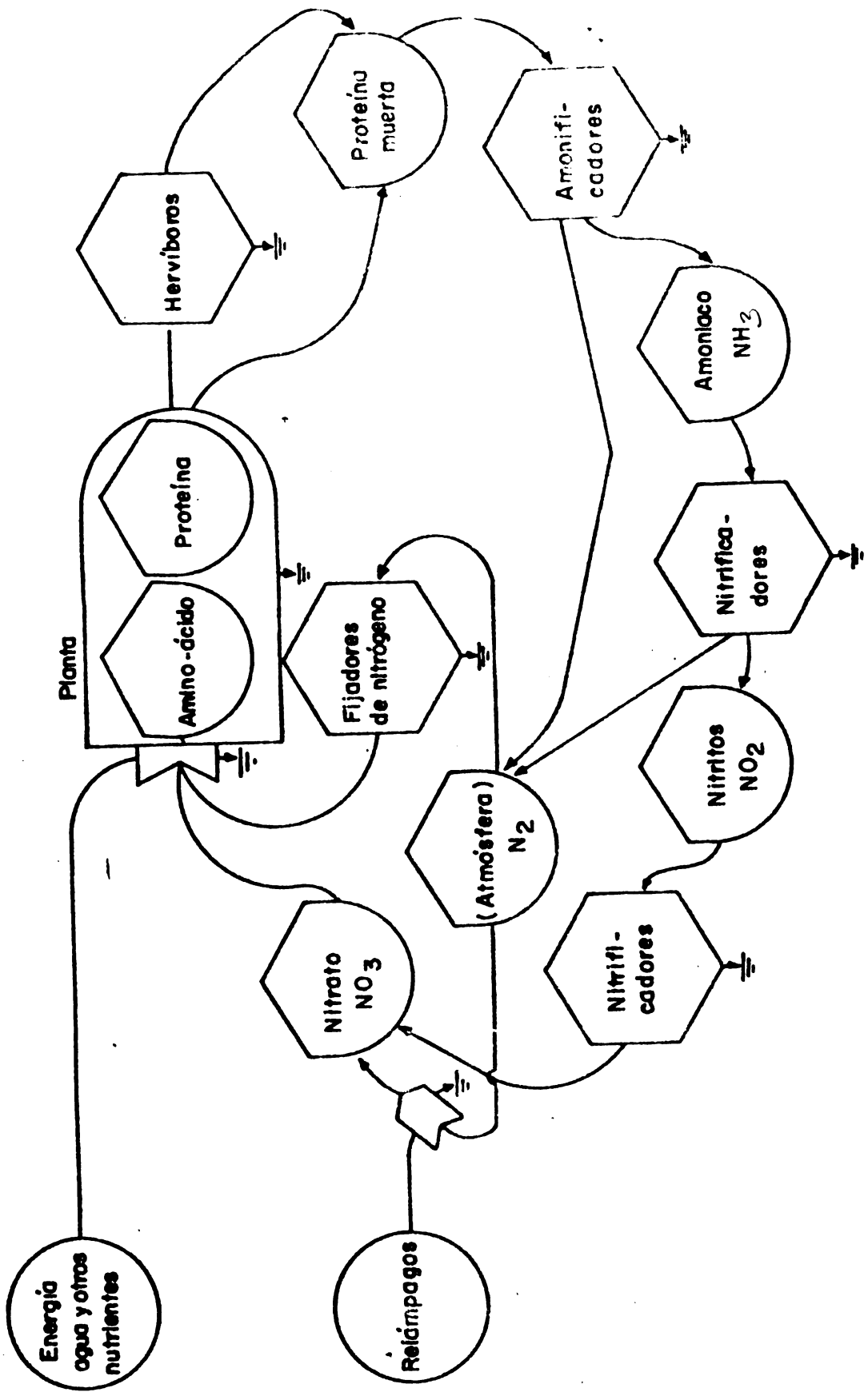


Figura 2.5 Flujo de nitrógeno entre los componentes de un ecosistema formando un ciclo biogeoquímico.

Indices de estructura

Las comunidades son arreglos de poblaciones, estas poblaciones interactúan en el tiempo y el espacio; pueden convivir en una época dada o pueden vivir una tras otra en un arreglo cronológico. Para poder caracterizar y clasificar estos arreglos de poblaciones se han generado varios indices diferentes de estructura. Entre ellos están:

1. Riqueza (variedad de especies); 3 índices usados son:

$$a) R = \frac{S - 1}{\text{Log } N}$$

donde:

R = Riqueza

$$b) R = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

S = Número de especies

N = Número de individuos

$$c) R = \frac{S}{1000 \text{ individuos}}$$

2. Diversidad (de Shannon)

$$\begin{aligned} \bar{H} &= -\sum \frac{N_i}{N} \left(\log \left(\frac{N_i}{N} \right) \right) \\ &= -\sum p_i \text{Log } p_i \end{aligned}$$

donde:

N_i = Valor de importancia para cada especie (número, biomasa, etc.)

N = Total de valores de importancia

p_i = Probabilidad de importancia para cada especie (N_i/N)

La riqueza es una medida del número de especies en una comunidad, pero no da información sobre distribución de importancia de las especies. Por ejemplo, una comunidad de 1000 individuos puede tener 100 especies diferentes, pero si su distribución es de 901 individuos de una especie y sólo un representante de las otras especies, la comunidad no tiene la misma estructura que una comunidad con 1000 individuos, con 100 especies de 10 individuos cada una. El índice de diversidad toma en cuenta esta distribución.

Al comparar estructuras (mejor dicho: índices de estructuras) de diferentes comunidades, se han encontrado tendencias muy interesantes. Por ejemplo, la diversidad de comunidades es mayor en el trópico, menor en zonas templadas y menor aún en regiones polares. La diversidad es

también mayor en el área de transición entre dos comunidades (definido como un Ecotón). La diversidad también cambia durante la sucesión, que es el proceso de desarrollo de un ecosistema.

Sucesión

Uno de los fenómenos más estudiados en ecología es la sucesión.

Cuando una comunidad estable se altera drásticamente, por ejemplo, cuando se corta un bosque, la comunidad nueva pasa por una serie de etapas serales para llegar otra vez a algo similar a la comunidad estable. Esta sucesión de comunidades es un proceso en donde una comunidad temporal modifica al ambiente físico. El nuevo ambiente selecciona a una nueva comunidad, que otra vez modifica al ambiente, hasta llegar a la comunidad estable. Esta última comunidad (que posiblemente no existe en la realidad) se conoce como "climax".

La sucesión puede ocurrir en cualquier comunidad. Hay principios de sucesión que son aplicables a cualquier ecosistema. Por ejemplo, durante la sucesión el índice P/R (Producción Bruta/Respiración de la comunidad) es mayor de 1.0 en las primeras etapas de sucesión y baja durante el proceso hasta llegar a 1.0 en la comunidad climax. La producción neta es alta en las primeras comunidades y llega a cero o cerca de cero en el climax. Los ciclos biogeoquímicos están más abiertos al principio y se cierran durante el proceso de sucesión. También se han estudiado muchos otros cambios en la estructura y función de las comunidades durante el proceso de sucesión. El Cuadro 2.1 es una tabulación de las tendencias al cambio, que ocurren durante la sucesión. El cuadro se reprodujo totalmente del libro Ecología de E. P. Odum (1972).

PRINCIPIOS Y CONCEPTOS A NIVEL DE POBLACION

Una población es un grupo de organismos de una clase taxonómica. Generalmente, se escoge a la especie como la clase taxonómica para definir una población. En la práctica, una población son simplemente todos los organismos de la misma especie que se encuentran ocupando un espacio dado. Una población tiene características similares a las que tiene un individuo. Por ejemplo, una población nace, crece, compete con otras poblaciones y muere. Los conceptos y principios relacionados

Cuadro 2.1 Modelo tabular de sucesión ecológica: tendencias que cabe esperar en el desarrollo de ecosistemas*

Atributos del ecosistema	Etapas de desarrollo	Etapas maduras
<u>Energía de la comunidad</u>		
Producción bruta/respiración de la comunidad (razón P/R)	Mayor o menor que 1	Se aproxima a 1
Producción bruta/biomasa del plantel permanente (razón P/B)	Alta	Baja
Biomasa soportada/unidad de corriente de energía (razón E/E)	Baja	Alta
Producción neta de la comunidad (rendimiento)	Alta	Baja
Cadena de alimentos	Lineales, predominantemente de pasto	Tipo tejido, predominantemente de detritus
<u>Estructura de la comunidad</u>		
Materia orgánica total	Pequeña	Grande
Elementos nutritivos inorgánicos	Extrabióticos	Intrabióticos
Diversidad de especies -componente de variedad	Baja	Alta
Diversidad de especies -componente de equitabilidad	Baja	Alta
Diversidad bioquímica	Baja	Alta
Estratificación y heterogeneidad espacial (diversidad de patrón)	Poco organizada	Bien organizada
<u>Historia biológica</u>		
Especialización de nicho	Amplia	Angosta
Tamaño de los organismos	Pequeño	Grande
Ciclos biológicos	Breves, simples	Largos, complejos
<u>Ciclo alimenticio</u>		
Ciclos minerales	Abiertos	Cerrados
Intensidad de intercambio de elementos nutritivos entre los organismos y el medio	Rápido	Lento
Papel del detritus en la regeneración de los elementos nutritivos	Sin importancia	Importante
<u>Presión de selección</u>		
Forma de crecimiento	Para crecimiento rápido ("selección r")	Para control de retroalimentación ("selección K")
Producción	Cantidad	Calidad
<u>Homeostasia conjunta</u>		
Simbiosis interna	No desarrollada	Desarrollada
Conservación de elementos nutritivos	Mala	Buena
Estabilidad (resistencia a perturbaciones externas)	Mala	Buena
Entropía	Alta	Baja
Información	Baja	Alta

* Reproducido de Ecología (Odum, 1972). Copy Right de 1969, de la American Association for the Advancement of Science (Odum, 1969).

con poblaciones pueden dividirse entre conceptos relacionados con una población individual, y conceptos relacionados con interacción entre dos poblaciones.

Características de una población

El crecimiento de una población es el resultado neto de la natalidad, mortalidad y dispersión del grupo. El cambio de tamaño de una población (N) sin limitación de alimento o espacio puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = rN \quad \text{o} \quad N_t = N_0 e^{rt}$$

Donde r es un coeficiente de crecimiento y es igual a natalidad menos mortalidad y dispersión. Una población de este tipo tiene una curva definida de tipo "J" y crece rápidamente sin límite. Una curva de crecimiento más común es de tipo "S" donde hay un límite ambiental. El cambio de tamaño de una población (N) con estas condiciones se define por la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{rN(K - N)}{K}$$

Donde K es un límite ambiental. Es común en ecología caracterizar una población como limitada por "r" o limitada por "K". Esto indica si el tamaño de una población está limitado por factores biológicos de la población (r) o si está limitado por factores del ambiente (K).

Interacción entre poblaciones

Hay muchos tipos de interacción entre poblaciones, pero los dos tipos más importantes son competencia y depredador-presa. Hay competencia entre las poblaciones cuando las dos están al mismo nivel trófico y usan los mismos recursos. Hay una relación depredador-presa cuando las dos están a diferentes niveles tróficos y una población come o afecta negativamente al otro.

La competencia entre dos poblaciones puede definirse por las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy$$

$$(2) \quad \frac{dy}{dt} = ey - fy^2 - gxy$$

Donde (x) y (y) son dos poblaciones y (a, b, c, e, f, g) son constantes calculadas para cada población particular. La ecuación (1), que describe la población x, tiene un término (cxy) que incluye el tamaño de la población y. La ecuación (2), que describe la población y, tiene un término (gxy) que incluye el tamaño de la población x. La simulación de estas ecuaciones indicaría que, al subir cualquiera de las poblaciones, la otra población bajaría.

Las relaciones entre poblaciones de tipo depredador-presa pueden definirse usando las siguientes ecuaciones:

$$(3) \quad \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy^2 \quad (\text{presa})$$

$$(4) \quad \frac{dz}{dt} = exz - fz^2 \quad (\text{depredador})$$

Donde (x) y (z) son poblaciones y (a, b, c, e, f) son constantes calculadas para cada población particular. Se nota que la ecuación (3) es igual a la ecuación (1) y pudieran describir, por ejemplo, una población de plantas. La ecuación (4) describe una población (z) que se alimenta de la población (x). Al simular estas dos ecuaciones resultaría una oscilación de las dos poblaciones. Como la población x es alimento para la población z, al subir z, x baja. Pero cuando x baja demasiado no hay alimento para z, y la población z empieza a bajar. Al bajar z, hay menos efecto negativo para la población x, y x empieza a subir y también a producir más alimento para z. Esto es muy similar a lo que ocurre entre poblaciones de cultivos e insectos.

RESUMEN

En este capítulo se ha enfocado un subconjunto del conjunto de sistemas del universo. Este subconjunto incluye sistemas caracterizados por lo menos, por un componente de organismos vivos. Estos sistemas (por

definición) son sistemas ecológicos. En el primer capítulo, se resu
mieron conceptos de sistemas en general, en éste se resumen conceptos
relacionados con sistemas ecológicos. La ecología enfoca principalmente
la jerarquía de sistemas entre el ecosistema y las poblaciones de or
ganismos y trata de describir la relación entre la estructura y función
de estos sistemas, pero los conceptos ecológicos son aplicables a cual-
quier sistema con componentes vivos.

Los puntos sobresalientes de este breve resumen de los conceptos
de ecología, se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Qué distingue los sistemas ecológicos de otros sistemas no ecológicos?
2. Una comunidad es un subsistema de un sistema, ¿cuál sistema?
3. En la simbología de circuitos, ¿qué significa un círculo?
¿un hexágono?
4. ¿Puede ocurrir ciclaje de energía dentro de un ecosistema?
5. ¿Qué es la producción primaria neta de un ecosistema?
6. Nombre tres elementos que reciclen dentro de un ecosistema
7. ¿Cuál es la diferencia entre riqueza y diversidad de una co-
munidad?
8. ¿Qué es una sucesión?
9. ¿Cuál es un ejemplo de una relación entre poblaciones de ti-
po depredador-presa?

LITERATURA CITADA

1. BECHT, G. 1974. Systems theory, the key to holism and reductionism. Bioscience 24(10):596-579.
2. EVANS, F. C. 1956. Ecosystems as the basic unit in Ecology. Science 123:1127-1128.
3. ODUM, E. P. 1971. Fundamentals of Ecology. Washington, D. C. Saunders. 574 p.
4. _____. 1972. Ecología. Traducido al español por C. G. Ottenwaelder. Nueva Editorial Interamericana. México. 639 p.

5. ODUM, H. T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. *Ecological monographs* 27:55-112.
6. _____. 1971. *Environment, power and society*. New York, Wiley. 331 p.
7. SUTTON, D. B. y HARMOND, N. P. 1977. *Fundamentos de ecología*. Traducido al español por J. G. Velasco F. Editorial Limusa, México. 295 p.

CAPITULO 3: SISTEMAS AGRICOLAS

Los sistemas agrícolas son un subconjunto de los sistemas ecológicos. Son sistemas ecológicos porque tienen por lo menos un componente vivo. Sólo un porcentaje pequeño de los sistemas ecológicos existentes son sistemas agrícolas. Spedding (1975), en su libro sobre la biología de los sistemas agrícolas, discute los propósitos de éstos y la distinción entre ellos y los sistemas bióticos, y concluye que el criterio más importante es que un sistema agrícola tiene un propósito.

El concepto de "propósito" es, obviamente, un concepto antropocéntrico. La hormiga, en el bosque, tal vez piense que los árboles tienen el "propósito" de alimentar hormigas. El hombre, en su evolución ha tomado a veces una actitud similar; pero él como cualquier otro animal, es componente de un sistema. Como animal omnívoro, (que come plantas y otros animales) el hombre ha elaborado programas de actividades que tienden a incrementar poblaciones de plantas y animales que él come o que le son de utilidad. Estas poblaciones de valor agronómico, junto con otras poblaciones bióticas que interactúan con éstos, y el ambiente físico y socio-económico que a su vez interactúa con las poblaciones bióticas, forman sistemas agrícolas.

Los sistemas agrícolas ocurren desde un nivel mundial, con flujos de mercadería agrícola entre países, hasta el nivel de una planta o un animal y los procesos fisiológicos dentro de estos organismos. Los sistemas agrícolas casi siempre interactúan. La salida de uno puede ser entrada a otro; un sistema agrícola puede ser subsistema de otro sistema agrícola. Este conjunto de sistemas agrícolas con interacciones verticales (entre sistema y subsistema) e interacciones horizontales (al mismo nivel jerárquico) forma una unidad extremadamente compleja.

Marco conceptual

La Figura 3.1 esquematiza un marco conceptual basado en sistemas agrícolas jerárquicos. Los sistemas agrícolas que interactúan para formar los procesos de producción agrícola también se relacionan horizontal y verticalmente. La interacción vertical determina la jerarquía de los sistemas agrícolas.

Para el desarrollo y la investigación agrícolas la región geográfica es generalmente, "la unidad de mayor interés". La jerarquía esquematizada en la Figura 3.1 supone a su vez, que una población compuesta por una variedad de cultivos o un tipo de animales, es "la unidad de interés" más pequeña para quien estudia los sistemas agrícolas de una región.

Una región es un sistema agrícola con subsistemas. Dependiendo de las circunstancias, cualquiera de estos subsistemas puede ser el de mayor interés. Por ejemplo, el subsistema de crédito agrícola puede ser conceptualizado como un sistema y estudiado para identificar los subsistemas que forman esa unidad. En la Figura 3.1 se ha supuesto que las fincas de la región tienen prioridad como unidades de estudio.

Una finca también es un sistema. Los investigadores agrícolas están dando mucho énfasis a los estudios e investigaciones en sistemas de fincas. Un agroecosistema es un subsistema de la finca, análogo a la unidad "ecosistema" en Ecología. Como el ecosistema, el agroecosistema es un conjunto de poblaciones de plantas, animales y micro-organismos, que puede incluir poblaciones de cultivos, animales domésticos o ambos. Estas poblaciones de valor agrícola pueden ser separadas de las otras poblaciones y definidas como subsistemas de cultivos o animales. Los sistemas de cultivos y de animales son arreglos de poblaciones de cultivos o animales que interactúan.

El desarrollo o la investigación agrícola no tienen que abarcar toda esta jerarquía, (de la región a un cultivo o animal) pero en general es necesario estudiar por lo menos tres niveles a la vez. La unidad de prioridad es un nivel, pero para definir las entradas de esta unidad, o sea, el ambiente donde funciona, es necesario estudiar el nivel en el cual la unidad funciona como subsistema. Para describir y entender el sistema prioritario también es necesario estudiar los subsistemas de esta unidad. Por ejemplo, si un grupo de técnicos está interesado en el sistema de cultivos como unidad de prioridad, tiene que estudiar:

1. El nivel del agroecosistema
2. El nivel del sistema de cultivos
3. El nivel de un cultivo

Este principio, que puede ser denominado el principio de "tres niveles mínimos" puede servir como pauta en la investigación de cualquier

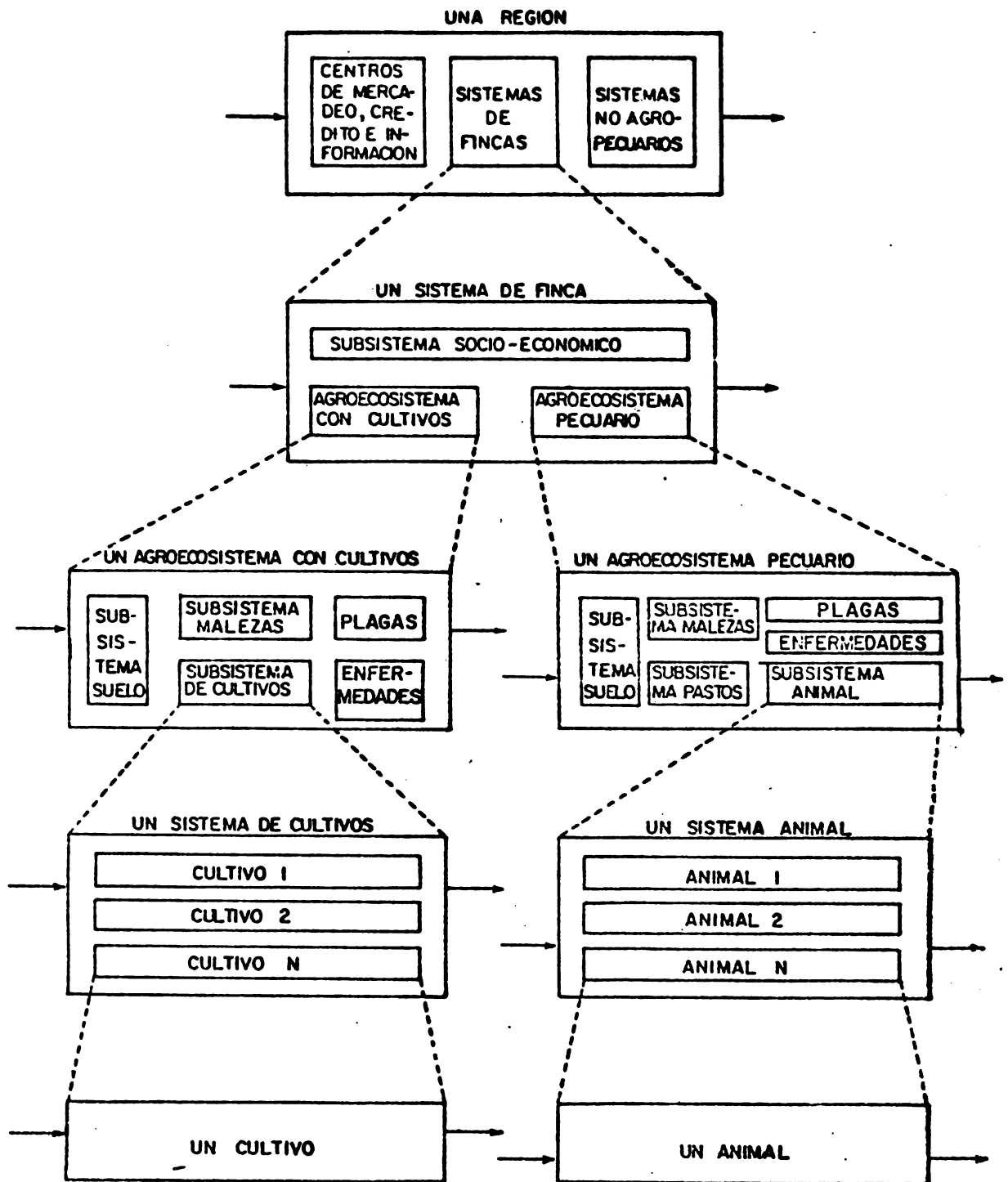


Figura 3.1 Una jerarquía de sistema agrícola formada por una región, una finca y dos agroecosistemas con sistemas de cultivos y sistemas de animales, respectivamente.

sistema agrícola.

Análisis de sistemas agrícolas

El análisis de cualquier sistema empieza con su descripción. Esta descripción, ya sea desarrollada o expresada a través de un diagrama o una ecuación matemática, es un modelo del sistema. Un modelo, por definición, es una simplificación de la realidad. Al simplificar se identifican los elementos más importantes para incluir en el modelo. Por lo tanto, un modelo es también un conjunto de hipótesis sobre la estructura y la función del sistema. Estas hipótesis, como cualquier otras, se pueden evaluar por medio de experimentación. Pero también es posible evaluar un modelo, y por lo tanto las hipótesis implícitas en el modelo, por un proceso de validación práctica. Si el modelo funciona como herramienta práctica, esta utilidad da cierta validez a las hipótesis que implica. Esta posibilidad de usar la utilidad del modelo como prueba de un conjunto de hipótesis puede ser mucho más eficiente que evaluar cada hipótesis individualmente.

Los pasos principales en el análisis de un sistema son: la elaboración del modelo, y la validación. En la investigación agrícola se supone que el análisis de un sistema tiene un objetivo que va más allá de entender su estructura y función. Se espera que el resultado del análisis tenga también cierta utilidad. A los pasos de "elaboración del modelo" y "validación" se puede añadir entonces, la utilización.

Elaboración del modelo, validación y utilización no son procesos separados. El primer modelo de un sistema puede ser puramente cualitativo, pero al cuantificarse las relaciones supuestas en el primer modelo, ha empezado el proceso de validación. Es muy posible que el modelo cuantitativo, elaborado después de medir y cuantificar las entradas, salidas y función de los subsistemas del sistema real, puedan ser muy diferente al modelo cualitativo original. Desde el comienzo se puede usar como herramienta el primer modelo cualitativo; este uso del modelo es, al mismo tiempo, una etapa de validación. Conforme pasa el tiempo el modelo evoluciona, y es más y más útil como base para diseñar mejores sistemas agrícolas.

Cada región, finca, agroecosistema, sistema de cultivos y sistema de

animales es diferente; pero es posible describir unos modelos cualitativos que puedan servir de marco conceptual para estudiar e investigar estos sistemas.

Las Figuras 3.2 y 3.6 son diagramas (modelos) de estos cinco sistemas. En todos los diagramas el sistema se visualiza como un conjunto de subsistemas, dentro de un cuadro que define sus límites. Las entradas a los sistemas están representadas por círculos que son las fuentes de flujos (líneas con flechas) que entran al sistema. Los diagramas también incluyen los flujos entre los subsistemas y las salidas de los sistemas.

La región

La Figura 3.2 describe la región geográfica como un sistema. Dinero, materiales, energía e información entran y salen de la región y fluyen entre sus subsistemas. En este modelo, se ha dividido la región en: sistemas no agrícolas (zonas urbanas, fábricas, bosque, etc.); centros de mercadeo, crédito e información y sistemas de fincas de diferentes tipos. Al hacer el estudio de una región real, sería necesario especificar los diferentes tipos de centros y clasificar los tipos de fincas en base a las características pertinentes a los objetivos del estudio. También sería necesario precisar los tipos de flujos, usando características basadas en la realidad de la región. Por ejemplo, los materiales pueden ser divididos en productos no agrícolas, insumos agrícolas, granos básicos, carne, leche, etc. La energía puede ser dividida en: energía humana (gente que entra y sale para trabajar), energía animal, petróleo, etc. El grado de precisión necesario para cuantificar estos flujos al hacer el modelo cuantitativo dependería del propósito del estudio.

Los estudios regionales pueden ser realizados por medio de encuestas, censos, etc. En la mayoría de los casos ya existe mucha información, como mapas de suelos, estudios climatológicos, etc. que puede servir de base al equipo que empieza un estudio a nivel de sistema regional.

La finca

La Figura 3.3 describe la finca como un sistema. En el diagrama se considera la finca como un sistema con entradas y salidas de dinero; materiales, energía e información. El sistema tiene un subsistema socio-eco

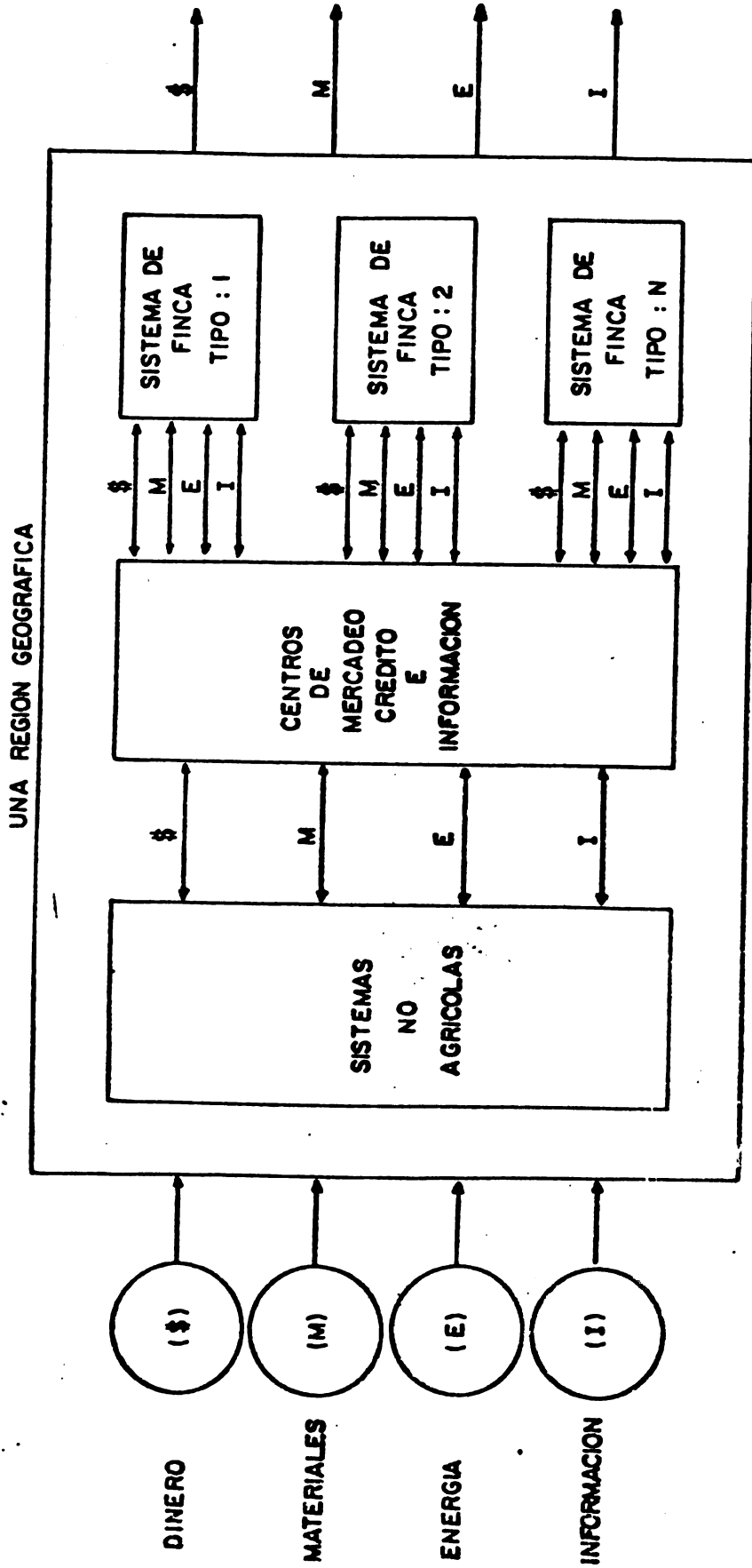


Figura 3.2 El flujo de dinero, materiales, energía e información por una región geográfica formando un sistema regional.

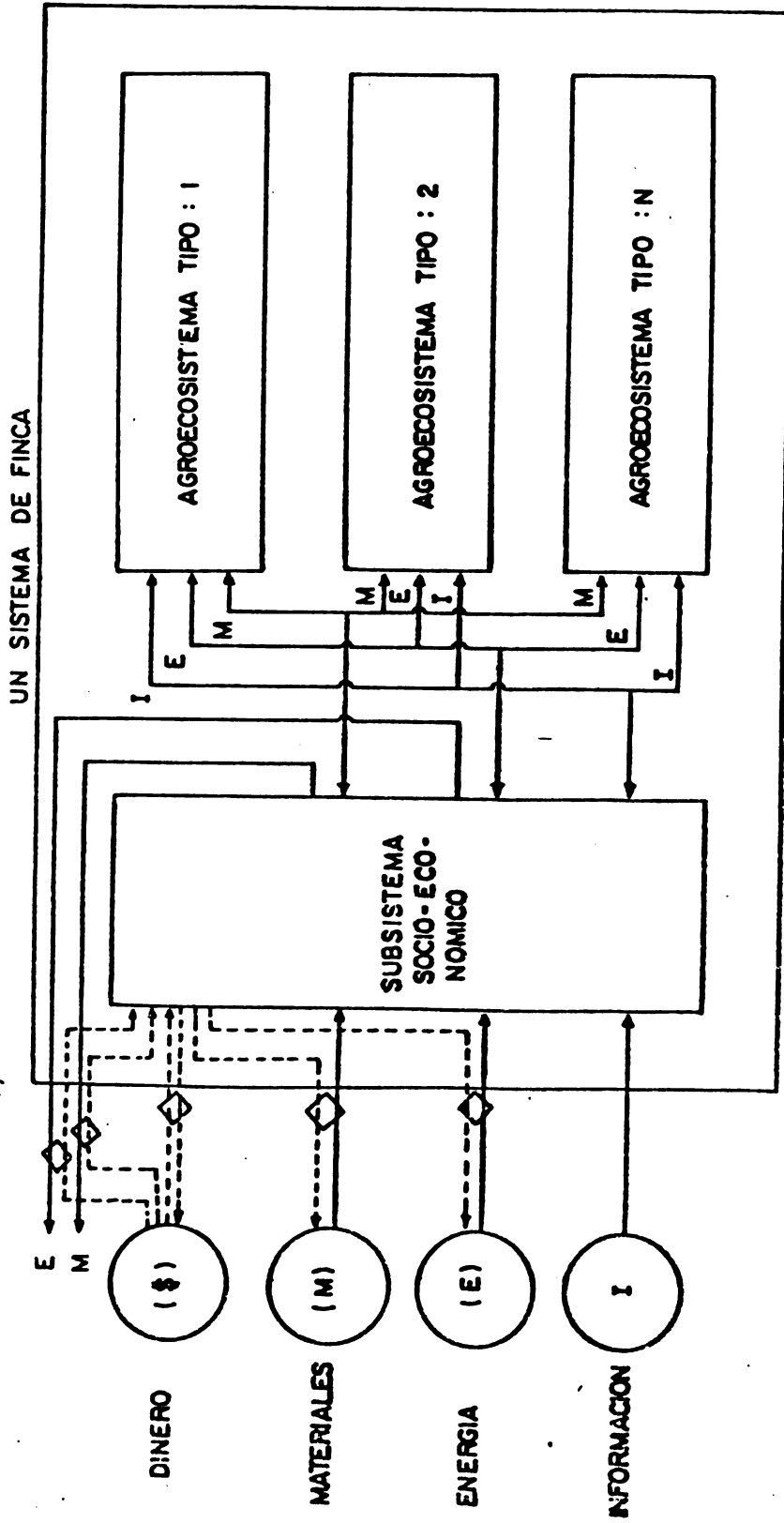


Figura 3.3 El flujo de dinero, materiales, energía e información por una finca formando un sistema de finca con un subsistema socio-económico y uno o más agroecosistemas.

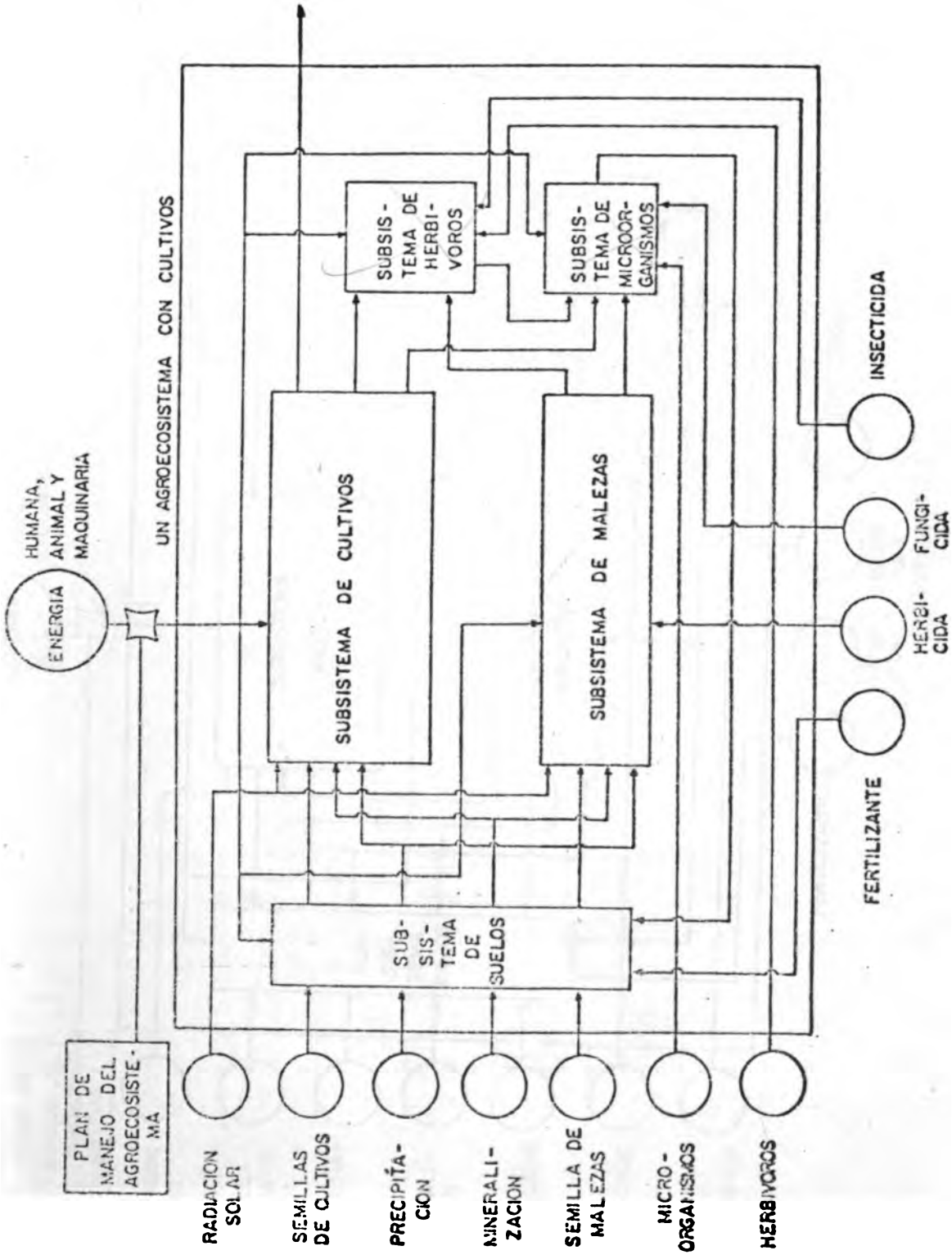


Figura 3.4 El flujo de materiales y energía por un agroecosistema con un subsistema de cultivos y con subsistemas de suelos, malezas, herbívoros y micro-organismos.

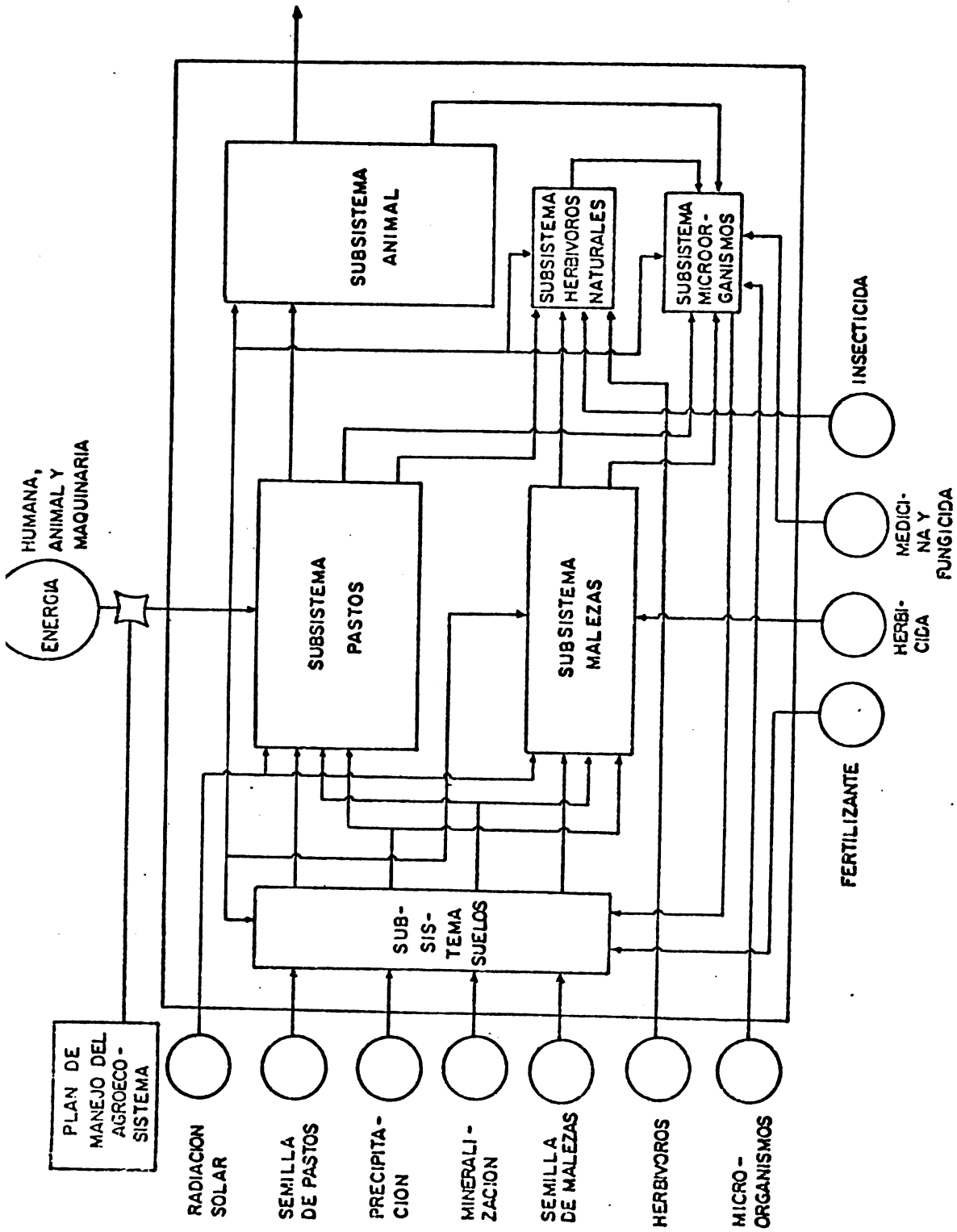


Figura 3.5 El flujo de materiales y energía por un agroecosistema con un subsistema animal y con subsistemas de suelos, malezas, herbívoros y micro-organismos.

nómico que incluye la casa y todo lo relacionado con flujos que entran y salen de la finca. Las líneas punteadas indican el flujo de dinero; en el modelo se ha supuesto que por cada flujo de materiales y energía que entra a la finca, hay un flujo de dinero que sale. La relación entre estos dos flujos que van en direcciones opuestas, es el precio del material o energía (un quintal de fertilizante/x pesos). Al vender materiales o energía, el agricultor recibe dinero. Para simplificar, no se ha puesto precio a la información que entra a la finca.

Dentro de la finca hay flujos de materiales y energía que entran y salen del subsistema socio-económico y los agroecosistemas de la finca. En el diagrama también se ha incluido un flujo de información entre subsistemas porque el agricultor al ir de su casa a un agroecosistema, lleva con él (aunque no esté escrito) un plan de manejo para cada agroecosistema.

Los estudios de fincas para construir modelos cualitativos y cuantitativos, generalmente se hacen por medio de encuestas y registros de fincas. La investigación en sistemas de fincas casi siempre se basa en la comparación entre dos o más fincas que están funcionando. Trabajar con fincas modelos ayuda a entender como funciona una finca y da al investigador la oportunidad de probar modificaciones al sistema de finca, dentro de un ambiente más predecible que una finca real; pero muchas veces es más factible dejar que los agricultores con fincas reales evalúen las modificaciones posibles. La investigación en sistemas de fincas es un campo que no se ha estudiado mucho.

El agrosistema

La Figura 3.4 describe un agroecosistema con un subsistema de cultivos, y la Figura 3.5 un agroecosistema con un subsistema de animales. Desde el punto de vista ecológico no hay mucha diferencia entre estos dos sistemas, pues ambos tienen subsistemas de suelos, plantas (cultivos, pastos, malezas), herbívoros, y micro-organismos. En estos modelos las entradas físicas y bióticas, como radiación solar, precipitación, semillas, etc. ingresan por el lado izquierdo del diagrama y las de productos químicos por la parte baja. La energía humana, animal o maquinaria ingresan por arriba. Estos últimos flujos entran con base en un plan de manejo.

Es importante observar que aunque al agricultor le interesa más el comportamiento del subsistema de cultivos o el subsistema de animales, aplica su plan de manejo a nivel del agrosistema. Sus actividades dirigidas al subsistema de suelo (arar, etc.) tienen como meta incrementar directamente el flujo de nutrientes o agua a los cultivos o pastos. El control de malezas a mano o con productos químicos también tiene como meta disminuir la competencia de malezas para nutrientes, agua o radiación. El manejo de insectos o de micro-organismos como enfermedades de cultivos, pastos, o animales con productos químicos, se hace con el fin de disminuir el flujo de biomasa canalizado a estos subsistemas y así tener más de estos productos para el agricultor.

La investigación con agroecosistemas, casi por definición, tiene que ser hecha en fincas de agricultores. Es imposible duplicar en un campo experimental los suelos, malezas, insectos y organismos del agrosistema encontrado en una finca. Los experimentos con agroecosistemas pueden incluir: evaluación de diferentes cantidades y calidades de entradas al sistema (como niveles de fertilizantes, variedades de cultivos, pastos, etc.), o evaluación de diferentes sistemas de cultivos, pastos o animales dentro del mismo agroecosistema. Obviamente, la evaluación de diferentes sistemas de cultivos o sistemas de animales también puede ser considerada como investigación en sistemas de cultivos o sistemas de animales.

Sistemas de cultivos y sistemas de animales

La Figura 3.6 describe un sistema de cultivos y un sistema de animales. Ambos sistemas están al mismo nivel jerárquico (subsistemas de agroecosistemas) y tienen mucho en común. Como cualquier otro sistema son arreglos de componentes, con entradas y salidas. Un sistema de cultivos es un arreglo espacial y cronológico de poblaciones de cultivos, con entradas de radiación solar, agua y nutrientes y salidas de biomasa con valor agronómico. Un sistema de animales es un arreglo espacial y cronológico de poblaciones de animales con entradas de alimentación animal y agua, y salida de carne o productos, como leche, huevos, etc.

La investigación en sistemas de cultivos o sistemas de animales puede ser hecha dentro del agroecosistema del agricultor o en otro agroecosistema, como el campo experimental. Si se adopta como metodología, describir el sistema del agricultor y evaluar diferentes modificaciones a este

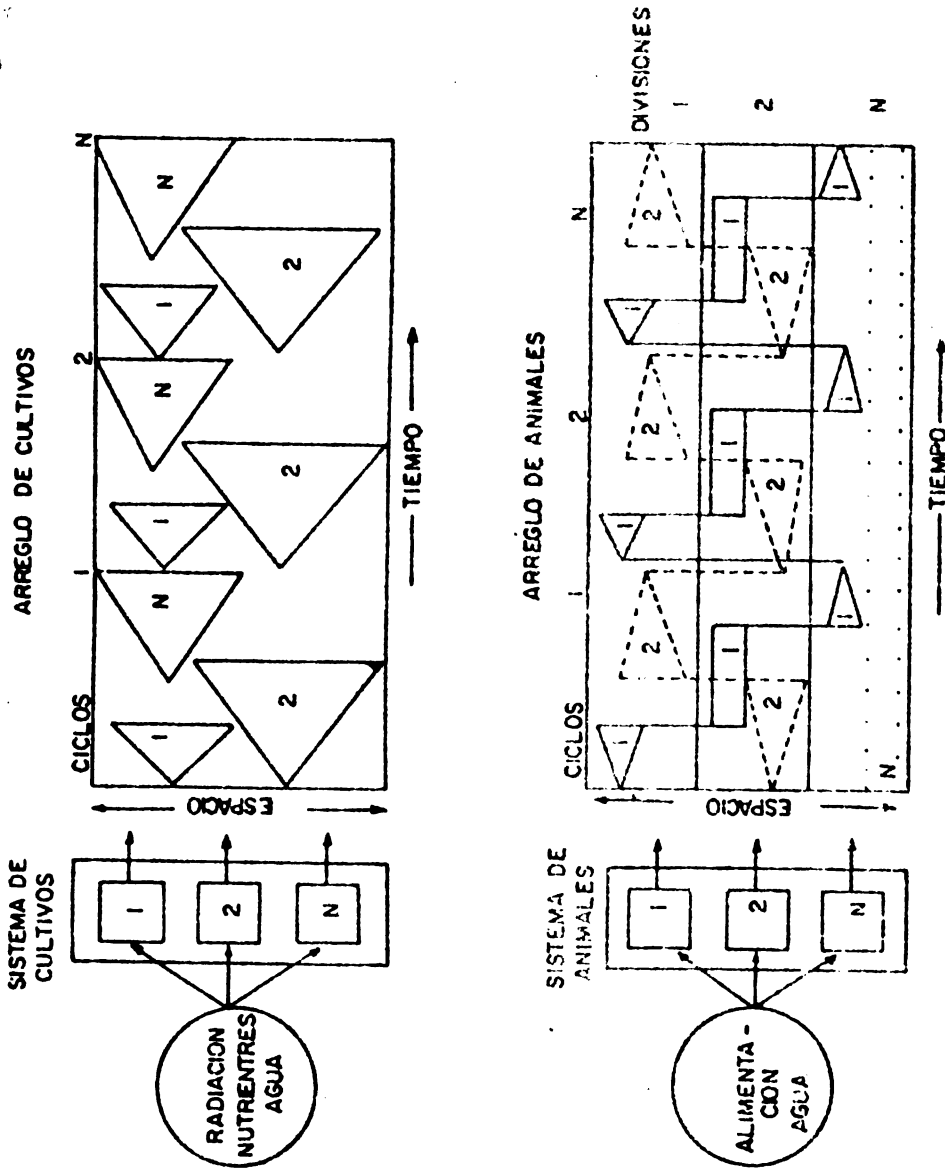


Figura 3.6 Sistemas de cultivos y sistemas de animales con características estructurales representadas como arreglos espaciales y cronológicos de las poblaciones de cultivos o animales y con características de función representadas como un proceso de tomar entradas y producir salidas.

sistema, hay siete tipos de cambios que se pueden considerar: (1) cambio en los componentes del sistema (incrementar o disminuir el número de poblaciones, o cambiar variedades de cultivos o razas de animales); (2) cambio en el arreglo espacial de los componentes (distancia de siembra de cultivos, división entre potreros, etc.); (3) cambio en el arreglo cronológico de los componentes (fecha de siembra de los cultivos, tiempo de rotación de animales); (4) combinación de cambios 1 y 2; (5) combinación de cambios 1 y 3; (6) combinación de cambios 2 y 3; y (7) combinación de cambios 1, 2 y 3. Importa destacar que ni los cambios en la entrada de nutrientes al sistema de cultivos (por ejemplo, niveles de fertilizantes), ni los cambios en niveles de alimentación de los animales están incluidos como una de las siete modificaciones posibles. Este tipo de experimento afecta suelos y pastos y por lo tanto es investigación a nivel de agroecosistema, no a nivel de sistema de cultivos o de animales.

Hace mucha falta investigación que defina la relación entre la estructura (número y tipo de componentes, arreglo espacial y cronológico) de un sistema de cultivos, y el desempeño del mismo en diferentes tipos de ambientes. Esta información serviría de base para diseñar nuevos sistemas de cultivos sin tener que empezar con el del agricultor. Una mayor información sobre la relación entre el desempeño de un sistema y el agroecosistema donde funciona como subsistema, serviría para facilitar la transferencia de recomendaciones sobre el manejo de un agroecosistema, a otro ambiente con un agroecosistema similar, pero no exactamente igual.

Otros subsistemas de agroecosistemas

En el marco conceptual de "sistemas agrícolas" se ha dado énfasis al sistema de cultivos y al sistema animal. Pero estos son solamente algunos de los subsistemas de un agroecosistema. Un agroecosistema también contiene (sub)sistemas de suelos, malezas, insectos y enfermedades. Para entender la relación entre la estructura y la función de un agroecosistema es necesario analizar todos los subsistemas.

El sistema de suelos de un agroecosistema incluye: componentes físicos como minerales y agua, y componentes bióticos como insectos, microorganismos y material orgánico. Estos componentes interactúan y funcio-

nan dentro de procesos físicos y bióticos como mineralización y fijación de nutrientes. El sistema de suelos tiene entradas y salidas de agua y nutrientes. El fin de enfocar el suelo como un sistema es entender estos procesos de entradas y salidas para saber cómo manejarlos, asegurando la disponibilidad de agua y nutrientes al sistema de cultivos o al sistema de pastos.

El sistema de malezas de un agroecosistema lo componen las poblaciones de malezas que viven en el agroecosistema. A veces se confunden estas plantas con la vegetación natural de un ecosistema. Aunque es cierto que en muchos casos las especies de malezas presentes en un agroecosistema también son componentes de ecosistemas naturales, el manejo del suelo, la siembra y manejo de cultivos y el manejo de insectos y enfermedades pueden interactuar para producir un ambiente muy diferente en relación al ecosistema que ocurriría en el lugar sin la presencia del agroecosistema. Las entradas y salidas al sistema de malezas son muy similares a las de un sistema de cultivos o pastos. El objetivo de enfocar las malezas como un sistema, es entender el desempeño de la población de malezas en relación a las entradas y salidas para saber cómo manejar el sistema eficientemente. El objetivo del manejo, obviamente, está relacionado con la cantidad de energía o gastos incurridos para mantener las malezas en un estado de poca competencia con el sistema de cultivos o pastos, tomando en cuenta el valor del producto (cultivo o pasto) perdido en diferentes niveles de competencia.

Los sistemas de insectos y enfermedades de un agroecosistema incluyen todas las poblaciones de herbívoros y carnívoros del sistema y los micro-organismos relacionados con estas poblaciones. Al enfocar este sistema no se distingue entre poblaciones beneficiosas, como micro-organismos que fijan nitrógeno para los cultivos, y poblaciones dañinas, que compiten con el hombre para las salidas del sistema de cultivo o con el sistema animal para las salidas del sistema de pastos. La finalidad de enfocar este conjunto de poblaciones como un sistema es determinar su biología y ciclos de vida, así como la interacción entre las diferentes poblaciones y cuantificar el nivel de competencia con el hombre o con animales con valor agronómico. Como en el caso del sistema de malezas, también es importante entender la relación entre el costo de manejo del sistema y el valor del producto perdido a razón de insectos y enfermedades.

RESUMEN

Los sistemas agrícolas abarcan desde procesos agrícolas a nivel mundial, hasta procesos fisiológicos. Este capítulo es solamente un breve resumen de los complejos aspectos incluidos en el tema. Hay disciplinas enteras que enfocan regiones, fincas, agroecosistemas, cultivos, animales, suelos, malezas, insectos y enfermedades.

Los puntos sobresalientes de este resumen de conceptos básicos asociados con sistemas agrícolas, se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la diferencia entre sistemas ecológicos no agrícolas y sistemas agrícolas?
2. Dar un ejemplo de interacción entre sistemas agrícolas de tipo horizontal; de tipo vertical
3. ¿Es cierto que todos los sistemas de una región son sistemas agrícolas?
4. ¿Qué sistema agrícola es análogo a un ecosistema?
5. ¿Cuáles son los subsistemas de una finca? ¿De un agroecosistema?
6. Dar una definición de un sistema de cultivos
7. Explicar el principio de "tres niveles mínimos"

LITERATURA CITADA

1. SPEDDING, C. R. W. 1975. The biology of agricultural systems. Academic Press. London. 261 p.

CAPITULO 4: UNA REGION COMO UN SISTEMA

Una región geográfica es un conjunto de componentes físicos, bióticos, y socio-económicos con límites definidos a base de criterios ecológicos. Estos componentes interactúan para formar un sistema. No todos los componentes y procesos a nivel de una región necesariamente están asociados con la agricultura, pero para poder describir los fenómenos agrícolas que funcionan a este nivel es necesario enfocar una región en su totalidad como un sistema.

Como se hace con cualquier otro sistema, el primer paso es definir los elementos de una región identificando los componentes, límites, entradas, salidas e interacción entre los componentes. Se pueden identificar los procesos dentro de la región que contribuyan a su función como sistema después de caracterizar la estructura (arreglo de componentes). Los límites deben ser fijados alrededor de una área homogénea.

El análisis de una región como un sistema en la realidad casi siempre tiene objetivos específicos como un diagnóstico de la potencialidad de la región o la elaboración de un plan de desarrollo. Estos objetivos afectarán el enfoque tomado y el nivel de énfasis que se pone en diferentes tipos de procesos regionales al hacer el análisis. Si para hacer cualquier estudio de un sistema es necesario describir tres niveles jerárquicos (el sistema de interés y un nivel más alto y un nivel más bajo), un estudio de una región como un sistema pudiera nacer de (1) las necesidades de un estudio a nivel de país o macro-región (donde la región en estudio es un subsistema de este sistema), (2) las necesidades de un estudio de un grupo de fincas de la región (la región es el ambiente donde funciona esta unidad), y (3) un estudio a nivel de región propia, por ejemplo un programa de desarrollo regional. Los pasos principales en un análisis de una región como un sistema son siempre los mismos, aunque estos tres tipos de estudios necesiten diferentes niveles de precisión.

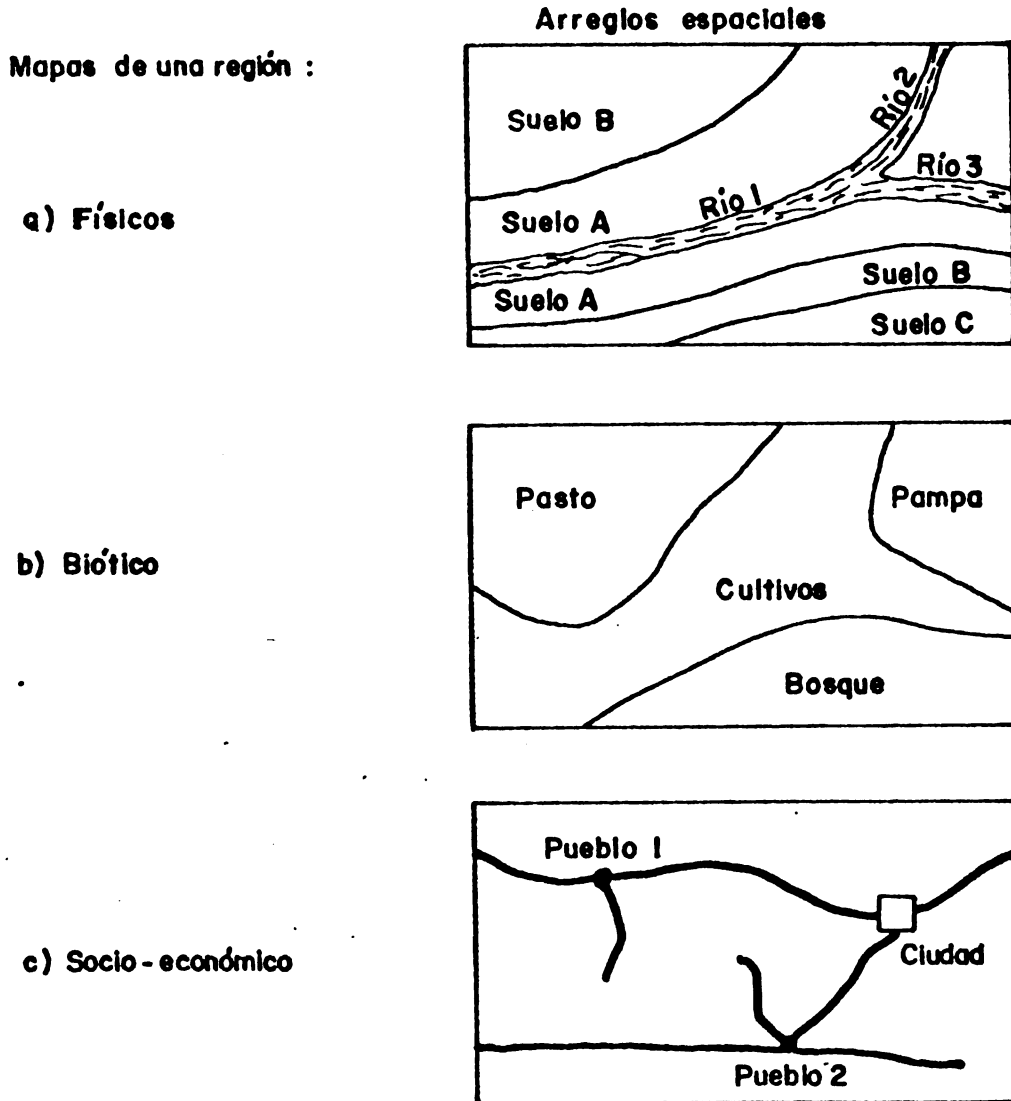


Figura 4.1 Los arreglos espaciales de los componentes físicos, bióticos, y socio-económicos de una región representados en tres mapas de la región.

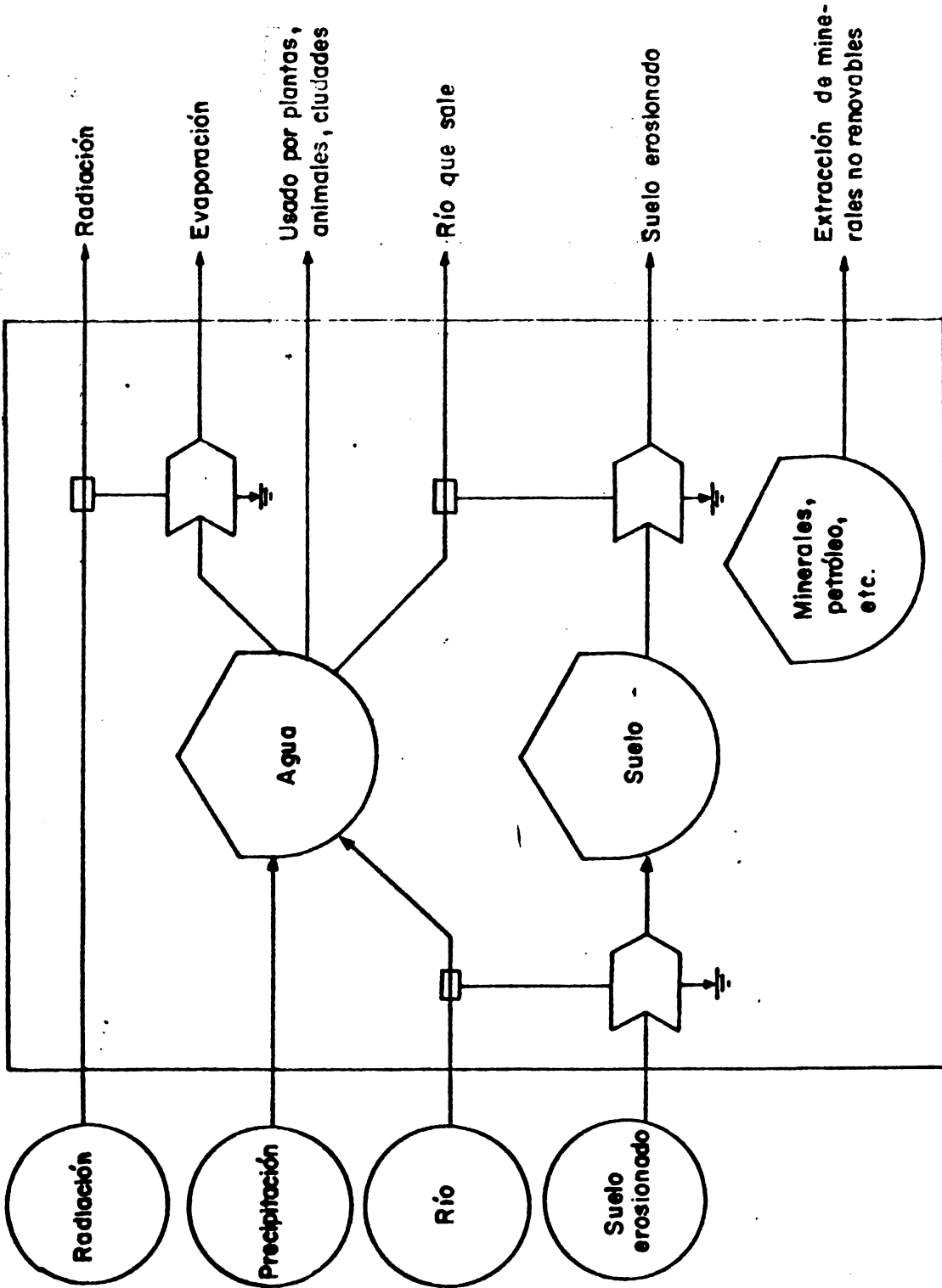


Figura 4.3 Los procesos físicos que pudieran ocurrir dentro de una región.

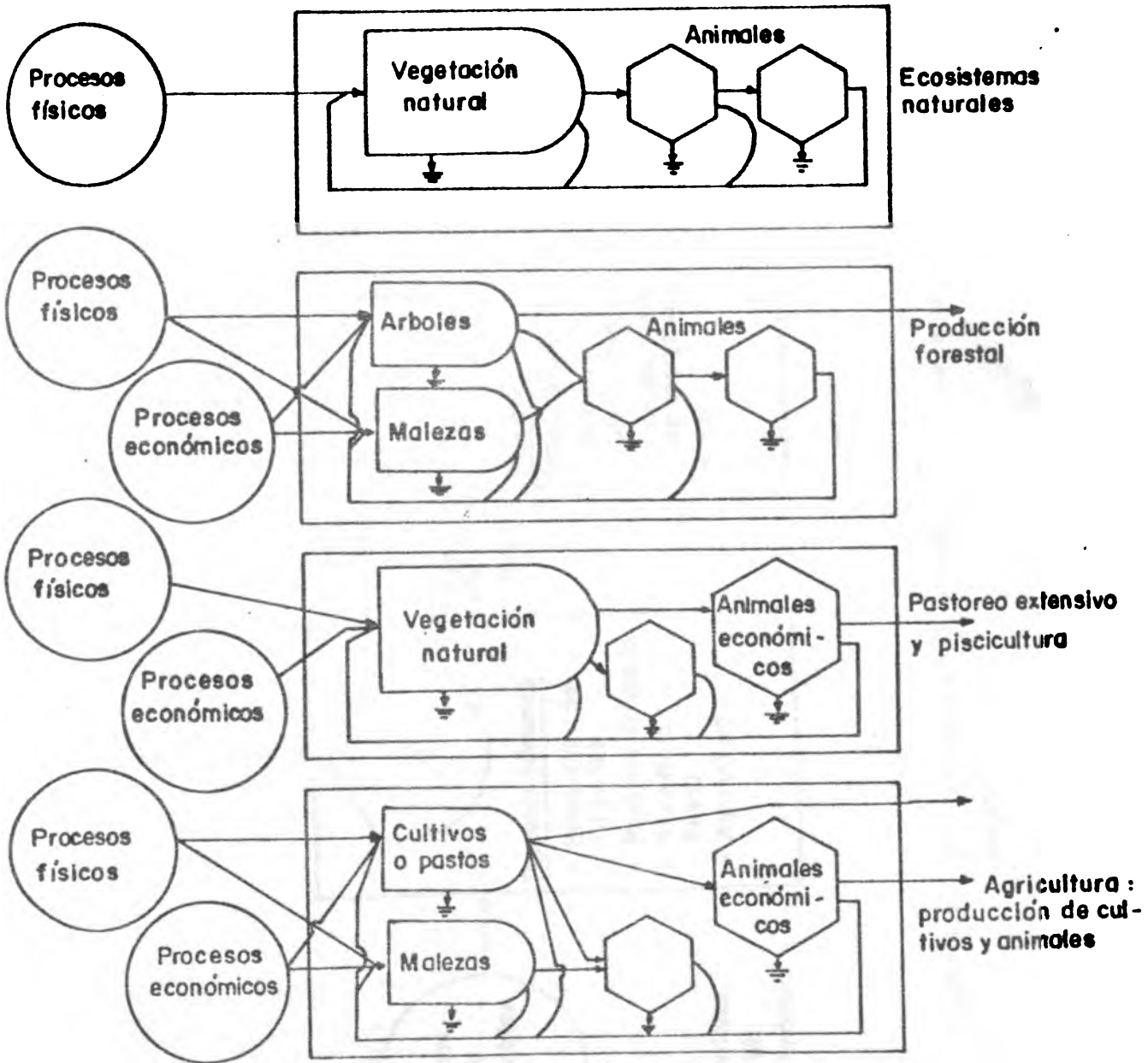


Figura 4.4 Los procesos bióticos que pudieran ocurrir dentro de una región.

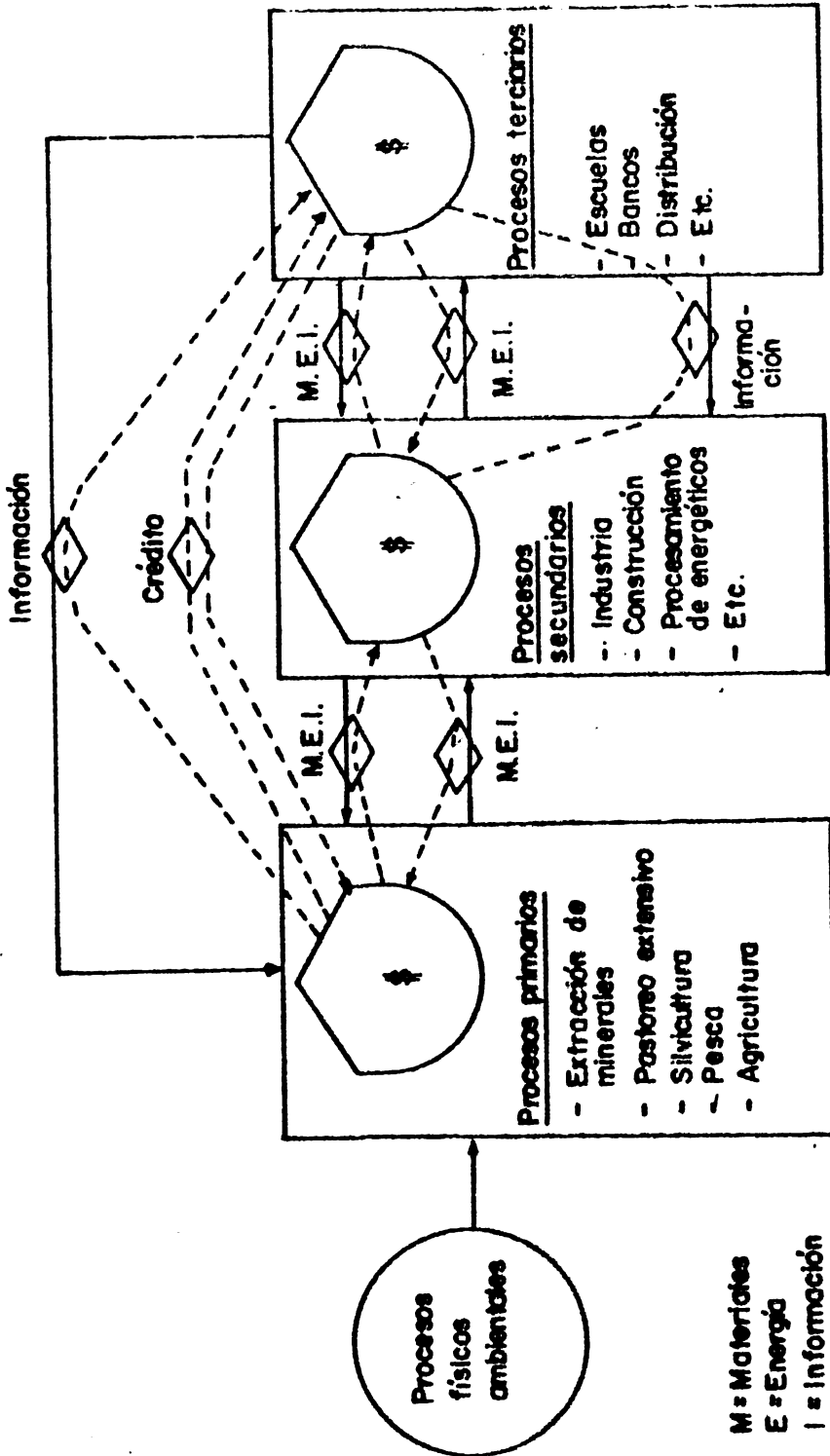


Figura 4.5 Los procesos socio-económicos que pudieran ocurrir dentro de una región.

de entradas a los diferentes procesos bióticos.

Procesos socio-económicos

Los procesos socio-económicos se dividen entre primarios, secundarios y terciarios. Los primarios incluyen unidades de producción que tienen materia prima como entradas. Los cinco procesos comúnmente reconocidos como primarios (según Thoman et al., 1968) son:

1. Extracción de minerales
2. Silvicultura
3. Pastoreo extensivo
4. Pesca
5. Agricultura

El primer proceso depende directamente de los componentes físicos de la región, los otros cuatro dependen de procesos bióticos. Estos procesos bióticos descritos arriba (Figura 4.4) dependen de procesos físicos y también están afectados por los procesos socio-económicos.

Los procesos económicos de una región incluyen flujos de dinero, materiales, energía e información. La Figura 4.5, que es un resumen de estos procesos, incluye el símbolo de un intercambiador económico (Figura 2,2) que indica un tipo de interacción entre flujos de dinero y flujos de otro tipo. Los materiales, la energía y la información van en una dirección y el dinero va en dirección contraria. La relación o transacción está controlada por un precio. También pueden estar relacionados dos flujos de dinero. Cuando alguien consigue crédito o financiamiento está en efecto comprando dinero ya que tiene que pagar un interés al crédito.

La Figura 4.5 es un resumen de los procesos económicos dentro de una región donde hay interacción entre procesos primarios, secundarios y terciarios. Los que controlan los procesos primarios (por ejemplo, los agricultores) usan las entradas de los procesos físicos y materiales y energía producidos por los procesos secundarios (por ejemplo, insumos agrícolas) y generan productos comprados por los dueños de procesos secundarios. Al vender sus productos reciben dinero que en el futuro re-

tornan a los que controlan los procesos secundarios, cuando compran materiales o energía. También dan dinero a los que controlan procesos terciarios cuando compran información o dinero (crédito).

Los procesos secundarios (industria, etc.) combinan productos generados por los productores primarios y agregan valor (valor agregado) a los productos como resultado. Por ejemplo, una escoba siempre vale más que la suma del valor de un pedazo de madera y una cantidad de sorgo de escoba; una chuleta siempre vale más por libra que un chanco vivo.

Los procesos terciarios de una región incluyen servicios como educación, salud, bancos, etc. Los que controlan estos servicios pagan para conseguir su alimentación, energía, etc. y reciben dinero cuando venden información o dinero.

La base de los conflictos entre filosofías económicas están muy relacionado con el control de estos procesos económicos. En general, los que trabajan en procesos primarios como agricultura no reciben sueldos tan altos como los trabajadores en procesos secundarios o terciarios. En el sistema económico capitalista, los que controlan el dinero controlan también los procesos económicos, porque dinero no es solamente un medio de cambio, sino que el dinero puede generar dinero (intereses) sin la necesidad de trabajar. Esto estimula la inversión y aumento en la producción de una región, pero esta ganancia solamente es posible cuando hay crecimiento en los procesos de producción o si los trabajadores reciben menos del valor que agregan al producto como resultado de su trabajo (Heilbroner, 1961). En regiones recientemente colonizadas con recursos abundantes, el capitalismo asegura un desarrollo rápido de la región.

El sistema económico socialista pretende quitar el control de los procesos económicos al capitalista y ponerlo bajo el control estatal. El socialismo trata de reducir la ganancia que el capitalista obtiene cuando no paga al trabajador el valor agregado como resultado de su trabajo. Además desea controlar los precios de los productos que resultan de los procesos primarios y así minimizar lo que se denomina "explotación" del trabajador o explotación del sector rural por el sector urbano a través de reglamentos estatales. En el sistema capitalista se supone que esta ganancia está controlada por la competencia entre empresas. El

sistema socialista tiene mucha demanda popular cuando no hay suficientes recursos para el crecimiento y un porcentaje de los que trabajan en una región no reciben remuneración suficiente por su trabajo.

Los sistemas políticos y sociales afectan no sólo a los procesos económicos de una región sino a otros procesos también. Tanto escuelas como hospitales u otros servicios pueden estar presentes o no en una región por razones de otra índole. Por ejemplo, la religión tiene mucha importancia en la organización humana. Los sistemas políticos como las oligarquías, las democracias, las dictaduras, etc. (que a veces se confunden con sistemas económicos), también son muy importantes en un estudio de una región como un sistema.

EL SECTOR AGROPECUARIO REGIONAL

De los componentes y procesos físicos, bióticos y socio-económicos dentro de una región, sólo algunos están directamente asociados con el sector agrícola, aunque todos tienen por lo menos interacción indirecta con la agricultura, o no estarían dentro del mismo sistema regional. El sector agropecuario de una región es un conjunto de sistema agrícolas. Estos sistemas son:

1. Sistema primario (las fincas)
2. Sistema secundario (unidades de procesamiento de productos agrícolas)
3. Sistema terciario (unidades de servicios de crédito, extensión, transporte, mercadeo, investigación y educación)

El sistema primario

Las fincas de una región son los componentes del sistema primario del sector agropecuario. Son las unidades de producción básicas que generan los productos que entran en los procesos económicos regionales. Las fincas de una región están distribuidas espacialmente dando características de estructura al sistema primario. El arreglo espacial de los diferentes tipos de finca afecta el funcionamiento del sistema y por lo tanto, la distribución de diferentes tipos de fincas ha sido un tema muy estudiado

en geografía agrícola.

Las teorías sobre la distribución de diferentes tipos de producción agrícola de von Thünen han contribuido mucho a la ciencia de la geografía agrícola (Thoman et al. 1968). Basado en sus experiencias en el norte de Alemania, von Thünen desarrolló un modelo que predice el arreglo espacial de los tipos de agricultura dentro de una región. Las teorías suponen que hay competencia entre los diferentes usos agrícolas para una misma parcela de tierra, y que el tipo de uso que dé mayor ingreso neto va a ganar la competencia. La fertilidad, la distancia al mercado y cualquier otro factor que afecte la rentabilidad determina el ingreso neto, y por lo tanto, la posibilidad de encontrar un tipo de uso en una parcela dada, depende de estos factores. Von Thünen puso especial énfasis en la distancia al mercado como factor determinante del arreglo de fincas.

Griffin (1973) evaluó las teorías de von Thünen usando al Uruguay como una región. En la Figura 4.6 se puede ver la distribución real de las fincas de tipo hortícola, productoras de leche, productoras de granos básicos y productoras de carne en Uruguay y comparar esta distribución con la distribución predicha por el modelo de von Thünen. Existe muy poca diferencia entre el modelo y la realidad.

Al empezar un estudio de la distribución de fincas en una región, el primer paso obviamente, es clasificar los diferentes tipos de fincas. Los criterios usados para clasificar dependen de los propósitos del estudio regional. Ejemplos de criterios son: tamaño, tenencia y tipo de producción (granos básicos, ganadería, etc.). Los tipos de producción pueden estar definidos en términos de porcentaje de la superficie usada para un tipo de producción, o en porcentaje del ingreso neto de la finca que viene de un tipo de producción. A veces, es posible emplear la relación entre la cantidad de alimentos producida en la finca y la consumida por el operador, como criterio de clasificación de fincas.

Para estudiar la función del sistema primario del sector agropecuario es necesario describir los flujos de materiales, energía, información y dinero que entra y sale de los diferentes tipos de fincas. Generalmente, esto se hace sacando una muestra de los diferentes tipos de

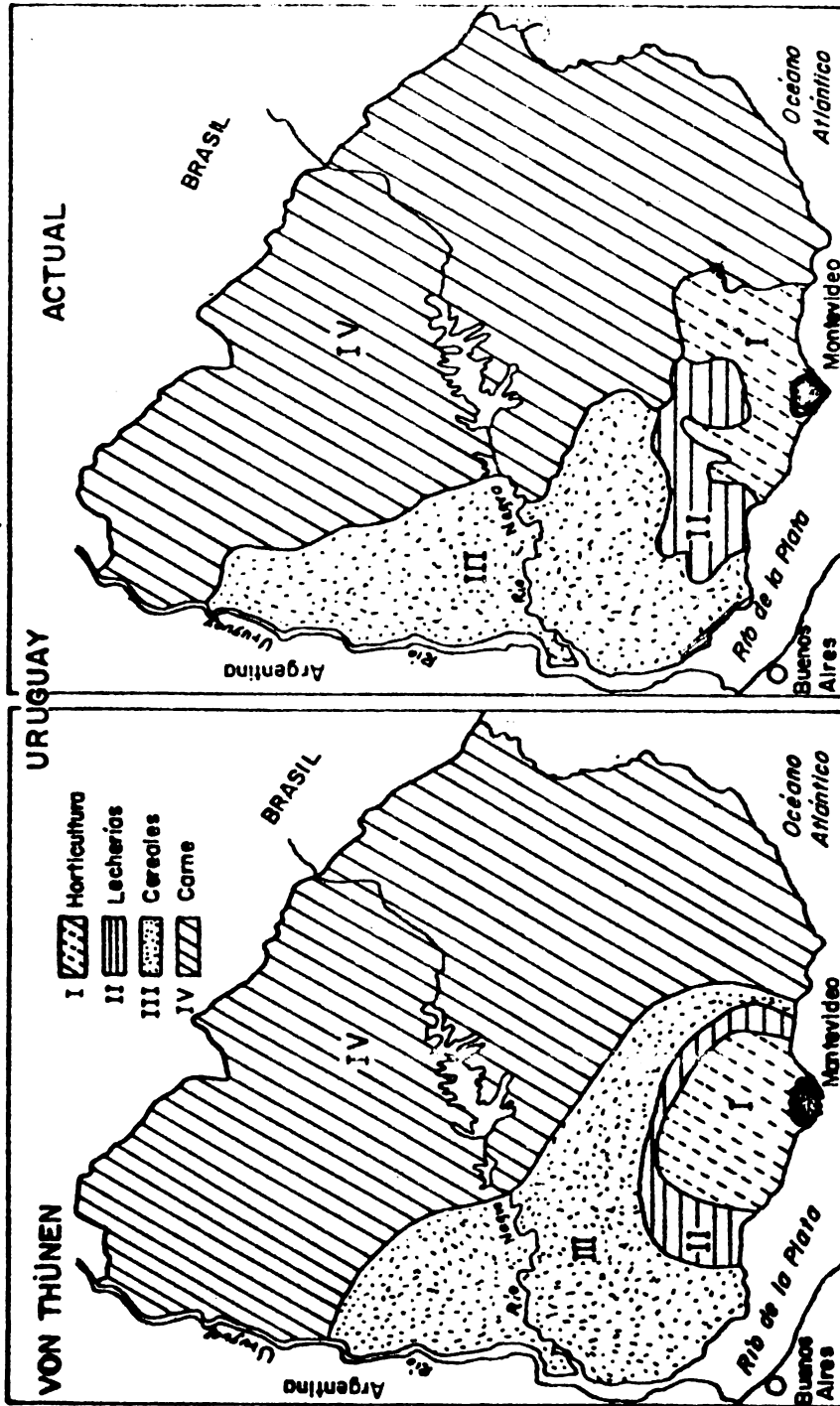


Figura 4.6 Una comparación del uso de la tierra en Uruguay predicho en el modelo de Von Thünen y el uso de tierra actual (Griffin, 1973).

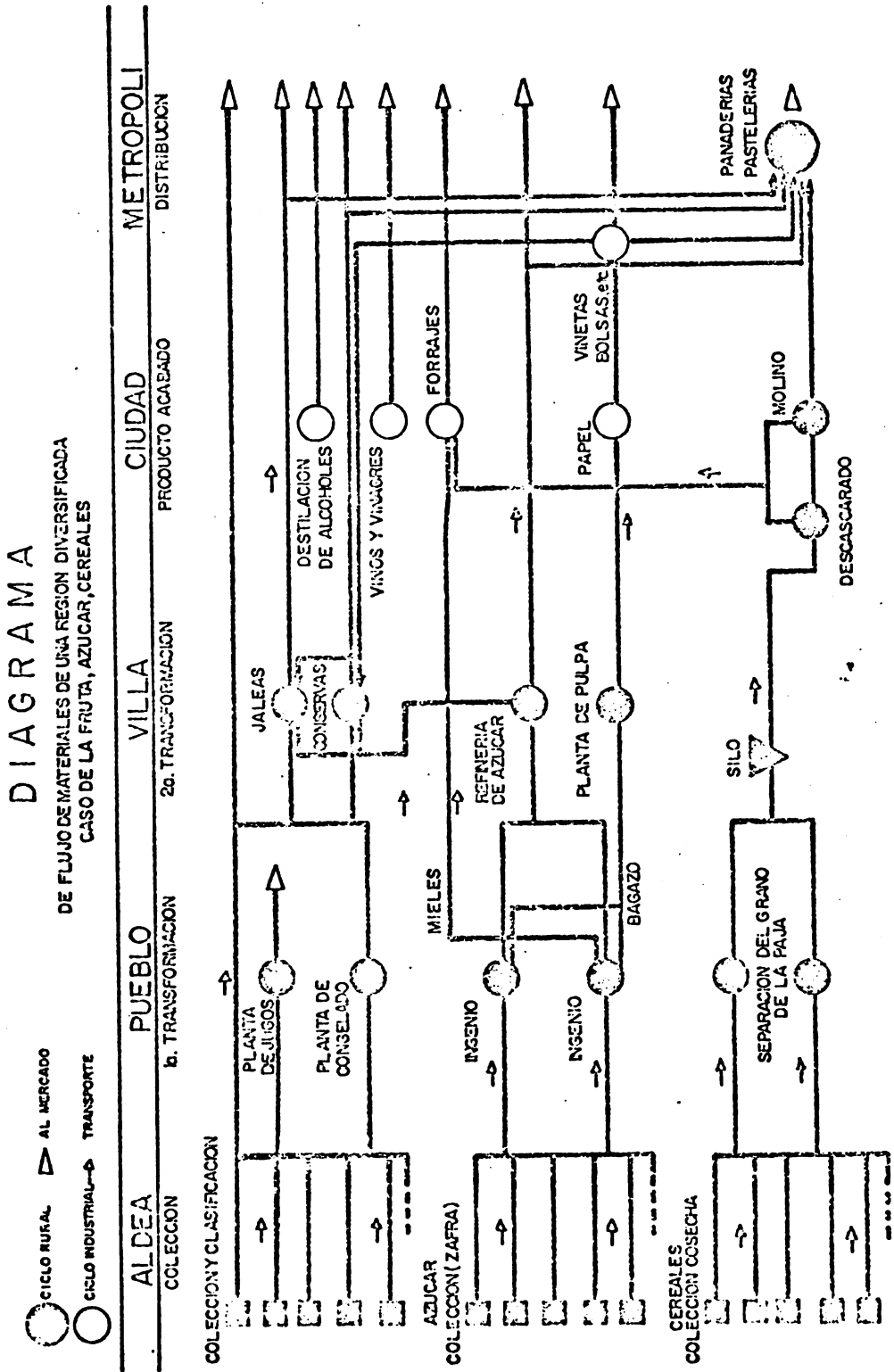


Figura 4.7 El flujo de frutas, azúcar, y cereales por los procesos socio-económicos secundarios de una región (Pons, 1970).

finca dentro de la región y estudiando esta muestra con mayor detalle.

Sistema secundario

El sistema secundario incluye las unidades de procesamiento de productos agrícolas. La Figura 4.7 es un diagrama de flujos de materiales de una región con producción de fruta, azúcar y cereales, hecho por Pons (1970) en un estudio de la ecología humana en Centroamérica. El diagrama incluye la colección de productos a nivel de aldea; la transformación (valor agregado) de las frutas, azúcar y cereales a jugos, jaleas, mieles y molienda de granos en los pueblos y villas; y la distribución en la ciudad de estos productos procesados.

En el desarrollo agrícola de una región se da mucha consideración a la localización de estos sistemas secundarios con el fin de maximizar la eficiencia del sistema, y al mismo tiempo, proveer empleo a un mayor número de personas dentro de la región. El objetivo de distribuir adecuadamente la ganancia recibida del valor agregado a los productos, a veces está en conflicto con los intereses económicos de las ciudades.

Sistema terciario

El sistema terciario del sector agropecuario de una región incluye sistemas de crédito, extensión, transporte, mercadeo, investigación y educación agrícola. Estos sistemas afectan directamente los flujos que entran y salen de los sistemas primarios y secundarios del sector.

Los sistemas de crédito afectan la disponibilidad de dinero a las fincas y a las unidades de procesamiento, distribución y mercadeo; en fin a casi todos los sistemas agrícolas de la región. Los sistemas de extensión proveen información a los agricultores y al tener influencia sobre la producción primaria, también pueden afectar a todo el sector. Los sistemas de transporte no sólo llevan productos agrícolas al mercado, sino que también llevan insumos al agricultor. Por lo tanto, el transporte y el mercadeo están muy ligados y juntos afectan la distribución de productos agrícolas. La investigación provee información a los agricultores por medio del servicio de extensión. Las personas que trabajan en todos estos servicios dependen del servicio de educación agrícola para proveer técnicos entrenados.

APLICACION DE MODELOS REGIONALES

El análisis de un sistema termina cuando se ha producido un modelo válido. Al analizar una región como un sistema y producir un modelo, ya sea en forma escrita, de diagrama o de modelos cuantitativos, el análisis en sí ha terminado. Pero generalmente, antes de empezar el análisis, los que financian el estudio esperan usar el modelo como una herramienta práctica. En el caso de un modelo regional, los usos pudieran ser por ejemplo, desarrollo regional o localización de una empresa. Cómo usar el modelo para alcanzar un objetivo es un tema aparte que requiere más que los conceptos básicos descritos en este capítulo.

RESUMEN

Una región es un conjunto de componentes físicos, bióticos y socio-económicos que funcionan como una unidad dentro de unos límites geográficos. Como cualquier otro sistema, la región tiene características estructurales relacionadas con el arreglo espacial de los componentes y características funcionales relacionadas con procesos físicos, bióticos y socio-económicos. Los componentes y procesos agropecuarios de la región forman el sector agropecuario regional. Este sector tiene fincas, unidades de procesamiento de productos agrícolas, y servicios agropecuarios como crédito, extensión, etc.

Los puntos sobresalientes de esta breve descripción de una región como un sistema, se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los componentes físicos de una región?
2. Los mapas, generalmente dan más información sobre ¿estructura o sobre función de una región?
3. ¿Cuáles son las entradas principales al sistema hídrico de una región?
4. De los procesos bióticos dentro de una región ¿cuál tiene menor influencia del hombre?
5. ¿Cuáles son los tres tipos de procesos socio-económicos?
6. Silvicultura y pesca son ejemplos de ¿procesos primarios o de procesos secundarios?

7. Dé un ejemplo de un proceso socio-económico terciario
8. ¿Cuáles son los tres sistemas agrícolas dentro del sector agrícola?
9. ¿Con qué conceptos tiene que ver las teorías de von Thünen?
10. ¿Cuáles son algunos criterios usados para clasificar a tipos de fincas?

LITERATURA CITADA

1. GRIFFIN, E. 1973. Testing the von Thünen theory in Uruguay. *The Geographical Review*. 63(4):500-516.
2. HEILBRONER, R. L. 1961. *The worldly philosophers*. Time Incorporated New York. 368 p.
3. PONS, G. 1970. *Ecología humana en Centroamérica*. ODECA, San Salvador. 247 p.
4. THOMAN, R. S., CONKLING, E. C. and YEATS, M. H. 1968. *The geography of economic activity*. McGraw Hill, New York. 561 p.

CAPITULO 5: UNA FINCA COMO UN SISTEMA

Una finca es un sistema agrícola. Es un conjunto de componentes que funciona como una unidad de producción dentro del sector agrícola de una región. Como cualquier sistema, un sistema de finca tiene características de estructura y función.

La finca como unidad está generalmente asociada con la parcela de tierra manejada por una familia, pero existen casos de grupos familiares que viven y trabajan en una sola parcela; casos de una familia con más de una parcela que no colindan, o casos de fincas agro-industriales. La definición de los límites de una finca como sistema no es tan sencilla; como en cualquier sistema la definición de límites es a veces arbitraria. En general, se puede definir una finca como una unidad con una superficie medible, controlada por un individuo o un grupo de individuos, que tiene un propósito agrícola.

Dentro de la finca se puede incluir toda la superficie controlada y trabajada por el individuo o grupos de individuos. Si un agricultor tiene dos parcelas relativamente cerca una de la otra y toma decisiones en conjunto acerca de la cantidad de energía o dinero que deba invertir en las dos parcelas, es lógico incluirlas dentro de una sola finca. Pero si el agricultor alquila una parcela y no invierte nada en ella, en este caso sería más adecuado no incluir la parcela alquilada dentro de la unidad definida como una finca. La parcela alquilada sería una fuente de ingreso fuera de la finca.

Una finca puede considerarse como un subsistema de una región. Los procesos físicos, bióticos y socio-económicos de la región forman el ambiente para un sistema de finca. Las otras fincas de la región son parte de estos procesos y por lo tanto también son parte del ambiente de una finca. Una finca siempre interactúa con los procesos físicos y bióticos de una región, pero hay casos de fincas con muy poca interacción con los procesos económicos de una región (tipo subsistencia).

ESTRUCTURA

La estructura de un sistema de finca está relacionada con el número y tipo de componentes y la interacción entre estos componentes. Los componentes de una finca son de tipo físico (p.e. suelo, agua, etc.), biótico (p.e. poblaciones de plantas y animales), y socio-económico (p.e. la casa, implementos, insumos químicos, etc.). Estos componentes interactúan y forman conjuntos con características que también tienen estructura y función y que pueden ser definidos como subsistemas del sistema de finca. En el presente caso, los subsistemas de una finca se postulan como un sistema socio-económico que está relacionado con la casa, los procesos sociales (cultura, etc.) y los económicos (compra y venta); y los agroecosistemas de la finca que son las unidades físicas de producción.

Subsistema socio-económico

El subsistema socio-económico de una finca es la unidad que controla los procesos agrícolas dentro de la finca. El subsistema socio-económico es la cabeza del organismo si una finca es conceptualizada como un organismo.

Los componentes de este subsistema también son de tipo físico, biótico y socio-económico. Los componentes humanos son indudablemente los más importantes de esta unidad, pero la casa, otros edificios (bodegas, taller, etc.), los implementos, maquinaria, etc. también se tienen que considerar como componentes del subsistema socio-económico.

Agroecosistemas como subsistemas

Los agroecosistemas de la finca son las parcelas de tierra en donde se realizan las actividades para producir los cultivos y/o los animales. Los componentes de esta unidad son las poblaciones de plantas (incluyendo malezas, cultivos, pastos, etc.), población de animales (incluyendo animales con valor agrícola, insectos, micro-organismos, etc.) y el ambiente físico que interactúa con la comunidad biótica de plantas y animales. Estos componentes bióticos y físicos forman una unidad análoga a la unidad del ecosistema estudiado en ecología. Aunque es muy similar

a un ecosistema natural, todavía tiene diferencias muy importantes y por ésto se denomina un agroecosistema (un ecosistema agrícola). Las características de esta unidad son el tema de los capítulos 6 al 11.

Los componentes de un agroecosistema interactúan no solamente en el espacio (competencia por nutrientes, etc.), sino también en el tiempo; una población afecta el ambiente y aunque ha sido eliminado (por ejemplo el hombre que cosecha un cultivo) todavía afecta el desempeño de las poblaciones que continúan en el tiempo.

Al visitar una finca no es fácil identificar los agroecosistemas sin saber la distribución cronológica de las poblaciones de cultivos y animales que interactúan dentro de ella. Si se considera que los componentes que interactúan en el espacio (p.e., cultivos intercalados) y el tiempo (p.e., rotaciones) están dentro del mismo agroecosistema, con esta pauta se pueden identificar los componentes y los límites de un agroecosistema.

Para definir los límites espaciales y cronológicos de un agroecosistema y así identificar los agroecosistemas de una finca, generalmente se usa el sistema de cultivos o sistema de animales como guía. La Figura 5.1 describe una situación hipotética en donde se supone que una finca tiene una hectárea sembrada con diferentes arreglos espaciales y cronológicos de maíz, frijol, arroz y camote. En la fecha N° 1 la finca está dividida en dos parcelas; una sembrada con maíz y frijol intercalado (ejemplo de una interacción espacial) y la otra con arroz en monocultivo. Después de cosechar estos cultivos, el agricultor siembra maíz, camote y frijol, también en monocultivo, pero distribuyendo los cultivos en parcelas dentro de la superficie donde antes estaba sembrado el maíz + frijol y el arroz. Por lo tanto, existe interacción cronológica entre estos cultivos. En el caso descrito (Figura 5.1), el agricultor repite la secuencia de maíz + frijol y arroz seguido por maíz, camote y frijol. La distribución espacial de esta combinación, es decir, las poblaciones de cultivos que interactúan con el mismo tipo de suelo, se pueden identificar como 4 sistemas de cultivos diferentes, y por lo tanto 4 agroecosistemas diferentes de la finca que están resumidos al lado derecho de la Figura 5.1.

Los sistemas de cultivos no son la única guía para definir agroecosistemas. Los otros subsistemas (p.e. suelos, insectos, etc.) pueden

Cambio en el uso de la tierra →

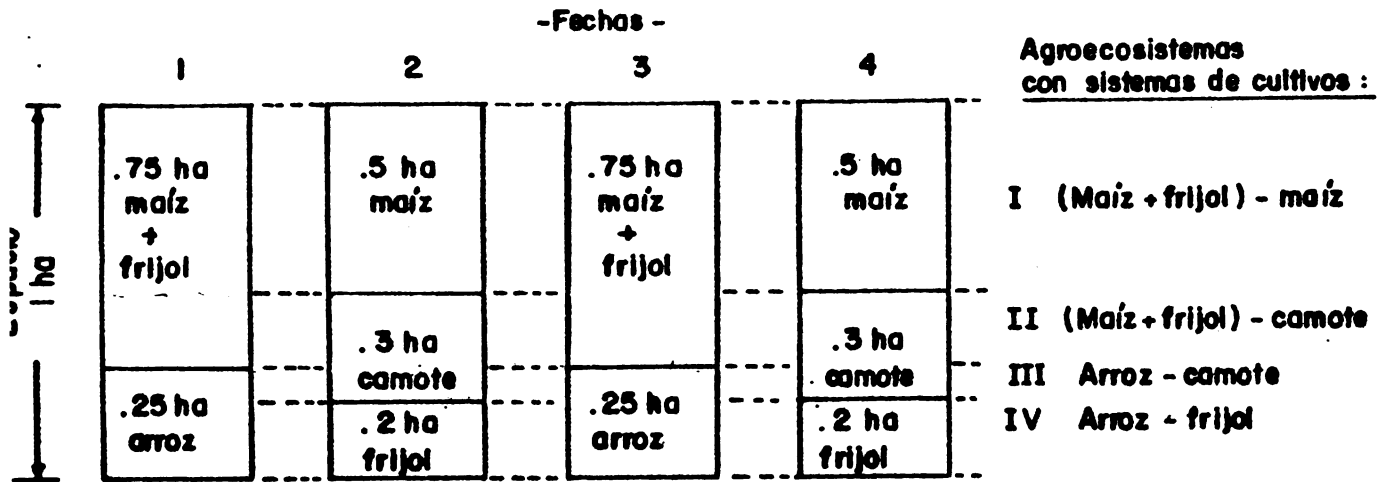


Figura 5.1 La identificación de los agroecosistemas de una finca hipotética puede basarse en el arreglo cronológico y espacial de los cultivos dentro de la finca usando la repetición de un ciclo como un límite cronológico.

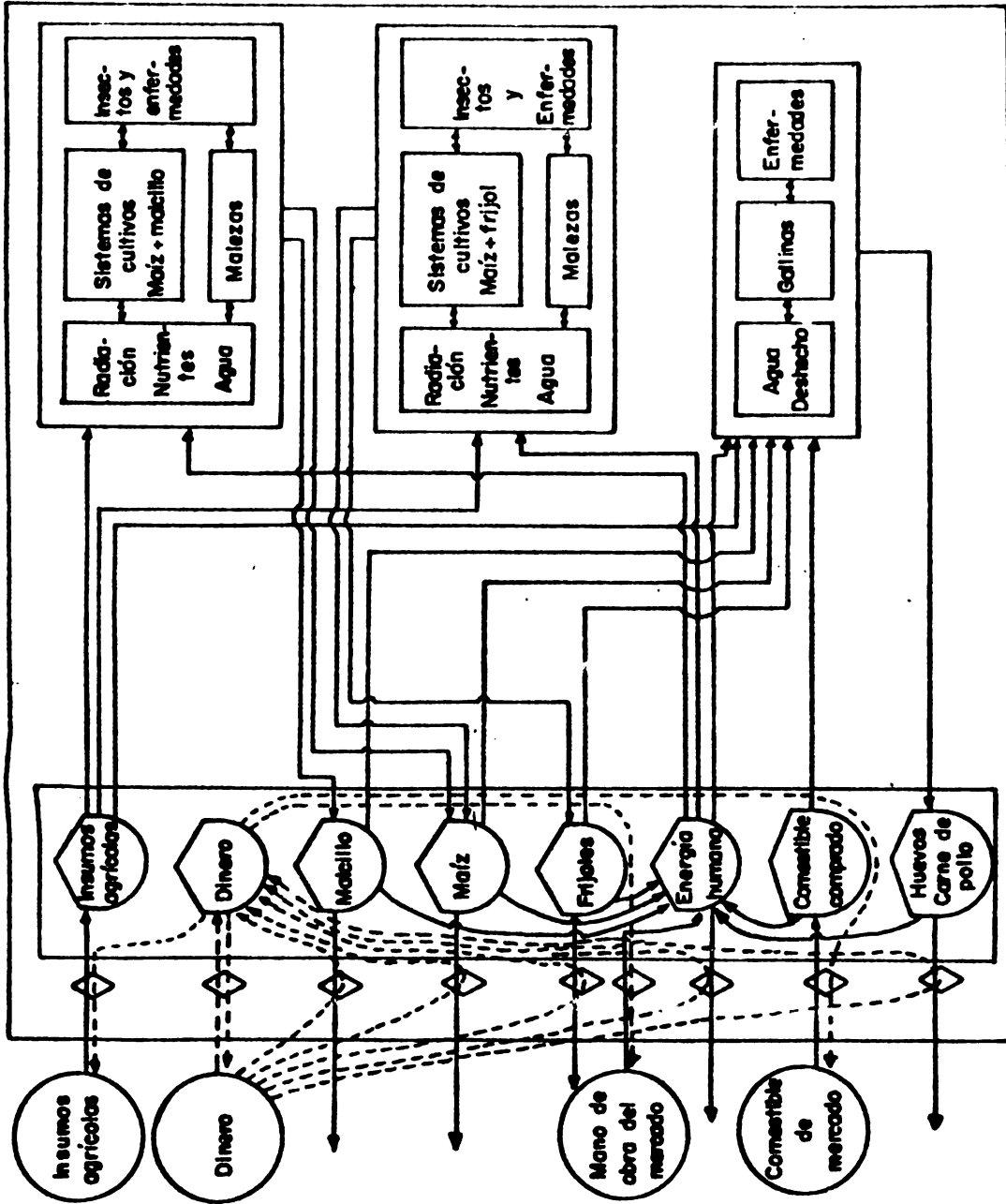


Figura 5.2 Una finca en El Salvador representada como un sistema con un subsistema socio-económico, tres agroecosistemas, y con flujos de materiales (insumos, maíz, maicillo, etc.), energía (mano de obra) y dinero (saliendo al hacer compras y entrando al hacer ventas).

variar y el sistema de cultivos mantenerse sin cambios. En el caso hipotético descrito en la Figura 5.1, un agroecosistema idéntico tenía un sistema de cultivos de maíz + frijol en rotación con maíz sólo. Si esta parcela de 5 ha cubre dos suelos muy diferentes, o si la parcela incluye una parte húmeda y otra no muy húmeda (pudiera ser por razón de topografía o por textura de suelo), el agricultor probablemente manejaría el sistema de cultivos en formas diferentes, en suelos diferentes. El manejo del agricultor puede ser una pauta muy importante para establecer los límites de un agroecosistema.

El subsistema socio-económico y los agroecosistemas de la finca interactúan para dar la estructura a un sistema de finca. El número, tipo de componentes y el arreglo de estos componentes contribuyen a dar una estructura característica a cada tipo de finca.

FUNCION

Como cualquier sistema, la estructura de una finca afecta la función del sistema. Los procesos que ocurren dentro de la finca generan flujos de materiales, de energía, de dinero y de información, que entran y salen de la finca. Obviamente, hay casos en donde la finca es puramente de subsistencia sin ningún intercambio (compra y venta) de materiales y energía, generalmente, todos estos tipos de flujos entran y salen de una finca.

También hay flujos de materiales, energía e información entre el subsistema socio-económico y los agroecosistemas de la finca. El dinero no entra ni sale de un agroecosistema, aunque sí puede estar relacionado con flujos de materiales o energía que salen de un agroecosistema y después salen de la finca. Por ejemplo, el maíz que sale de un agroecosistema con un sistema de cultivos que incluye maíz puede ser vendido por el agricultor (salida de materiales y entrada de dinero de la finca). La información entra al agroecosistema en forma de un plan de manejo que entra al agroecosistema cuando el agricultor entra físicamente al mismo.

La Figura 5.2 es un resumen gráfico de una finca hipotética. El gráfico incluye los tipos de flujos que entran y salen de la finca y que entran y salen de los subsistemas de la finca. En este caso hipotético,

la finca tiene tres agroecosistemas (dos que incluyen cultivos y uno animales). Los insumos, dinero, mano de obra y comestibles, entran al subsistema socio-económico. De allí salen de tal manera que la finca vende maicillo (sorgo), maíz, frijoles, energía humana, huevos y pollos. Este es un ejemplo de un tipo de sistema de finca. Puede haber fincas con un sólo agroecosistemas y otras con 10 ó más. Es interesante observar que el tamaño de la finca y el número de agroecosistemas dentro de ella, parecen estar negativamente correlacionados, es decir, que mientras más grande sea la finca son menos los agroecosistemas. Mientras que si la finca es pequeña tendrá más agroecosistemas.

CLASIFICACION DE FINCAS

Las razones para clasificar sistemas de fincas son muchas. Es necesario identificar los tipos de finca representativos y prioritarios en proyectos de desarrollo e investigación agrícola para hacer la transferencia de tecnología a los agricultores de una región.

Existen diferentes tipos de clasificación de fincas. Algunos dan más énfasis a los cultivos, otros a los ingresos económicos y aún otros al tamaño y a la tenencia, etc. Es imposible describir un sistema de clasificación que siempre tendrá utilidad. Todo depende del uso que se espera dar al sistema de clasificación. Para clasificar tipos de fincas se pueden usar criterios basados en estructura, función o combinaciones de estructura y función.

Estructura

Los tipos de estructura de sistemas de fincas que sirven como criterios para clasificar fincas son:

1. El tamaño de la finca es un criterio comúnmente usado para clasificar fincas. Dentro de una región pequeña puede ser un buen criterio, pero en una región grande como un país, a veces tiene poca utilidad, pues una finca de 20 ha en un ambiente puede ser muy diferente a una finca de 20 ha en otra región dentro del país.
2. El número, tipo, riqueza e interacción de los agroecosistemas de una finca pueden servir de criterios útiles para distinguir entre tipos

de fincas. El tipo de agroecosistemas incluye si son de tipo animal o cultivos y si son de tipo con multi-especies de cultivos o sólo una especie cultivada.

3. La riqueza de agroecosistemas se refiere al número de diferentes tipos de agroecosistemas dentro de la finca. Una discusión de riqueza como índice de estructura en sistemas ecológicos se puede ver en el Capítulo 2.

4. La interacción entre agroecosistemas puede ser directa o indirecta. Como dos agroecosistemas dentro de una finca son componentes del mismo sistema siempre van a tener algún tipo de interacción. La interacción directa ocurre cuando una salida de un agroecosistema es una entrada a otro (por ejemplo, el maíz producido en un agroecosistema alimenta a las gallinas en otro). La interacción indirecta ocurre cuando la interacción entre dos agroecosistemas es un resultado de competencia para materiales (insumos, etc.) y energía (mano de obra, maquinaria, etc.) que salen del subsistema socio-económico de la finca.

Función

Las características asociadas con la función de una finca también pueden servir como criterios de clasificación. Algunos ejemplos son:

1. Niveles de ingreso bruto o ingreso neto
2. Niveles de mano de obra usada en la finca
3. Porcentaje de mano de obra usado en la finca aportado por la familia
4. Porcentaje de los alimentos consumidos en la finca aportado por los agroecosistemas de la finca
5. Porcentaje del ingreso de la finca aportado por venta de productos agrícolas en comparación con ingresos de otras fuentes
6. Eficiencia de uso de capital, tierra o mano de obra

Estas características de función son solamente ejemplos de índices que se pudieran usar. Otros, por ejemplo, como el usar o no usar maquinaria, pudiera ser un criterio útil en casos específicos.

Estructura y función

Para clasificar fincas también es posible combinar criterios de estructura y criterios de función. Por ejemplo, el tamaño de la finca y el porcentaje de la superficie usada para cultivos (criterios de estructura) pudieran estar combinados con el porcentaje de la alimentación de la familia aportado por la finca y el porcentaje del ingreso del agricultor aportado por la venta de los productos de la finca. Por ejemplo, tomando dos niveles de estos criterios:

- a. menos de 20 ha; más de 20 ha
- b. Menos del 50% de superficie con cultivos; más del 50%
- c. Menos del 50% de alimentación de la familia generado en la finca; más del 50%
- d. Menos del 50% del ingreso de la familia generado en la finca; más del 50%

Combinando a, b, c y d se obtendría un sistema de clasificación con 16 tipos de fincas. Esto es solamente un ejemplo; para cada región y tipo de estudio pudiera ser necesario elaborar un sistema de clasificación diferente.

ANÁLISIS DE UNA FINCA

Para analizar una finca como un sistema se siguen los mismos pasos de definición, elaboración de un modelo cualitativo, elaboración de un modelo cuantitativo, validación del modelo cualitativo y modificación y revalidación de éste, que se siguen en un análisis de cualquier sistema.

Los resultados de un estudio hecho en una finca de la región de Yojoa en el norte de Honduras, América Central (Hart, 1979) pueden servir como ilustración de este proceso.

Paso 1: Definición de una finca

La finca del Sr. Alvarado en Yojoa, Honduras, tiene una superficie de aproximadamente 6 ha. Está dividida en dos pedazos de terreno separado; uno que incluye la casa, un agroecosistema con árboles, y un agro

ecosistema con gallinas; y el otro con tres agroecosistemas (dos con cultivos, y otro con pastos y bueyes). Los cultivos incluidos en los agroecosistemas eran: maíz, frijol y arroz. Usando como criterio de definición solamente los sistemas de cultivos (no había diferencias obvias en suelos, topografía, etc. dentro de las parcelas que se usaban para cada sistema de cultivos), se definieron dos agroecosistemas con cultivos; uno con un sistema de cultivos de maíz-maíz (rotación de dos cultivos de maíz en el año), y otro con un sistema de cultivos de arroz-frijol (también en rotación). Cerca de estos dos agroecosistemas había otro con pastos y bueyes.

Paso 2: Elaboración de un modelo cualitativo

Usando la información obtenida durante el proceso de definición, el próximo paso es elaborar un diagrama (un modelo) que ordene esta información. En el caso de la finca en Yojoa, Honduras, se elaboró un diagrama muy similar a la Figura 5.2 pero, incluyendo agroecosistemas con sistemas de cultivos de maíz-maíz y arroz-frijol, y sistemas de animales con gallinas y bueyes en lugar de los agroecosistemas de maíz + maicillo y maíz + frijol incluidos en la finca, y que se describen en la Figura 5.2.

Paso 3: Elaboración de un modelo cuantitativo

En algunos casos un modelo como el diagrama presentado en la Figura 5.2 tiene suficiente precisión para empezar el proceso de validación, pero en la mayoría de los casos es necesario obtener información para cuantificar los flujos más importantes que entran y salen de la finca y de los componentes (subsistemas socio-económicos y los agroecosistemas).

En un sentido, la cuantificación del modelo es también un primer paso de validación porque, al buscar información más cuantitativa, se usa el modelo cualitativo como marco conceptual, y la utilidad del modelo se evalúa inmediatamente cuando se hace el primer intento de ordenar esta información. Si en un modelo cualitativo preliminar se incluyen flujos que representan la venta de los cultivos producidos en la finca y la compra de alimentos para los animales, y si al hacer un estudio de la finca se encuentra que el agricultor usa todos sus cultivos para autoconsumo y alimentación animal y no compra alimentación animal, el modelo preliminar no

es válido y tiene que ser modificado.

La Figura 5.3 es un modelo cuantitativo de una finca en Yojoa, Honduras. Los números colocados en los flujos representan Kgs y dólares norteamericanos (\$) por año (si no se indica otra unidad). Los resultados se obtuvieron por medio de una encuesta semanal por un período de un año.

Paso 4: Validación y modificación

La validación es un proceso de comparación de un modelo con la realidad (sistema real) para determinar la validez del modelo. Un modelo es un conjunto de hipótesis y por lo tanto, la validación es básicamente un proceso de comprobación de hipótesis. Un modelo preliminar cualitativo es un conjunto de hipótesis relacionadas con la estructura del sistema de finca (cuántos agroecosistemas tiene, cómo interactúan, etc.). Esto se puede describir o ilustrar en un diagrama de circuitos que incluya hipótesis de cuáles son los componentes, por medio de símbolos para cada componente hipotetizado. Al dibujar flujos entre estos símbolos se hace una hipótesis sobre cuáles flujos entran y salen de la finca e interactúan entre componentes de la finca.

Si se considera el diagrama de la finca en la Figura 5.3 como un modelo de una finca típica en Yojoa, Honduras, para validar este conjunto de hipótesis estructurales, sería necesario hacer un estudio de una muestra de las fincas de la región y averiguar si la mayoría de las fincas de ese lugar son similares al modelo. Si son lo suficientemente similares al modelo, el estudio es válido; si no, se modificaría el modelo usando información nueva. Pero el modelo nuevo todavía no ha sido validado y para validarlo, es necesario hacer otro estudio con otra muestra de fincas. Un principio importante de la validación es: no puede usarse la información para elaborar el modelo y para validarlo.

Simulación

Los modelos usados como ejemplos en el resumen del proceso de validación son modelos que incluyen hipótesis estructurales; y no describen procesos relacionados con la función de la finca. El primer paso para llegar a entender el funcionamiento de la finca es empezar a cuantificar los flujos entre componentes del sistema de finca. La finca tiene entradas

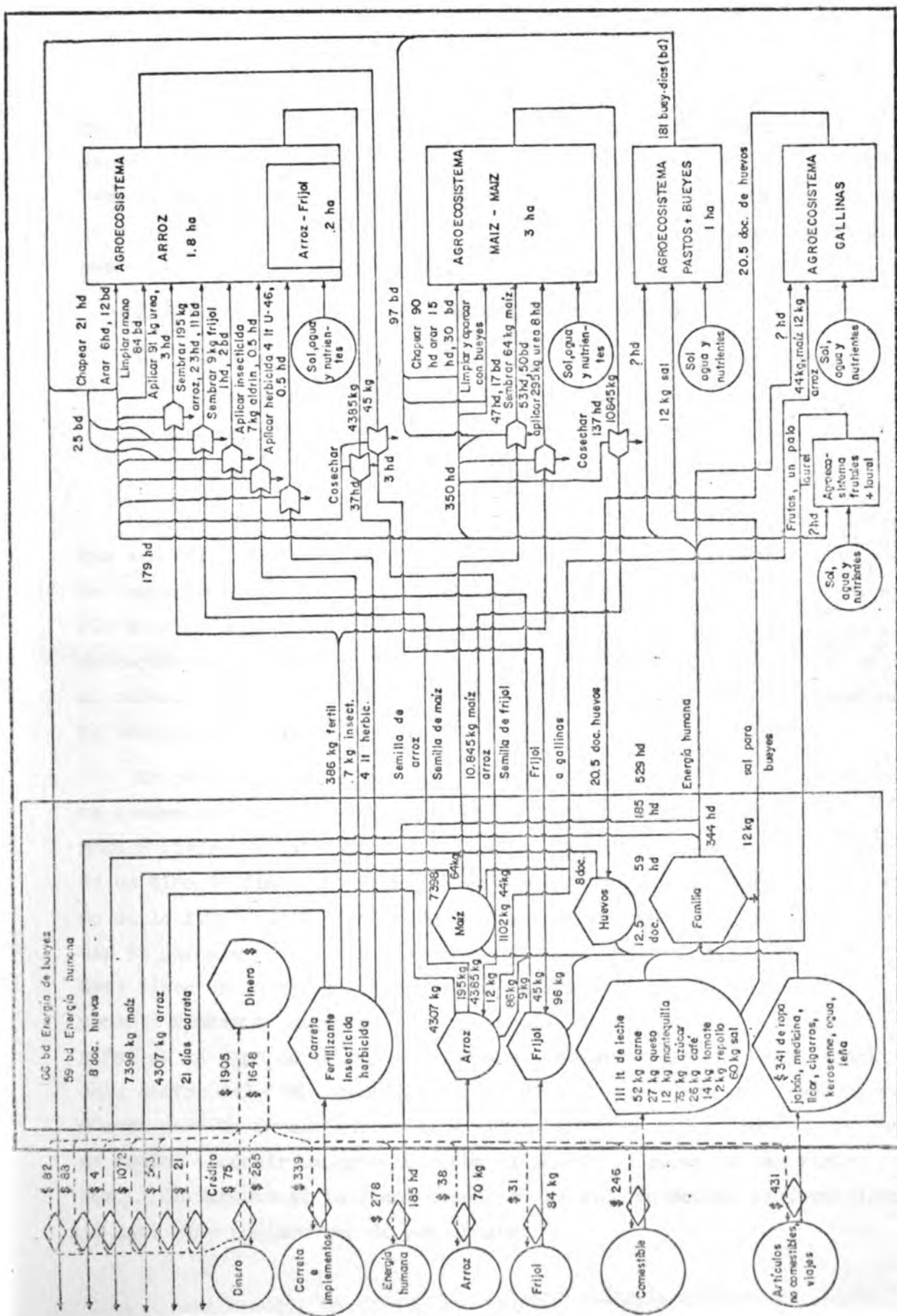


Figura 5.3 Un modelo cuantitativo de un sistema de finca en Honduras. Las cantidades de cada flujo están en unidades por año.

de energía, materiales, información y dinero y produce salidas. Con la información sobre estos procesos, es posible empezar a entenderlos suficientemente bien como para poder describir un flujo como una función del ambiente o de componentes dentro de la finca. Con base a este entendimiento se puede elaborar un modelo matemático del sistema.

Los modelos matemáticos tienen dos usos importantes:

- a. Sirven para predecir un flujo específico bajo diferentes condiciones ambientales
- b. Sirven para entender el desempeño en general del sistema en relación con procesos que ocurren dentro del mismo

Los modelos matemáticos, ya sean del tipo a o del tipo b, tienen que ser validados por medio de simulación. El objetivo sigue siendo el de comparar el modelo con la realidad. Con modelos complejos es necesario usar un computador para averiguar lo que el modelo predice sobre el desempeño del sistema real al cambiar ciertas condiciones. Si al simular el modelo, éste y el sistema real no se comportan en forma suficientemente similar, se modifica el modelo.

Es posible simular un modelo sin usar un computador. Una herramienta comúnmente usada en investigación con fincas es la finca modelo, o un módulo físico. Sabiendo lo suficiente sobre la estructura y la función de un tipo de finca en una región, se puede apartar una parcela del tamaño de la finca típica dentro de un campo experimental. Se puede subdividir la parcela entre los agroecosistemas encontrados en la finca típica. Esta finca es un modelo porque es una simplificación de la realidad. El poner a funcionar este modelo y compararlo con las fincas reales de la región, es un tipo de validación por medio de simulación. Si la finca modelo dentro del campo experimental es válida, puede ser una buena herramienta para la investigación de sistemas de fincas. La ventaja es que se pueden conducir experimentos con el modelo en lugar de las fincas reales. Obviamente si la finca modelo no ha sido validada, la investigación de este tipo pudiera ser de poco valor.

ESTUDIOS DE FINCAS

Los estudios de fincas pueden ser necesarios para entender una región, asumiendo que fincas son subsistemas de una región (ver Capítulo 4), o para entender el ambiente donde funciona un agroecosistema de interés específico. La finca misma también puede ser la unidad de interés pues es al fin y al cabo la unidad sobre la cual un agricultor tiene que tomar sus decisiones. El tiene que decidir cómo dividir los insumos y la mano de obra disponible, asignando porcentajes a distintos agroecosistemas.

Los resultados de los programas de investigación enfocados al nivel de subsistema de la finca llegan al agricultor y si hay conflictos entre estas recomendaciones se espera que él los pueda resolver. Si un investigador que trabaja con cultivos recomienda que se incorpore al suelo el rastrojo de los cultivos, y si otro investigador que trabaja con animales recomienda que se use el rastrojo de los cultivos como alimentación animal, el agricultor tiene que tomar decisiones a nivel de finca y decidir cuál es la recomendación a seguir. El interés en la finca como unidad de investigación, se ha estimulado en los últimos años por este tipo de interacción entre agroecosistemas y el hecho de que la finca es la unidad básica que el agricultor maneja.

Los dos factores más importantes en la determinación del nivel de cuantificación y el nivel de representatividad que se espera obtener en un estudio a nivel de finca son los objetivos de un estudio a nivel de finca y los recursos humanos y económicos disponibles. Hay que decidir entre la precisión de una muestra pequeña y lo que se obtiene de una muestra grande estudiada con menos detalle.

En situaciones donde la precisión es más importante que la representatividad, generalmente un estudio de finca debe realizarse con estudios de tallados de pocas fincas también denominados, estudios de casos. En este caso, el paso de escogencia de fincas es extremadamente importante. Los casos pueden ser del mismo tipo de finca o pueden ser escogidos como representantes de diferentes tipos de fincas. Después de elaborar un modelo preliminar para cada tipo de finca es necesario validarlo, para averiguar si el modelo es representativo o no.

En situaciones donde la representatividad es más importante que la

precisión, generalmente un estudio de finca debe realizarse por medio de registros o algo similar. En esta situación se estudian más fincas, y se puede pedir al agricultor que llene un formulario periódicamente. El nivel de precisión de esta información es más bajo pues el investigador no puede gastar mucho tiempo con cada agricultor, sin embargo, hay más fincas estudiadas y el investigador tiene la confianza de que los resultados obtenidos son representativos.

Posiblemente, el mejor tipo de estudio de finca sería una combinación de ambos enfoques, pero en general, los objetivos y recursos dictarán el enfoque. Los pasos resumidos para un análisis de una finca como un sistema sirven para cualquiera de estos enfoques.

RESUMEN

Una finca se conceptualiza como un subsistema de una región. Es una unidad de producción con una superficie medible, controlada por un individuo o grupos de individuos que tienen un propósito agrícola. Los componentes que interactúan dentro de la finca pueden ser divididos en dos tipos de subsistemas, un subsistema socio-económico y agroecosistemas. Como cualquier sistema, una finca tiene estructura y función, y puede ser sometida a un análisis para entenderla y para predecir su desempeño.

Los puntos sobresalientes de esta breve descripción de la finca como sistema, se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se definen los límites de superficie de una finca?
2. ¿Existe alguna finca sin entradas o salidas?
3. ¿Cuáles son los componentes de la finca?
4. ¿Cómo se definen los límites de los agroecosistemas de la finca?
5. ¿Cuál es el criterio de estructura que se puede usar para clasificar fincas?
6. ¿Cuáles son los criterios de función que se pueden usar para clasificar fincas?
7. ¿Qué tipo de modelo se debe elaborar primero, un modelo cualitativo o uno cuantitativo?

8. ¿Qué quiere decir "simulación"?
9. ¿Qué usos importantes tienen los modelos matemáticos?
10. ¿Cuáles son los dos tipos de estudios de fincas? ¿Cuándo escogería uno, y cuándo otro?

CAPITULO 6: AGROECOSISTEMAS

Si consideramos una finca como un sistema, entonces un agroecosistema es un subsistema de ella. Estos agroecosistemas constituyen unidades de producción, y por lo tanto, son sistemas agrícolas de cierta importancia. Las salidas de estas unidades (productos agrícolas) son importantes no sólo para la finca (como generadores de ingresos o como alimentos) sino que estos productos agrícolas también entran al mercado e integran la base de la alimentación para la región a la cual pertenece la finca y posiblemente en último término, para el país. Más aún, la economía de un país puede depender en gran parte de los agroecosistemas que generan productos para la exportación.

Un agroecosistema es un ecosistema que cuenta por lo menos con una población de utilidad agrícola. Un ecosistema (ver Capítulo 2) incluye una comunidad biótica y un ambiente físico con el que esta comunidad interactúa. La comunidad incluye normalmente poblaciones de plantas y de animales. En un agroecosistema, alguna de las poblaciones tiene un valor agrícola. Los agroecosistemas difieren de los ecosistemas naturales en otro aspecto, tal vez tan importante como la existencia de poblaciones agrícolas y, eso es que el desempeño de un agroecosistema está regulado por la intervención del hombre. Esta intervención está generalmente programada, es decir, el agricultor tiene un propósito que cumplir con el sistema y lo maneja siguiendo un plan de manejo preconcebido que teóricamente le permite alcanzar objetivos específicos.

Aunque los agroecosistemas no son exactamente ecosistemas naturales, todavía pueden considerarse ecosistemas y en general todos los conceptos ecológicos tales como flujo de energía, ciclaje de materiales y otros, son aplicables en su estudio. Como los agroecosistemas contienen poblaciones de plantas y animales que interactúan, otros conceptos ecológicos relacionados con la interacción entre poblaciones tales como competencia y relación depredador-presa, también tienen aplicación. Estos conceptos se discutieron en el Capítulo 2.

Hay tres tipos de agroecosistemas, los que tienen un subsistema de cultivos (pueden ser anuales, perennes, árboles forestales, etc.), los que tienen un subsistema de animales y los que tienen cultivos y animales.

En la discusión siguiente acerca de la estructura y función de los agroecosistemas, se hace hincapié en los primeros. Las diferencias y semejanzas entre los agroecosistemas y la posibilidad de que exista interacción entre ellos, se discuten al final de este capítulo.

ESTRUCTURA

En un agroecosistema de plantas, los componentes son las poblaciones que constituyen la comunidad biótica (cultivos, malezas, insectos y microorganismos) y los componentes del ambiente que interactúan con esta comunidad. Estos componentes se pueden dividir en subconjuntos que funcionen como una unidad y por lo tanto se pueden denominar subsistemas del agroecosistema.

Los componentes de los subsistemas interactúan y forman arreglos en el tiempo y en el espacio. Ejemplos hipotéticos de estos arreglos se resumen en la Figura 6.1.

Arreglos de cultivos

Cuando las poblaciones de plantas de un agroecosistema incluyen cultivos, se pueden separar estas poblaciones de las otras plantas e identificar un arreglo de cultivos. Un arreglo de cultivos es la distribución de los cultivos en el tiempo y en el espacio. Se notará que un arreglo de cultivos no es un sistema de cultivos, porque no incluye el concepto de función. En inglés se refiere a esta unidad como un "cropping pattern".

Arreglos de malezas

Las malezas de un agroecosistema también se distribuyen en el tiempo y en el espacio. Durante un período de tiempo determinado, es posible describir el cambio en el tipo de malezas (p.e. de gramíneas a hoja ancha) al desarrollarse un agroecosistema. También, en un instante de tiempo dado, se puede describir la posición espacial (por ejemplo, en los surcos sembrados con cultivos, o en la calle entre los surcos) de los diferentes tipos de malezas que ocupan determinado lugar.

Arreglos:

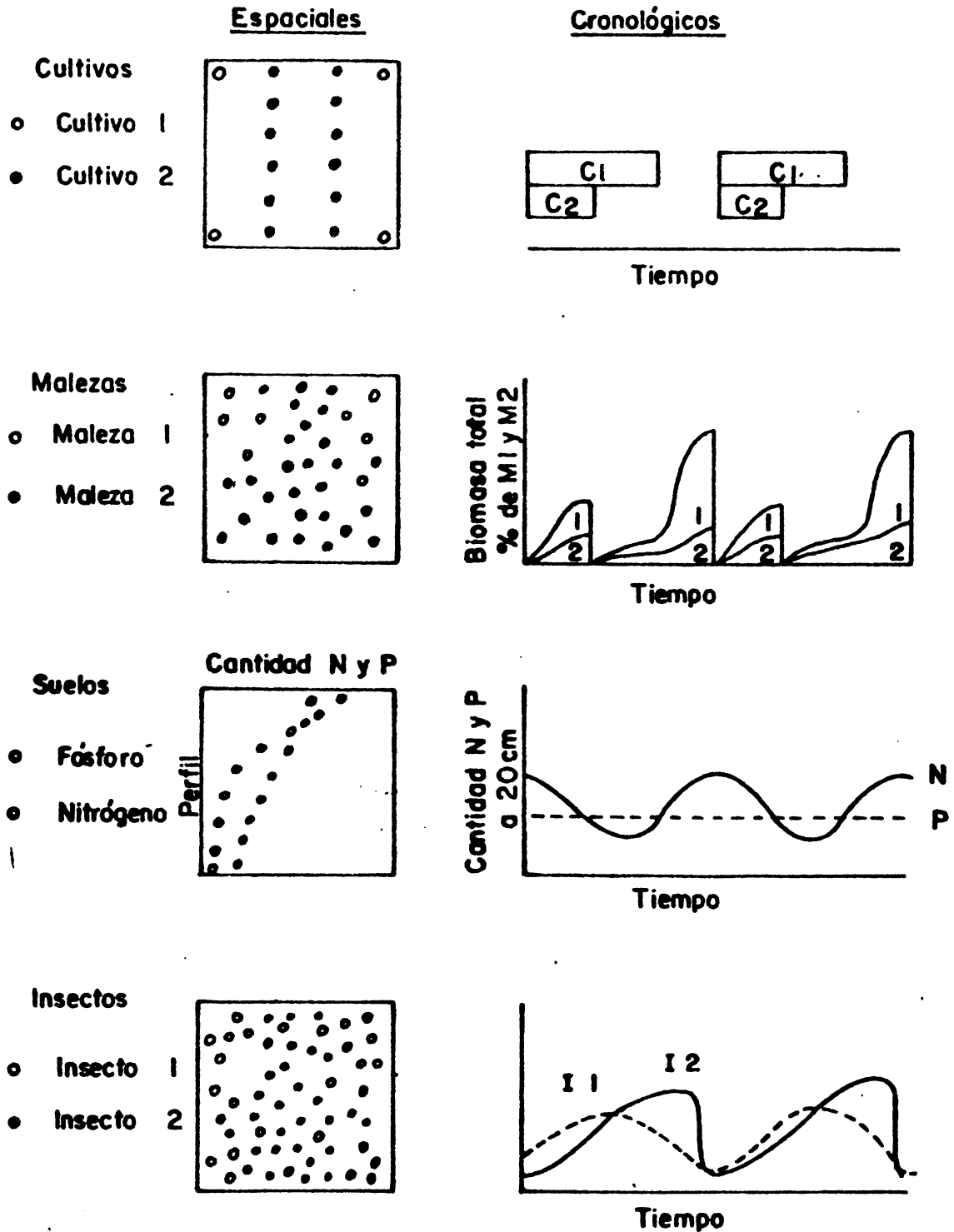


Figura 6.1 Un ejemplo de los arreglos espaciales y cronológicos de cultivos, malezas, nutrientes del suelo, e insectos que pudiera ocurrir dentro de un agroecosistema.

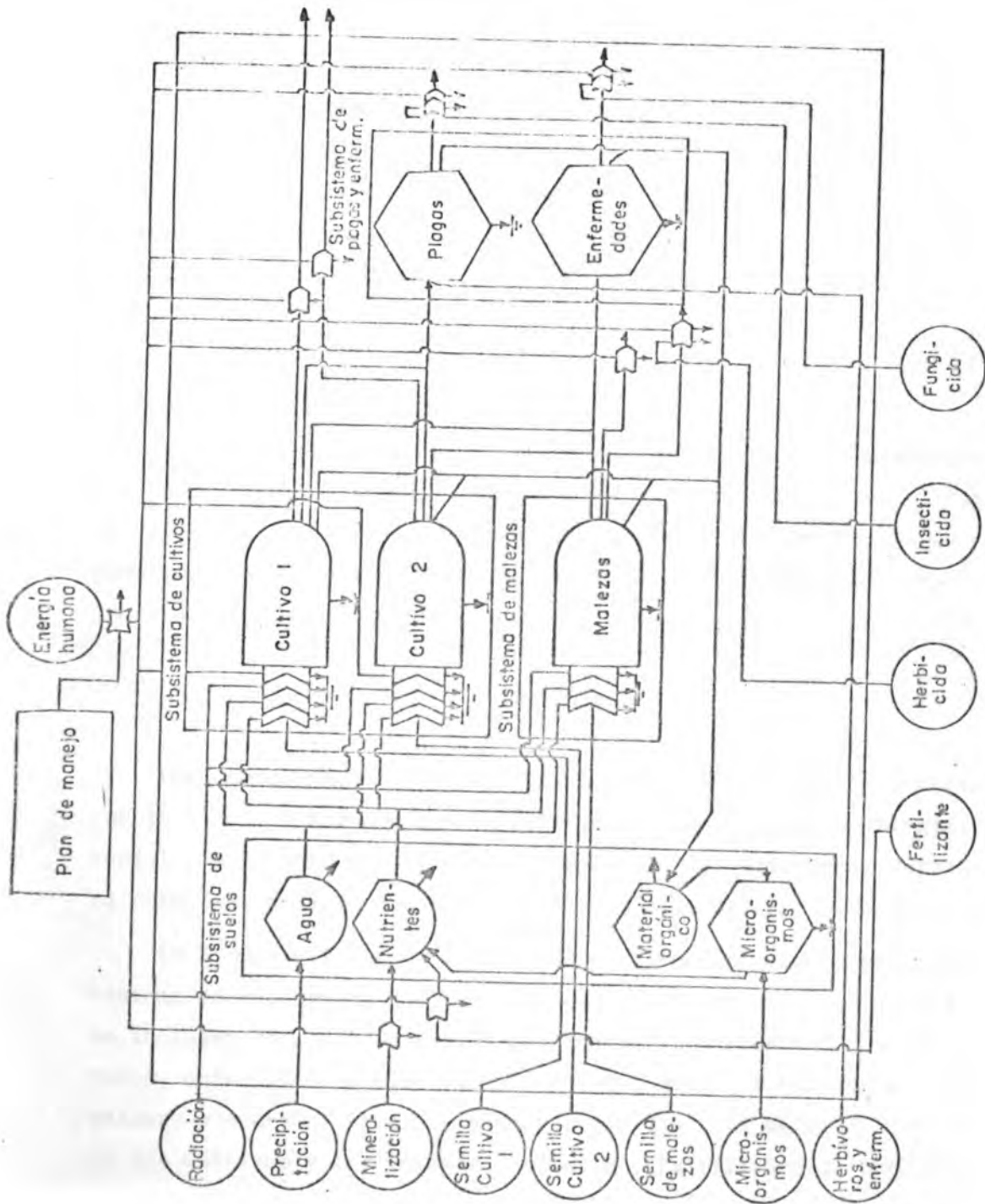


Figura 6.2 El flujo de materiales, energía e información por un agroecosistema con un subsistema con dos cultivos.

Distribución de insectos y micro-organismos

Tal como se puede describir la distribución de plantas en el tiempo y en el espacio, los insectos y micro-organismos también pueden tener una secuencia crónológica y un arreglo espacial en un momento dado. El ciclo de vida de un insecto dañino tiene mucha importancia en el estudio de la estructura de un agroecosistema. La distribución espacial de micro-organismos en el suelo también puede contribuir a la estructura del agroecosistema.

Arreglos físicos dentro del suelo

Los nutrientes y el agua del suelo que integran el subsistema de suelos de un agroecosistema tienen también una distribución en el tiempo y en el espacio. Tal vez la distribución espacial más importante de estos componentes está relacionada con su disponibilidad horizontal y vertical. Cambios en esta disponibilidad en el tiempo genera un arreglo cronológico.

FUNCION

Los componentes bióticos y físicos del agroecosistema interactúan y por lo tanto, funcionan como un sistema. Los flujos de energía, los materiales y la información entran y salen de los diferentes subsistemas y el resultado de esto es un desempeño dinámico del agroecosistema.

La Figura 6.2 es un diagrama de un agroecosistema constituido por un sistema de cultivo de dos componentes. Las entradas (fuentes) al sistema incluyen radiación solar, precipitación, nutrientes disponibles, herbívoros, enfermedades, micro-organismos del suelo, semillas de cultivos y malezas y energía (humana, animal y fósil). La energía, las semillas de los cultivos y los insumos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas) entran al sistema según decisiones del agricultor. Las otras entradas tales como radiación, precipitación, herbívoros, etc., están fuera del control del agricultor, aunque él puede regular estos flujos una vez que están ya dentro del agroecosistema.

Subsistema suelo

El agua, los nutrientes y las semillas de las malezas entran al agroecosistema por medio del subsistema de suelos. Este subsistema funciona como un almacenador de estas entradas, que llegan al subsistema de suelos procedentes del ambiente. El material orgánico es otra entrada al subsistema de suelos, pero este flujo ingresa sólo cuando mueren las plantas y animales del agroecosistema. El subsistema de suelos es un sistema muy complejo en el que se desarrollan procesos bióticos como la actividad de los micro-organismos que liberan nutrientes a partir de la materia orgánica, varios procesos físicos como el movimiento vertical de agua y procesos químicos como fijación de nutrientes, etc.

Subsistema de cultivos y subsistema de malezas

Las poblaciones de cultivos y malezas compiten entre ellas por el agua, por los nutrientes del suelo y por la radiación solar. Estos arreglos de cultivos y de malezas usan estas entradas y a través de procesos fisiológicos producen biomasa de cultivos y de malezas. El conjunto de cultivos y el de malezas, funcionan y constituyen el sistema de cultivos y el sistema de malezas respectivamente.

Generalmente se produce un incremento en las poblaciones de cultivos cuando se aumentan las entradas de semillas, agua, nutrientes y radiación, por el contrario, se produce una disminución cuando mueren las plantas (al terminar el ciclo de vida o con la aplicación de herbicidas en el caso de malezas) y cuando los herbívoros y las enfermedades imponen un efecto negativo significativo.

Subsistema de herbívoros y enfermedades

Los arreglos espaciales y cronológicos de herbívoros y micro-organismos patógenos también funcionan como un sistema. Estas poblaciones aumentan paralelamente a medida que su consumo de cultivos y malezas también aumenta. Las poblaciones de insectos y micro-organismos también aumentan debido a inmigración de más organismos al sistema y por el contrario, disminuyen cuando los organismos mueren (por causas naturales o por efectos de la aplicación de insecticida y/o fungicidas), cuando los organismos emigran

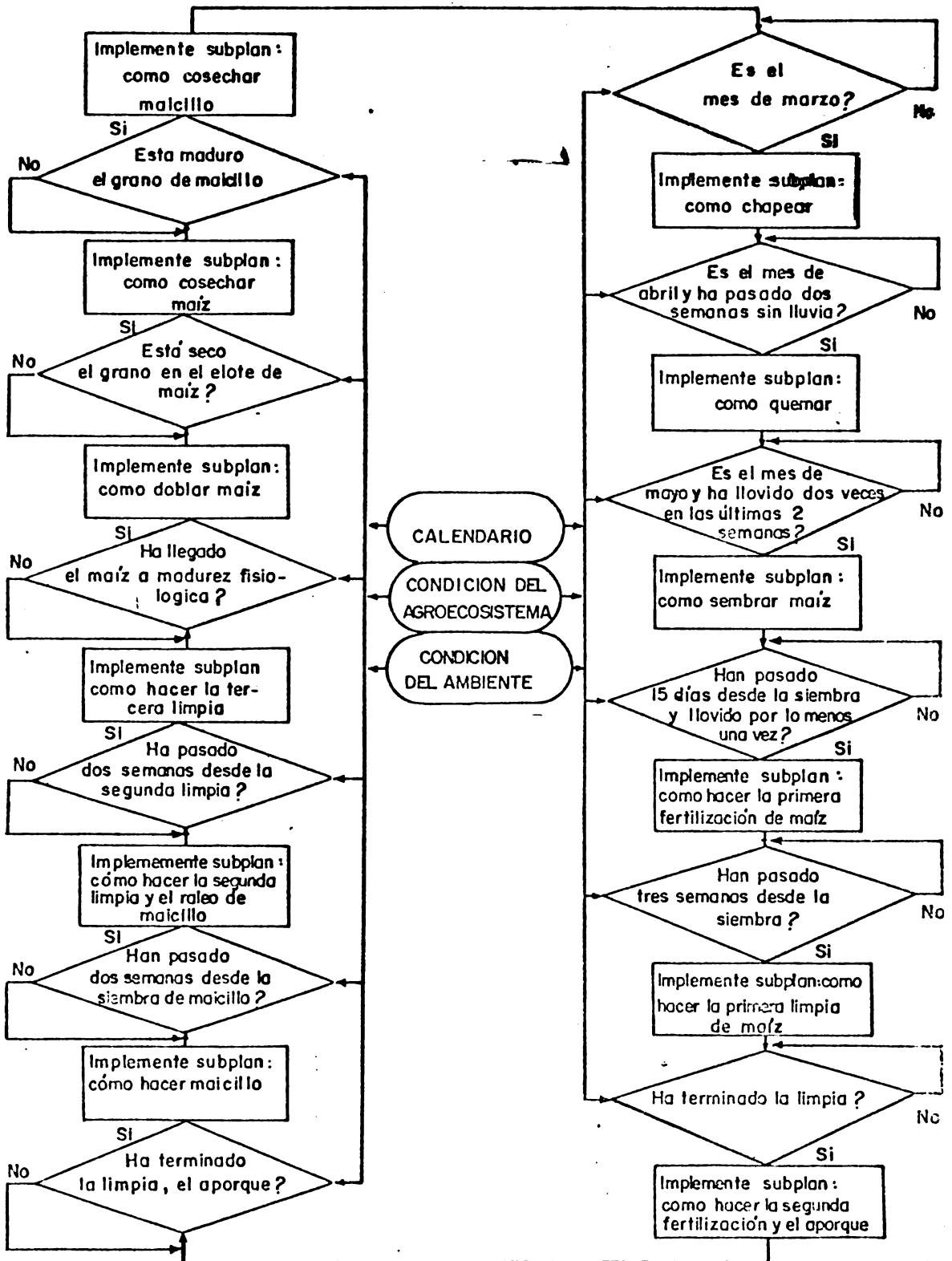


Figura 6.3 Un plan de manejo hipotético para un agroecosistema con un subsistema de cultivos que incluye maíz y maicillo (sorgo).

del agroecosistema, y cuando hay menos cultivos y malezas para comer. La relación entre las plantas y los insectos de un agroecosistema es del tipo depredador-presa.

Plan de manejo

Los objetivos del agricultor al manejar un agroecosistema siempre es tán relacionados con el sistema de cultivo (o el sistema de animales en casos cuando el agroecosistema tiene sólo un subsistema pecuario). Para conseguir un desempeño del sistema de cultivo consistente con sus necesida des, el agricultor realiza los siguientes tipos de actividades:

1. Introduce semillas de cultivos, sembrándolas en un arreglo espa cial y realiza, si es necesario, actividades de manejo de los cultivos como raleo, podas, etc.
2. Aumenta las entradas naturales del sistema: (a) prepara el suelo para aumentar la mineralización natural, (b) añade nu trientes (fertilizante), (c) incorpora material orgánico de otros campos.
3. Disminuye la competencia de las malezas, preparando el suelo oportunamente y deshierbando cuando el cultivo está establecido ya sea a mano, o aplicando herbicidas.
4. Disminuye el efecto negativo de los herbívoros y enfermedades aplicando medidas de control tales como insecticidas y fungi das.
5. Cosecha la biomasa de cultivos con valor agrícola.

El conjunto de decisiones para realizar estas actividades es el resul tado de un plan de manejo. Antes de tomar una decisión el agricultor con sidera tres aspectos: la fecha, el ambiente y el estado de desarrollo del agroecosistema. La Figura 6.3 es un bosquejo de un plan de manejo para un agroecosistema con un subsistema de cultivos de maíz y maicillo (sorgo). Se supone, al empezar el ciclo, que el agricultor tiene ya en mente los cultivos que va a sembrar y cómo va a preparar el terreno, deshierbar, con trolar insectos y enfermedades, cosechar y almacenar los cultivos. Tam- bién se supone que el agricultor tiene en mente la base sobre la cual va

a tomar la decisión de implementar estas actividades.

En el plan resumido en la Figura 6.3, el agricultor decide chapear (cortar a ras) las malezas antes de preparar el suelo, considerando solamente la fecha. Por ejemplo, el agricultor se pregunta, ¿es el mes de marzo? si la respuesta es no, espera; si la respuesta es sí, el agricultor implementa su plan de chapear. Un agricultor puede tomar decisiones a base de las condiciones del agroecosistema sin considerar otros factores. Por ejemplo, pudiera decidir limpiar cuando mira la cantidad de malezas en el agroecosistema y decidir cuando cosechar usando criterios asociados con la madurez fisiológica de los cultivos. El ambiente también puede ser un factor sobre el cual se toman decisiones. Por ejemplo, un agricultor puede decidir sembrar en base a la cantidad de lluvia en un período dado.

En muchos casos, las decisiones de manejo se toman en base a una combinación de la fecha, el ambiente, y la condición del agroecosistema. Por ejemplo, un agricultor decide aplicar fertilizante en el mes de mayo (fecha), cuando ha llovido por lo menos dos veces (ambiente), y cuando el maíz tiene 30 cm de altura (el agroecosistema).

El plan de manejo resumido en la Figura 6.3 es mucho más simple que un plan real de un agricultor. En muchos casos los planes no son ciclos simples sino que el agricultor los considera opciones. El diagrama de un plan de manejo con opciones tendría más de una manera para completar el ciclo. Un ejemplo de un plan con opciones sería cuando un agricultor espera sembrar una rotación de arroz-frijol, o una rotación de maíz y frijol intercalado seguido por frijol. Basándose en la precipitación el agricultor decide sembrar arroz o una combinación de maíz y frijol; si llueve temprano en mayo se decidirá por arroz, en cambio si llueve sólo a partir de junio, sembrará maíz y frijol. Al terminar la cosecha de arroz o la de maíz y frijol, el agricultor prepara el terreno y siembra frijol. Un diagrama de este plan de manejo tendría una secuencia siguiendo las decisiones en el manejo de arroz y otra secuencia siguiendo las decisiones en el manejo del maíz y frijol. Las secuencias se juntarían al momento de la siembra del frijol.

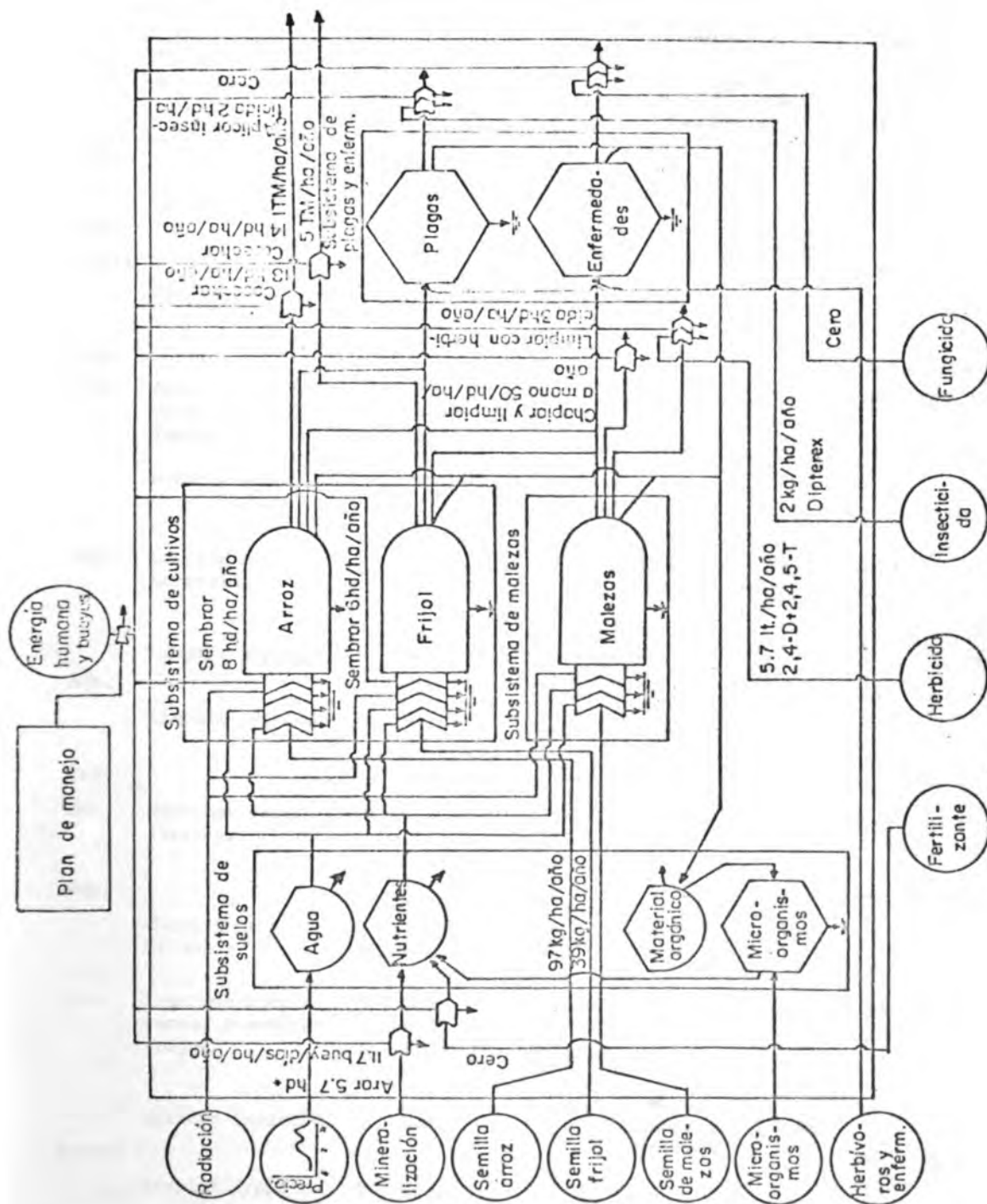


Figura 6.4 Un diagrama semi-cualitativo de un agroecosistema con un subsistema de cultivos que incluye arroz y frijol en rotación. Las estimaciones de los diferentes flujos están en unidades/ha/año.

Cuadro 6.1 Un modelo dinámico del agroecosistema descrito en un diagrama estático en la figura 6.4

Semana absoluta	mes	Plan de actividades	Hombre (o buey) días/ha	Semilla, tipo, cant/ha	Insumos (ha)		Medio ambiente		Prod. Cant. TM/ha
					Productos químicos Nombre	Cant.	PPT mm/mes	°C	
1- 4	Enero						65	25.9	
5- 8	Feb.						63	26.3	
9-12	Mar.						25	27.5	
13-14	Abril						11	28.0	
15		Chapia para arroz	12	h.d.					
16									
17-20	Mayo						133	27.5	
21	Jun.	Arar (contrato de maquinaria)		(\$35/ha)			194	26.3	
		Surcar c/bueyes	5.7	b.d.					
			2.9	h.d.					
22		Sembrar arroz	8	h.d.	Arroz: CICA 4				
					97.4 Kg.				
23-24									
25	Jul.	Limpiar con herbicida	3	h.d.	Herbicida U-46 (2,4-D + 2,4,5-T)	5.7 lt.	203	26.9	
26									
27-28		Limpiar c/pando	12	h.d.					
29-30	Ago.						151	26.3	
31		Limpiar c/pando	8	h.d.					
32-33									
34-37	Set.						202	25.8	
38-39	Oct.	Cosechar arroz (trillar)	18	h.d.			157	25.8	0,5 - 1,0 TM
41-42									
43	Nov.						152	25.2	
44		Chapear para frijol	9	h.d.					
45-48									
49	Dic.	Arar con bueyes, surcar y sembrar frijol	5.7	b.d.			91	25.2	
			2.9	h.d.					
			6	h.d.	Frijol: criollo				
					39 Kg				
50-51									
52		Aplicar insectic.	2	h.d.	Insectic. Dipterex	2.0 Kg			
1- 2	Enero						65	25.9	
3		Limpiar c/pando	9	h.d.					
4- 5									
6- 8	Feb.						63	26.3	
9		Arrancar (cosechar)	8	h.d.					
10		Aporrear	6	h.d.					0,0 - 0,5 TM

ANALISIS DE UN AGROECOSISTEMA

Para analizar un agroecosistema se siguen los mismos pasos que en el análisis de una región y de una finca. Después de identificar el sistema de interés, se elabora un modelo cualitativo, se realizan las actividades necesarias para cuantificar el modelo, se valida el modelo comparándolo con la realidad, se modifica y revalida si es necesario.

La Figura 6.4 es un modelo de un agroecosistema con un sistema de cultivos de arroz y frijol en rotación. Los números colocados sobre las flechas que representan flujos, vienen del mismo estudio ya mencionado de un sistema de finca en Honduras, que se resumió en el Capítulo 5. Aunque falta mucha información para completar el modelo, al cuantificar los flujos es posible empezar a entender cómo funciona el sistema y predecir por lo tanto, qué efecto tendría en el sistema modificar algún aspecto de su estructura.

El Cuadro 6.1 es un resumen del orden cronológico seguido por el agricultor para manejar el agroecosistema representado en la Figura 6.4. Este cuadro también incluye las entradas de energía humana (hombre-días), energía animal (buey-días), semilla de los cultivos, insumos agrícolas y precipitación. Se incluye también una estimación del rango de producción (salidas del sistema).

Validación

El modelo resumido en la Figura 6.4 y en el Cuadro 6.1 no está lo suficientemente cuantificado como para validarlo; falta todavía información acerca de la relación entre la estructura y la función del sistema. Se necesitaría una estimación cuantitativa de la cantidad de nutrientes y de agua que están disponibles en el suelo durante el año. También es necesario conocer la función matemática que describe la cantidad de radiación solar en el tiempo, el uso de agua, los nutrientes y la radiación por los cultivos y la competencia que ejercen las malezas durante el ciclo vegetativo de los cultivos. Además, es necesario conocer la relación existente entre cantidad de herbívoros y disminución de rendimiento; la cantidad de nutrientes que entran al suelo con el reciclaje. Con esta información, sería posible elaborar algunas hipótesis en que se relacionan la estructu

ra con la función del sistema. Al validar estas hipótesis formuladas a través de la experimentación con el agroecosistema real, paulatinamente se puede mejorar el modelo hasta llegar a un modelo cuantitativo que represente la realidad en forma más exacta.

Valor práctico del análisis

Con un modelo ya validado de un agroecosistema dado, se pueden realizar experimentos para generar alternativas de utilidad práctica. La investigación usando un modelo validado como referencia es mucho más eficiente que la investigación a través de experimentos en donde se evalúan posibles modificaciones al agroecosistema seleccionadas en base a criterios subjetivos. Con un modelo se pueden conducir en unos minutos experimentos que tomarían meses y años, trabajando con el agroecosistema real o se pueden plantear las alternativas con mayor probabilidades de éxito para probar. Tal vez aún más importante, un modelo válido es un resumen de lo que se sabe sobre cómo funciona el sistema. Esta información ayuda al investigador objetivamente a seleccionar modificaciones con potencial.

Es posible caer en una trampa de poner demasiado énfasis sobre la generación de modelos y olvidar que a largo plazo el objetivo principal en la investigación agrícola es generar un producto con utilidad. Aunque hay algunos casos donde se ha caído en esta trampa, hay muchos más casos donde los investigadores caen en la trampa de pensar que el único objetivo es hacer recomendaciones. Generar recomendaciones sin entender cómo funciona el sistema no tiene nada que ver con la investigación científica y aún más importante, las recomendaciones no son extrapolables y por lo tanto, tienen utilidad solamente en el sitio donde fueron generadas.

Evaluación de diferentes agroecosistemas

Hay muchas situaciones en donde es necesario comparar diferentes agroecosistemas o diferentes planes de manejo. A nivel de agroecosistema, los criterios más comúnmente usados comparan entradas y salidas. En el Capítulo 1, se describen los conceptos de productividad y eficiencia. Generalmente, al aplicar estos conceptos a un agroecosistema se han enfatizado los siguientes índices:

Sistemas pecuarios

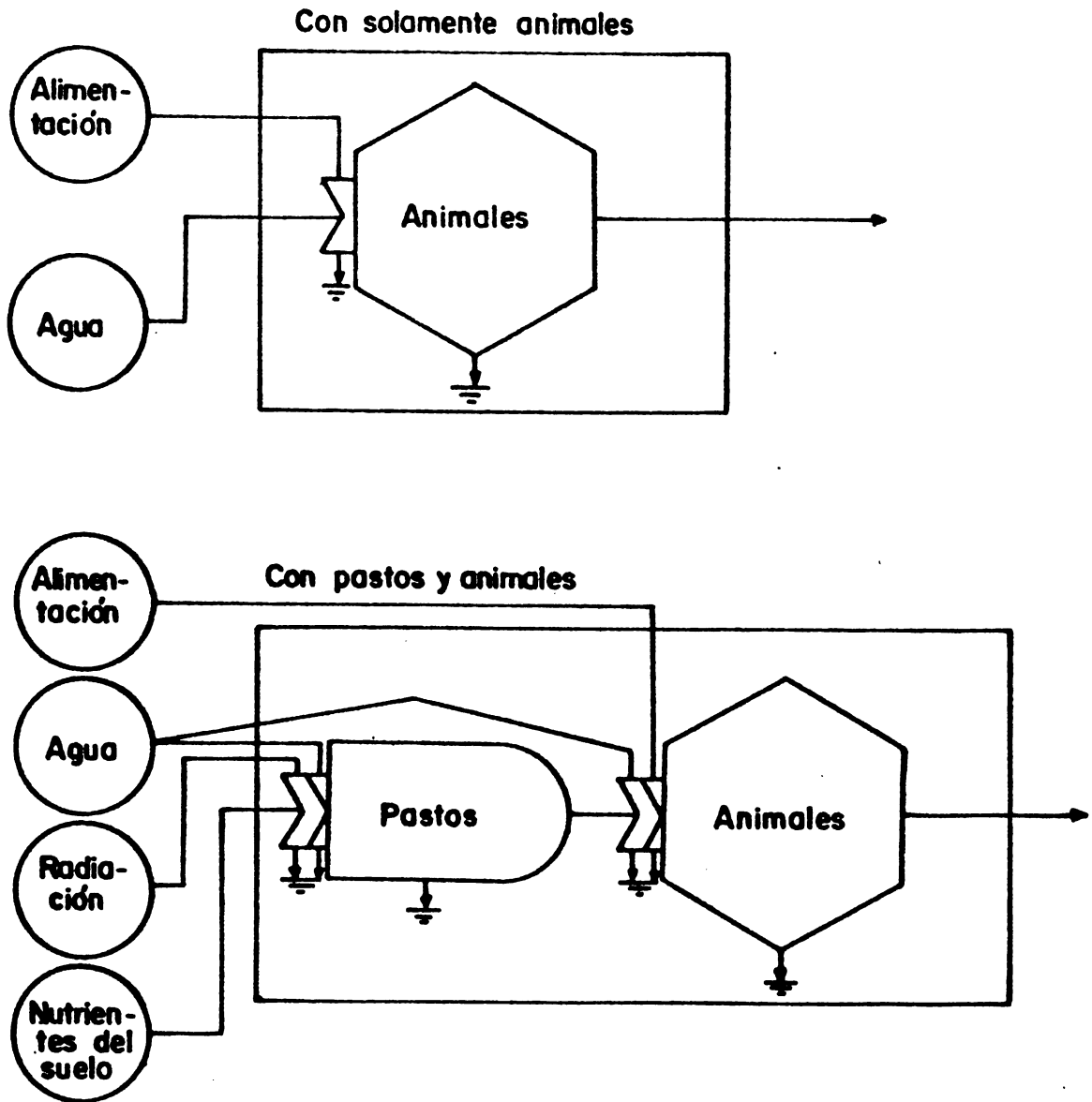


Figura 6.5 Una comparación entre dos sistemas pecuarios, uno con solamente animales y otro con pastos y animales.

1. Producción primaria bruta y producción primaria neta (ver Capítulo 2).
2. Eficiencia en la producción de un material específico (nitrógeno, fósforo, proteínas, etc.).
3. Índices de productividad económica, ingreso neto e ingreso familiar. Las entradas y salidas al agroecosistema se define en términos de valor económico (usando criterio de costo de oportunidad) y se resta el valor de las entradas del valor de las salidas.
4. Índices de eficiencia económica (retorno por costo). Comparando dos niveles de entradas, se evalúa el incremento en el valor de las salidas en relación con el incremento en costos.

Agroecosistemas con subsistemas pecuarios

Los agroecosistemas con subsistemas pecuarios son muy similares a los con subsistemas de cultivos. En general, hay dos tipos de subsistemas pecuarios, (1) los que solamente tienen poblaciones de animales y (2) los que tienen poblaciones de animales y de plantas para alimentarlos. Estos dos tipos de sistemas se comparan gráficamente en la Figura 6.5.

En un agroecosistema con un subsistema pecuario integrado sólo por animales, la alimentación para ellos proviene de una fuente ajena al sistema pecuario. Ejemplos de este tipo de sistema son gallinas dentro de un gallinero y vacas que no salen de un lote y toda su alimentación de forraje o granos se trae al lote. Los sistemas pecuarios en donde los animales reciben su alimentación de fuentes naturales (por ejemplo, puercos que andan sueltos) son otro ejemplo en este tipo de agroecosistema.

Un agroecosistema con un subsistema pecuario con pastos y ganado que se alimenta de los pastos, es un ejemplo del segundo tipo de agroecosistema. Los animales pudieran recibir también un porcentaje de su alimentación de otras fuentes, pero si el ganadero mantiene algún tipo de pastos dentro del espacio donde tiene los animales, el sistema pecuario puede ser considerado del tipo con plantas y animales.

Interacción entre agroecosistemas

La interacción entre agroecosistemas puede ser indirecta o directa. La interacción indirecta ocurre cuando dos agroecosistemas compiten para la misma entrada (por ejemplo, mano de obra del agricultor, agua de riego, etc.). Toda finca con más de un agroecosistema está caracterizada por interacción indirecta entre los agroecosistemas. (Por definición: todos los subsistemas de un sistema interactúan con por lo menos un subsistema).

Una interacción entre agroecosistemas de tipo directo ocurre cuando una salida de un agroecosistema es una entrada a otro agroecosistema. Un ejemplo de este tipo de interacción es el caso en donde el maíz producido en un agroecosistema (salida) es usado para alimentar a gallinas en otro agroecosistema (entrada). Otro ejemplo, sería el caso en donde la energía animal de un agroecosistema con pastos y bueyes (salida) es usada para preparar el suelo en otro agroecosistema (entradas). Hay tres tipos de interacción directa entre dos agroecosistemas. Estos son:

1. Las salidas de un agroecosistema con cultivos, es la entrada a otro agroecosistema con animales.
2. Las salidas de un agroecosistema con animales, es la entrada a otro agroecosistema con cultivos.
3. Dos agroecosistemas con flujos en ambas direcciones (por ejemplo, energía de bueyes entran a un agroecosistema con maíz y el rastrojo del maíz es usado para alimentar a los bueyes).

La interacción directa entre agroecosistemas, en algunas ocasiones puede ocurrir entre más de dos agroecosistemas. Un ejemplo sería el caso en donde los bueyes aran un agroecosistema con maíz (salida del sistema 1 y entrada al sistema 2) y el maíz es usado para alimentar a las gallinas (salida del sistema 2 y entrada al sistema 3).

RESUMEN

Un agroecosistema es un subsistema de una finca. Además, es un ecosistema que cuenta por lo menos con una población con valor agrícola y que tiene características de estructura y de función similares a un ecosistema

natural. La comunidad biótica interactúa con el ambiente físico y ocurren flujos de materiales y energía que entran y salen de diferentes subsistemas del agroecosistema. Un agroecosistema es manejado por un agricultor con base a un plan.

Los puntos sobresalientes de este breve resumen de los conceptos asociados con el estudio de agroecosistemas, se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles características de agroecosistemas hacen a un agroecosistema ser diferente de un ecosistema natural?
2. ¿Cuáles son los componentes de un agroecosistema con cultivos?
3. ¿Qué es un arreglo de cultivos? ¿Cuál es la diferencia entre un sistema de cultivos y un arreglo de cultivos?
4. ¿Qué es un arreglo de malezas?
5. ¿Cuáles entradas a un agroecosistema no ingresan a través del subsistema suelo?
6. En general, cuáles flujos inducen directamente un aumento en la biomasa de los cultivos?
7. ¿Cuáles subsistemas de un agroecosistema son interacción de tipo depredador-presa?
8. ¿Qué es un plan de manejo de un agroecosistema?
9. ¿Cuáles son los tres tipos de fuentes de información que el agricultor consulta antes de tomar una decisión en el manejo de su agroecosistema?
10. ¿Qué valor práctico tiene un modelo cuantitativo de un agroecosistema?
11. Señale dos tipos de sistemas pecuarios.
12. Indique tres tipos de interacción directa que pueden ocurrir entre un agroecosistema con cultivos y un agroecosistema con un subsistema pecuario.

CAPITULO 7: SUBSISTEMA DE SUELO

Carlos Burgos^{1/}

Los procesos que ocurren en el suelo de un agroecosistema constituyen la base de muchos procesos asociados con cultivos, malezas, plagas y enfermedades. Los procesos hídricos, químicos y bióticos del suelo interactúan entre sí y forman una unidad que puede ser denominada "sistema de suelo". En relación con el agroecosistema, esta unidad es un subsistema.

Aunque por razones de análisis sea lógico separar el subsistema de suelos de los otros subsistemas del agroecosistema, en la realidad hay mucha interacción entre los suelos y la comunidad biótica de cultivos, malezas, plagas y enfermedades. Como cualquier sistema, un sistema de suelos es un conjunto de componentes que interactúan para dar al sistema características de estructura y de función. Entender la relación entre la estructura y la función de un sistema de suelos, puede servir de base para el diseño de estrategias de manejo. Un sistema de suelos es una unidad muy compleja; por lo tanto, esta discusión sobre su estructura, función y manejo tendrá un carácter muy general.

ESTRUCTURA

La estructura de un sistema de suelos está relacionada con las características estructurales de los componentes del sistema, y con el arreglo espacial y cronológico de los mismos.

Componentes

Los elementos químicos del suelo se dan en formas muy diferentes. Fried y Broeshart (1967), en su libro "The soil-plant system", clasifican estas formas como: (a) minerales primarios, (b) óxidos y sales no combinados, (c) materia orgánica, y (d) minerales secundarios. A estos componentes químicos se puede añadir: (e) el agua y (f) los micro-organismos. La siguiente descripción de los componentes del sistema de suelos fue extraída del libro mencionado. Los minerales primarios incluyen silicatos de aluminio (como feldespato), cuarzo, hematita, magnetita, y apatita. Estos minerales abundan

^{1/} Coautor de este Capítulo, Ph.D., Edafólogo del Programa de Cultivos Anuales del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

dan en los siguientes elementos: Ca, Mg, K, Fe y P y en general, son bajos en N, S, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl.

Los óxidos, carbonatos y sulfatos pueden contener iones de Ca, Mg, S y Fe. Dentro de los componentes de este tipo se encuentran óxidos de Fe y Al; estos óxidos pueden asociarse con diferentes minerales y afectar la disponibilidad de nutrientes.

La materia orgánica encontrada en el suelo deriva casi totalmente de tejidos vegetales y por lo tanto, los elementos que la forman están relacionados con la composición de esos tejidos. En general, la relación C:N de la materia orgánica es aproximadamente 10:1. Si se conoce el porcentaje de material orgánico de un suelo, el porcentaje de nutrientes de la materia orgánica y la profundidad que alcanzan las raíces de un cultivo, se puede calcular la cantidad de nutrientes disponibles en esta fuente. Esta puede llegar a 1000 kg/ha de N y 100 kg/ha de P y S en suelos de alta materia orgánica.

La composición elemental de los minerales secundarios no es tan importante como su papel físico-químico. Las arcillas reactivas como Kaolinitas y Montmorillonitas son componentes de este tipo. Estas arcillas tienen diferentes estructuras, (dos láminas, tres láminas) diferentes niveles de expansión, etc., que afectan la adsorción de cationes.

El agua es un componente extremadamente significativo. Tal vez sus dos estados más importantes para el entendimiento de los procesos hídricos del suelo (función) sean: (a) agua libre para moverse, y (b) agua asociada con minerales y no disponible para plantas.

Los micro-organismos del suelo incluyen bacterias, algas, hongos y nemátodos. Las características de estos componentes pueden tener mucha influencia sobre la estructura del sistema de suelos.

Arreglo espacial

Los minerales primarios, los óxidos y sales, la materia orgánica, los minerales secundarios, el agua y los micro-organismos, tienen una distribución espacial dentro del sistema de suelos. Aunque esta distribución puede ser horizontal y vertical, generalmente la distribución vertical (perfil) es la más importante.

Un análisis de suelo que incluya una muestra de los diferentes horizontes del perfil, es una buena descripción del arreglo espacial de muchos de los componentes del sistema de suelos. La importancia de esta distribución es obvia cuando se considera, por ejemplo, que dos suelos con la misma cantidad total de fósforo, pero con distintas distribuciones verticales, tienen potenciales agronómicos muy diferentes.

Un aspecto muy importante de la distribución vertical de los componentes del suelo es que este arreglo da información sobre la génesis del mismo.

Arreglo cronológico

El arreglo cronológico de los componentes de un sistema de suelos puede ser considerado a nivel geológico, (largo plazo) o a nivel climatológico, (corto plazo).

El perfil de un suelo en cierto sentido, es una foto que resume los cambios ocurridos durante los años de su desarrollo. El suelo es un sistema dinámico que integra muchos procesos. Muy "grosso modo", se puede decir que un suelo dado integra procesos físicos y químicos, que producen minerales de la roca madre, y procesos bióticos, que producen arcilla. Al abrir una calicata y describir un perfil, lo que se observa es la síntesis de como los componentes han cambiado en el tiempo. Los procesos que generan este arreglo cronológico se mencionan en el resumen de las características de función.

Un suelo también tiene un arreglo cronológico de componentes a corto plazo. Los cambios en componentes como minerales, arcilla, etc., son muy lentos, pero hay componentes como los nutrientes o el agua disponibles para plantas que pueden cambiar en cuestión de minutos. Un gráfico que describe la disponibilidad de agua medida cada día durante un año, es un ejemplo del arreglo cronológico de este componente. Otro ejemplo es el cambio de fósforo fijado a fósforo disponible durante un período de tiempo.

FUNCION

El arreglo espacial y cronológico de los componentes del suelo afecta su función y viceversa. El arreglo que observamos cuando se describe un

CUADRO 7.1 MODELO SIMPLIFICADO DEL DESARROLLO DE UN PERFIL INCOMPLETO USANDO EL CALCULO DE UN MINERAL

- INDICE MI

Hori- zonte	Espe- sor de una columna de 1 cm ²	Densi- dad a paren- te	Pe- so seco total pre- sente	MI Peso	MI Factor	Peso seco Ar- ci- lla pre- sente	Peso seco no-ar- cilla pre- sente	Peso seco total origi- nal	Peso seco ar- ci- lla ori- ginal	Peso seco no-ar- cilla ori- ginal	Cambio en el conte- nido de ar- cilla	Cambio en el conte- nido de ar- cilla	Traslado neto de arcilla
A	20	1.0	20	3.2	1.6	5	15	40	8	32	-3	-17	-20
B2T	20	1.5	30	1.2	0.6	20	10	15	3	12	+17	-2	+15
B3T	20	1.25	25	1.6	0.8	10	15	20	4	16	+6	-1	+5
C	20	1.25	25	2.0	1.0	5	20	25	5	20	0	0	0
			100	8.0		40	60	100	20	80	+20	-20	0

cm g/cm³ gramos

Pérdida

perfil es el resultado del desarrollo (génesis) del suelo, el que es una característica de la función. Pero esta estructura producida durante el desarrollo, a su vez, afecta procesos (movimientos de nutrientes, actividad biótica, etc.) que están relacionados con la función del sistema a corto plazo.

Génesis

La formación de suelos, o sea, su génesis, es muy compleja. En resumen, el proceso involucra (Buol et al. 1973):

1. Adiciones de materiales orgánicos y minerales en forma de líquidos, sólidos y gases
2. Pérdida de éstos
3. Traslado de materiales de un punto a otro
4. Transformaciones de sustancias orgánicas y minerales

Los procesos que se dan en el desarrollo del suelo son: eluviación, iluviación, lavado, enriquecimiento, erosión, acumulación, descalcificación, calcificación, salinización, desalinización, podsolización y laterización.

El Cuadro 7.1 muestra un modelo simplificado del desarrollo del perfil de un suelo usando el método de mineral índice (MI). Para los cálculos no se ha considerado la materia orgánica del suelo. Se supone que el suelo se ha desarrollado de una columna de material homogéneo parecida al horizonte C, ahora presente, y las partículas gruesas de arena son usadas como minerales índices. Se calculan las ganancias y pérdidas del MI para los tres primeros horizontes, mediante la comparación del peso ganado por centímetro cúbico en un horizonte, con el peso del MI en el horizonte C.

En el perfil usado como ejemplo en el Cuadro 7.1 (ésto es un perfil hipotético simplificado), se notará que durante el desarrollo del suelo, el horizonte A ha perdido 20 gramos de arcilla; los horizontes B2T y B3T han ganado 15 y 5 gramos respectivamente, y el horizonte C no ha cambiado.

Balance hídrico

Uno de los procesos más importantes para la función del sistema de suelos, a corto plazo, es la entrada y salida del agua. El agua entra al-

suelo por medio de precipitación y escorrentía superficial (ríos, riego, etc.), y sale por medio de evaporación, transpiración de plantas, infiltración y escorrentía (natural y por drenaje).

La entrada, el almacenaje y la salida de agua del suelo es, obviamente, un proceso dinámico. Para describir el proceso es necesario saber: (1) la cantidad de agua que entra, (2) las características físicas del suelo que determinan la máxima cantidad almacenable y (3) la cantidad que sale. Los primeros dos aspectos son relativamente fáciles de medir. Se puede suponer que no hay movimiento horizontal de agua, (todo entra como precipitación) y calcular el agua almacenable restando el contenido de humedad (%) al punto de marchitez permanente del porcentaje de humedad a la capacidad del campo de los diferentes horizontes que almacenan agua para las plantas. Sin embargo, los procesos relacionados con la salida de agua son afectados por el ambiente (temperatura, radiación, humedad relativa, etc.) y son más calculables.

Si no hay movimiento de agua por escorrentía e infiltración y si resulta lógico asumir que el mayor volumen de agua sale por evapotranspiración, hay fórmulas empíricas para calcular el uso del agua por las plantas. Estas fórmulas (Modelos) son hipótesis que relacionan factores ambientales con el uso consuntivo del agua por las plantas. Un ejemplo es el modelo de Blanney y Criddle (1955) que tiene esta forma:

$$UC = \frac{Kp (45.7T + 813)}{100}$$

en donde:

UC = Uso consuntivo, consumo de agua por las plantas o evapotranspiración, expresado en milímetros

K = Coeficiente empírico de consumo de agua del cultivo, durante el período de crecimiento

p = Porcentaje mensual de horas luz en el año. El valor para cada mes depende de la latitud del lugar en relación al Ecuador geográfico. (Estos valores se dan en el cuadro siguiente)

T = Temperatura promedio mensual en grados centígrados

Procesos químicos

La fijación y la liberación de nutrientes involucra diferentes procesos químicos. Estos incluyen adsorción y liberación de iones y cationes. Los procesos están influenciados no solamente por reacciones químicas, sino también por agua almacenada y por la concentración de nutrientes en solución. Si se aumentan los nutrientes en solución, por ejemplo, añadiendo fertilizante, lo que se produce en muchos casos es fijación de nutrientes; la concentración de nutrientes en solución se mantiene constante.

Como los procesos químicos están muy relacionados con el agua, la interacción ocurre entre procesos químicos e hídricos. Otros procesos que interactúan con los procesos químicos son los bióticos.

Procesos bióticos

Los procesos bióticos de un sistema de suelos involucran actividades de micro-organismos. Solamente un número limitado de micro-organismos puede usar la atmósfera como fuente de energía (autótrofos); la mayoría obtiene su energía de tejidos de plantas o animales muertos (material orgánico). También saca su nitrógeno de esta fuente, pues sólo unos pocos organismos, como la bacteria *Rhizobium*, pueden fijar nitrógeno directamente del aire.

Los organismos que no fijan nitrógeno también tienen un papel importante en el funcionamiento del sistema de suelos. El material orgánico incorporado o colocado en la superficie del suelo es inmediatamente atacado por insectos y descompuesto por micro-organismos. Los nutrientes liberados en el proceso de descomposición no necesariamente llegan a las plantas; la mayoría se pierde. Pero la materia orgánica incorporada tiene una superficie reactiva que absorbe nutrientes, en algunos casos hasta tres veces más que la arcilla (Fried y Broeshart, 1967).

Los organismos que fijan nitrógeno pueden ser simbióticos o no simbióticos. Las bacterias simbióticas, como *Rhizobium*, que se asocia con las leguminosas, parecen ser más importantes que los organismos no simbióticos. Se han hecho estimaciones de la cantidad de nitrógeno fijado por las bacterias asociadas con leguminosas y las cifras obtenidas varían alrededor de 100-150 kg/ha/año de N (Hensell y Norris, 1962).

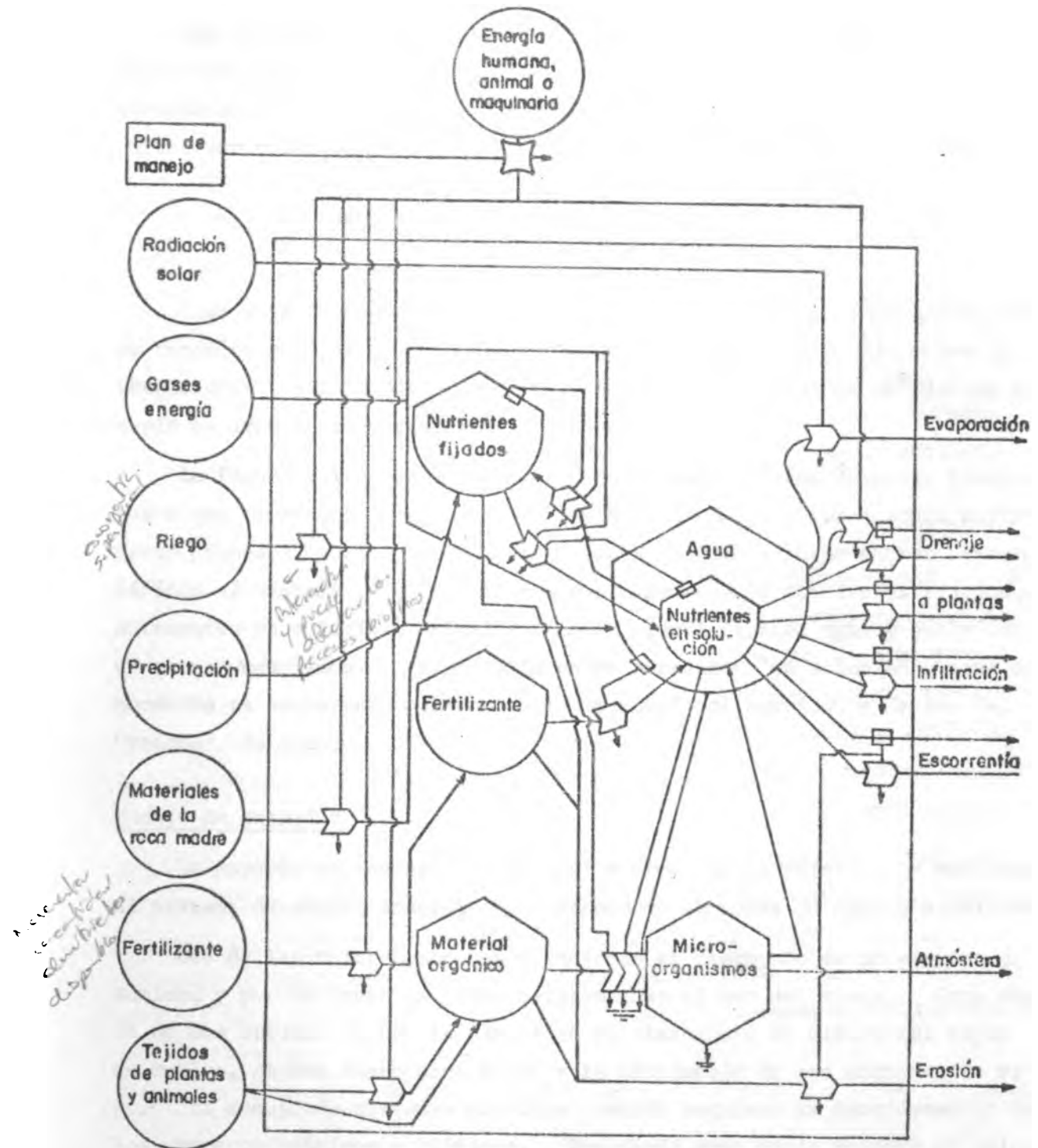


Figura 7.1 El flujo de materiales y energía en un sistema de suelos que funciona como un subsistema de un agroecosistema. Se ha asumido que los componentes principales del subsistema son nutrientes fijados, nutrientes sin solución, agua almacenada, material orgánico, micro-organismos y fertilizante (cuando es aplicado).

Las bacterias como *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Clostridium* viven en el suelo sin tener asociación simbiótica con las plantas. No hay buenas estimaciones de la cantidad de nitrógeno fijado por estos organismos pero parece ser relativamente bajo en relación con las bacterias simbióticas.

MANEJO DE UN SISTEMA DE SUELO

Como se dijo antes, la estructura del suelo influye directamente en su función, y a largo plazo, la función puede tener influencia sobre la estructura. Para poder diseñar la estrategia de manejo de un sistema de suelo es importante entender estas relaciones.

La Figura 7.1 es un diagrama que describe, en forma general, los procesos que ocurren dentro de un sistema de suelo, las interacciones entre estos procesos, y los puntos donde la energía humana puede entrar para modificar el sistema. El modelo incluye almacenes de nutrientes fijados, nutrientes en solución, materia orgánica, fertilizante, agua y poblaciones de micro-organismos. La relación entre nutrientes en solución y agua almacenada se representa colocando el "tanque" de nutrientes dentro del "tanque" de agua.

Manejo de entradas

La mayoría de las actividades del hombre con el objetivo de modificar el sistema de suelo, involucran el manejo de entradas de agua y nutrientes.

Una de las mejores maneras de mejorar el desempeño de un sistema de suelos, y por lo tanto un agroecosistema, es el uso del riego. Gran parte de los estudios sobre la capacidad de almacenaje de diferentes tipos de suelos, se han hecho para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego. El manejo de sistemas de riego también requiere la consideración de los procesos químicos y bióticos. Demasiada agua puede reducir el oxígeno del suelo y perjudicar los organismos del sistema. Al bajar y subir el nivel del agua la concentración de sales en un horizonte, puede perjudicar el potencial de todo el sistema de suelo. Los aspectos económicos son obviamente muy importantes en el manejo de sistemas de riego.

El manejo físico del suelo por medio del arado, tiene el objetivo di

recto de trasladar el material de un ambiente donde no está liberando muchos nutrientes para las plantas, a un ambiente (la superficie) donde puede aportarlos. Los materiales descompuestos de la roca madre son de esta manera movidos e incorporados al suelo de la superficie. El arado también influye sobre la erosión y la compactación, y por lo tanto, afecta el desarrollo de micro-organismos.

El uso de abono verde cuyo objetivo es aumentar la materia orgánica, es otro tipo de manejo que incrementa las entradas al sistema. Usar abono verde requiere información sobre la composición del material y su tasa de descomposición cuando es colocado sobre la superficie, o incorporado. También es necesario considerar el costo de diferentes formas de aplicar el material en relación con las ventajas de éste como abono, y como superficie de absorción de nutrientes.

Tal vez la práctica que más viene a la mente al hablar de manejo de suelos es el uso de fertilizante. El objetivo es, obviamente, incrementar directamente la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. El fertilizante es colocado de tal manera que si existe humedad, los nutrientes entren directamente en solución. En los últimos años se ha hecho investigación en fertilizantes con solubilidad regulada. Estos productos liberan nutrientes a la solución gradualmente, durante cierto período de tiempo.

Otra práctica de mucha importancia en el manejo de suelos es el uso de enmiendas químicas para contrarrestar condiciones desfavorables para las plantas y cultivos. Las más comunes son: encalado, para disminuir la acidez del suelo y aplicación de yeso, para contrarrestar la alcalinidad y salinidad del mismo.

El propósito del encalado es aumentar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. Esto se logra directa e indirectamente. Directamente, por la adición de calcio y magnesio a la solución del suelo, e indirectamente, por el cambio en la concentración y actividad de los iones de hidrógeno, lo que a su vez influye en propiedades físico-químicas importantes de los coloides del suelo, y en la solubilidad y disponibilidad de otros nutrimentos. También el ión hidrógeno en exceso puede dañar las raíces de las plantas.

Las aplicaciones de yeso van acompañadas del drenaje adecuado (manejo de salidas), ya que el exceso de sales debe ser eliminado para mantener un medio apto para el crecimiento de las plantas.

Manejo de salidas

Como el suelo es un sistema dinámico, en algunos casos es posible manejarlo modificando las salidas de agua, nutrientes y suelo.

El agua sale del sistema de suelos por evaporación, evapotranspiración de plantas, infiltración, y escorrentía. Estos procesos pueden disminuirse o aumentarse. Para disminuir la pérdida de agua por evaporación y evapotranspiración, es posible modificar las plantas (cultivos y maleza) que cubren el suelo, o cubrir la superficie con "mulch". La escorrentía puede ser modificada con terrazas, arando en curvas a nivel (manejo físico) o con la siembra de barreras vivas (manejo biótico). Para incrementar la salida de agua en lugares donde hay problemas de inundación, es posible modificar el drenaje del suelo, ya sea excavando zanjas o tomando alguna otra medida.

Al afectar la salida del agua, también se está modificando la salida de nutrientes en solución, y la salida del suelo mismo. El manejo de las plantas para modificar la escorrentía también modifica estas salidas. La salida de nutrientes puede ser modificada con la siembra de plantas que los exigen en mucha, o en muy poca cantidad. Generalmente, la meta es disminuir estas salidas, pero en los casos en que existe un nivel tóxico de algún elemento, se puede manejar la vegetación de modo de incrementar su salida. Por ejemplo, en lugares en donde se ha sembrado banano por muchos años, a veces hay problemas con toxicidad de cobre. Una manera de sacar el cobre es sembrando y cosechando gramíneas por unos años y extrayendo el cobre con las cosechas.

Interacción de estrategias

Los diferentes procesos que ocurren dentro de un sistema de suelos se interactúan, por lo tanto, es peligroso diseñar estrategias de manejo sin considerar el suelo como un sistema total. Por ejemplo, el riego puede satisfacer el objetivo de más agua, pero afectar negativamente los procesos bióticos. Es necesario considerar la estructura general del sistema

y los procesos químicos, bióticos e hídricos como un conjunto, para poder diseñar una estrategia general de manejo. Los objetivos, en términos de requerimiento total y distribución cronológica de nutriente y agua, tienen que ser definidos en base al entendimiento de los subsistemas de cultivos y malezas. La estructura y función de estos subsistemas se describen en los próximos dos capítulos.

RESUMEN

Un sistema de suelos es un arreglo de componentes físicos y bióticos que funciona en base a la interacción de procesos químicos, bióticos e hídricos. Los componentes tienen un arreglo espacial (perfil) y uno cronológico (génesis, desempeño a corto plazo). Usando la información que se desprende del perfil, se puede aplicar el método de Mineral Indicador para estudiar el desarrollo geológico del suelo. Las características climatológicas y las características físicas de un suelo pueden servir para calcular el balance hídrico. Las características químicas y bióticas interactúan con los procesos hídricos para formar un conjunto que afecta la disponibilidad de nutrientes y de agua para los cultivos. A partir de este conjunto se pueden diseñar diferentes estrategias de manejo.

Los puntos claves de este resumen de conceptos asociados con sistemas de suelos, se pueden resumir contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los componentes de un sistema de suelos?
2. ¿En qué sentido la descripción de un perfil es, al mismo tiempo, la descripción del arreglo espacial y del cronológico?
3. ¿Cómo puede el desarrollo de un suelo afectar su estructura?
4. ¿Cómo funciona el método de Mineral Índice para describir la génesis del suelo?
5. ¿Cuáles son las diferentes entradas y salidas de agua de un sistema de suelos?
6. ¿Qué factores ambientales influyen sobre un balance hídrico?
7. ¿Qué tipos de micro-organismos aportan más N a las plantas, los simbióticos o los no simbióticos?

8. ¿Qué importancia tiene el material orgánico como superficie reactiva para fijar nutrientes?
9. Dé ejemplos de manejo de suelo con el objetivo de: 1) aumentar las entradas 2) disminuirlas
10. Dé ejemplos de manejo de suelo con el objetivo de: 1) aumentar las salidas 2) disminuirlas

LITERATURA CITADA

1. BLANNEY, H. F. 1955. Climate as an index of irrigation needs. In Water, the yearbook of agriculture. Washington, D. C. The United States Printing Office.
2. BUOL, S. W., HOLE, F. D. and MC CRACKEN, R. J. 1973. Soil genesis and classification. The Iowa State University Press. Ames, Iowa. 360 p.
3. FRIED, M. and BROESHART, H. 1967. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. Academic Press. New York. 358 p.
4. HENZELL, E. F. and NORRIS, D. O. 1962. Process by which nitrogen is added to soil/plant system. In A review of Nitrogen in the tropics with particular reference to pastures. A Symposium-Commonwealth Agricultural Bureaux. Australia. pp 1-18.

CAPITULO 8: EL SUBSISTEMA DE CULTIVOS

Miguel Holle^{1/}

El subsistema cultivos es la unidad que recibe directamente mayor atención del agricultor entre los diferentes subsistemas de un agroecosistema de cultivos. El agricultor realiza actividades dirigidas a los suelos, malezas, insectos y enfermedades pero obviamente su interés principal y la base para sus decisiones es la apariencia y el desempeño de los cultivos.

Un sistema de cultivos es un arreglo espacial y cronológico de poblaciones de cultivos que interaccionan y actúan como una unidad. Esta definición no incluye límites espaciales y cronológicos del sistema. Entonces la pregunta muy práctica en el estudio de un sistema de cultivos, es: ¿Cuáles cultivos son componentes del sistema de cultivos que se espera estudiar y cuáles son esos límites?

Los límites espaciales de un sistema de cultivos son relativamente fáciles de definir. Generalmente, el criterio para definir los límites es la existencia o no existencia de competencia dentro del terreno de cultivo en el espacio. Las poblaciones de cultivos que compiten son componentes del mismo sistema y por definición, competencia es una forma de interacción. Los cultivos que no compiten no son componentes del mismo sistema (por ejemplo, dos grupos de cultivos sembrados en dos parcelas separadas).

Los límites cronológicos de un sistema de cultivo no son tan fáciles de definir. En un sentido más amplio, todos los cultivos sembrados en secuencias en una misma parcela, son componentes del mismo sistema porque existe algún nivel de interacción entre los cultivos aunque pasen 50 años entre el primer cultivo y el último. El primer cultivo tiene un efecto residual sobre el segundo, el segundo sobre el tercero, y así sucesivamente hasta el último cultivo de la secuencia. Para propósitos prácticos es necesario fijar límites cronológicos a un sistema de cultivos que sean más restringidos. Dos criterios que deben considerarse para fijar los límites son la unidad que maneja el agricultor y los niveles de interacción biótica que ocurren dentro del conjunto de cultivos.

Una guía práctica que incluye estos dos conceptos es la repetición de

^{1/}Coautor, Ph.D., Horticultor del Programa de Cultivos Anuales del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

subconjuntos de cultivos. Si un sistema de cultivos incluye la siembra consecutiva de un cultivo, por ejemplo: maíz-maíz-maíz, los límites cronológicos del sistema son el tiempo de una repetición (de la siembra de un maíz hasta la siembra de otro). Si el sistema es maíz-frijol-maíz-frijol, los límites son el tiempo entre la primera y segunda siembra de maíz o de frijol. Se notará que el sistema puede ser conceptualizado como una rotación maíz-frijol, o una rotación frijol-maíz; todo depende de dónde es más práctico fijar el límite. En zonas de temporal, generalmente es más práctico fijar los límites utilizando el período entre épocas secas (o período de barbecho). Esto se denomina comúnmente año o período agrícola.

ESTRUCTURA

Al discutir la estructura de los diferentes subsistemas del agroecosistema, en el Capítulo 6 se menciona que la estructura del sistema de cultivos está relacionada principalmente con las características de sus componentes (los cultivos) y el arreglo de estos cultivos en tiempo (secuencias, rotaciones, etc.) y espacio (solos, en asociación, etc.). La contribución de estos factores a la estructura se describe aquí en más detalle.

Componentes

Los componentes del sistema de cultivos son las poblaciones de cultivos que interactúan para formar el sistema. La estructura del sistema total es afectada por la población total, el número de especies y su diversidad. Ciertas características de los cultivos como altura de la planta, volumen de raíces, área foliar, son ejemplos de las características estructurales que influyen en la población óptima total y el arreglo espacial y cronológico del sistema. El énfasis dado al fitomejoramiento en agronomía en los últimos años, es un resultado del reconocimiento de la importancia de la estructura de la planta en relación a su cultivo. Por ejemplo, se ha enfatizado la selección de cultivares enanos o de baja altura que pueden ser sembrados en altas densidades y asimilar gran cantidad de recursos del medio ambiente natural como radiación o de insumos como nutrientes.

La población total afecta también la estructura del sistema. Esta población puede ser una especie o incluir varias. El concepto de intensidad (número total de plantas) y diversidad (número de especies), se deben separar pues ambos afectan la estructura de un sistema de cultivos.

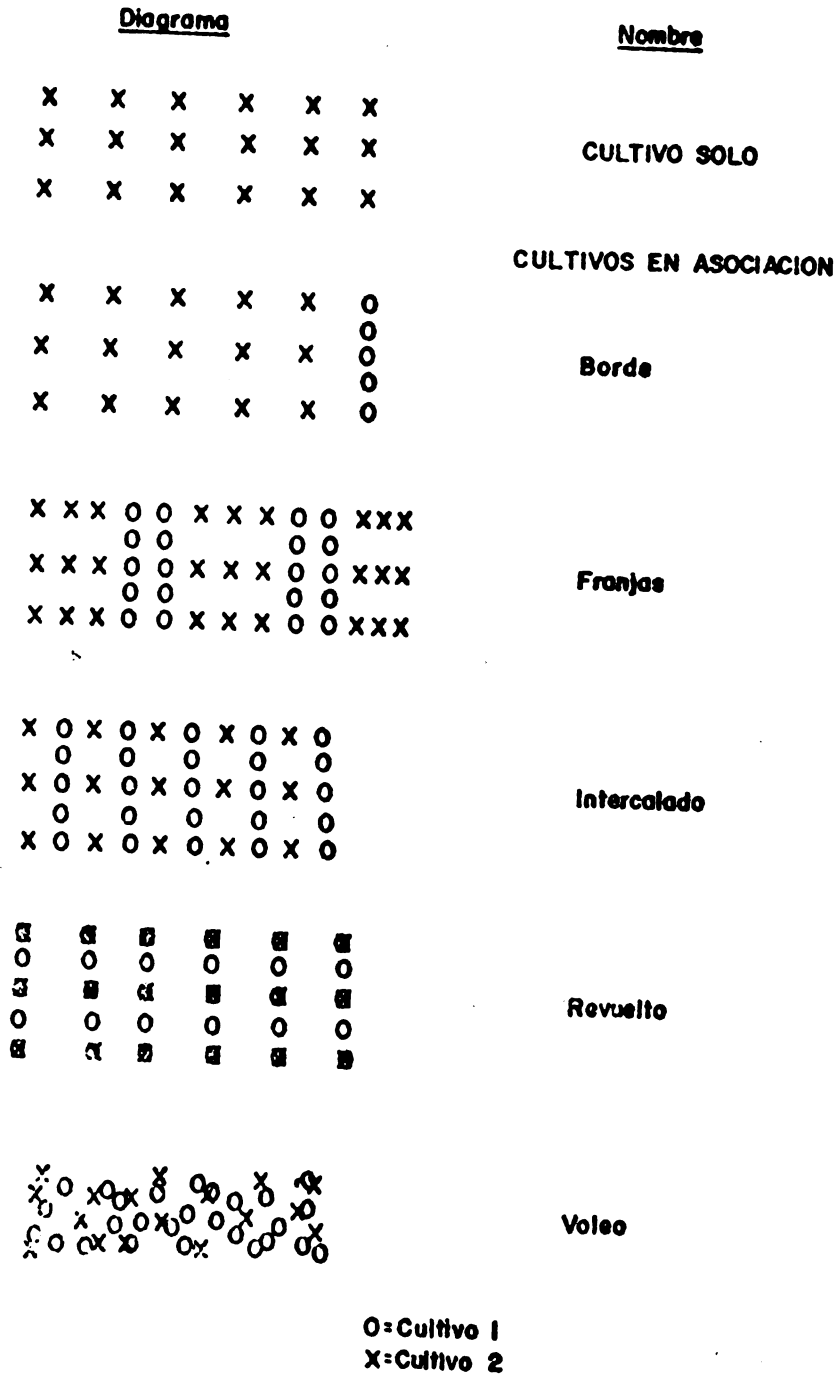
Arreglos espaciales

Los arreglos espaciales son distribuciones de poblaciones de especies agrícolas en el espacio, es decir, en un terreno de cultivo/producción. Un arreglo espacial puede incluir una especie de cultivo (por ejemplo, maíz sembrado solo) o dos o más especies (por ejemplo, maíz y sorgo sembrados juntos en la misma parcela). Los investigadores que trabajan con estas unidades de más de un cultivo no se han puesto de acuerdo en la terminología o en la clasificación de estas unidades. Para los propósitos de este libro, se referirá a un arreglo espacial de cultivos con una especie como "un cultivo solo"; a un arreglo con dos o más especies se referirá como "una asociación de cultivos".

Al sembrar dos o más especies de cultivos en la misma parcela se producen diferentes grados de competencia inter-específica (competencia entre cultivos de diferentes especies). Los diferentes tipos de arreglos espaciales que pueden darse entre los cultivos se esquematizan en la Figura 8.1.

En orden de menor a mayor interacción entre cultivos es posible identificar los siguientes tipos de asociaciones:

1. Bordes: un cultivo sembrado como borde a una parcela de otros cultivos; un ejemplo muy común es sembrar yuca alrededor de una parcela de maíz, frijol u otro.
2. Franjas: dos o más surcos de un cultivo son sembrados entre dos o más surcos de otros cultivos; un ejemplo es la siembra de cuatro surcos de arroz entre surcos dobles de maíz (CATIE, 1978).
3. Intercalado: uno o más surcos de un cultivo se siembra en la calle entre los surcos de otro cultivo; o en el mismo surco que el otro, pero no en la misma postura.



O=Cultivo 1
X=Cultivo 2

Figura 8.1 Ejemplos de diferentes arreglos espaciales de dos poblaciones de cultivos formados por diferentes distribuciones de los cultivos en un terreno.

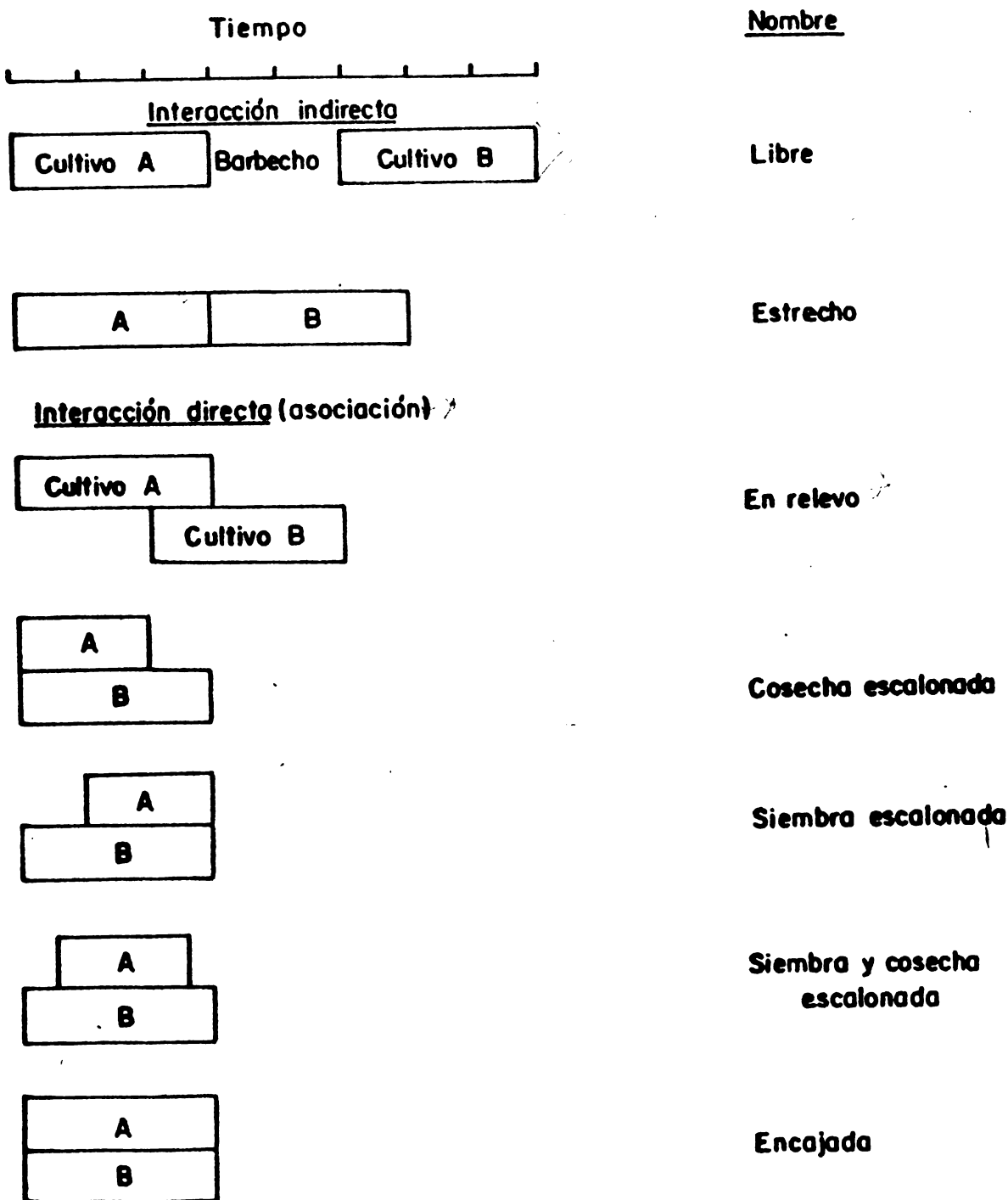


Figura 8.2 Ejemplos de diferentes arreglos cronológicos de dos poblaciones de cultivos formados por diferentes distribuciones de los cultivos en el tiempo.

4. Revuelto: dos cultivos sembrados en la misma postura; un ejemplo es el de maíz y frijol del Altiplano de Guatemala, donde el maíz y el frijol (y a veces habas), se siembran con 3-5 granos de maíz y 2-3 granos de frijol en el mismo hueco.
5. Voleo: dos cultivos sembrados juntos, con uno o ambos al azar, sin una distribución espacial ordenada. Ejemplos comunes son las siembras de dos especies de pastos.

Arreglos cronológicos

Los diferentes tipos de arreglos cronológicos que pueden darse entre dos cultivos dependen del momento de la siembra y del grado de traslape entre los cultivos. Es posible producir diferentes niveles de interacción entre los cultivos y como en el caso de los arreglos espaciales, no hay concordancia entre los investigadores sobre la terminología para describir los arreglos cronológicos. No existe duda de que hay diferentes tipos de interacción entre cultivos en el tiempo; los nombres dados a estos fenómenos no son tan importantes como el reconocimiento de estos tipos de estructura. Se puede distinguir entre dos tipos importantes de interacción cronológica: (1) indirecta, cuando los cultivos no compiten directamente y el efecto de un cultivo sobre otro es por intermedio de otro subsistema del agroecosistema (por ejemplo, efectos residuales en el suelo); o (2) directa, cuando los cultivos asociados en el espacio. Las diferentes subdivisiones de estos dos tipos de arreglos cronológicos se definen en el siguiente esquema (y en la Figura 8.2).

1. Interacción indirecta:
 - a) libre: entre la cosecha de un cultivo y la siembra de otro hay una época de barbecho.
 - b) estrecha: un cultivo es sembrado inmediatamente después de la cosecha de otro, sin dejar crecer la vegetación natural y usualmente dentro del mismo año agrícola.
2. Interacción directa:
 - a) en relevo: un cultivo es sembrado entre la siembra y la cosecha de otro, y cosechado después de la cosecha del pri

- primero.
- b) cosecha escalonada: dos cultivos son sembrados al mismo tiempo, pero no cosechados al mismo tiempo.
 - c) siembra escalonada: dos cultivos cosechados al mismo tiempo, pero unos sembrados en otro tiempo que el otro.
 - d) siembra y cosecha escalonada: un cultivo es sembrado después de la siembra y cosechado antes de la cosecha del otro cultivo.
 - e) encajado: dos cultivos son sembrados y cosechados al mismo tiempo.

Caracterización de arreglos de cultivos

Hace falta una clasificación de sistemas de cultivos que sea aceptada por los investigadores que trabajan con esta unidad. Han sido propuestos algunos esquemas de clasificación, como por ejemplo, Beets (1978), ha combinado conceptos de arreglo espacial y arreglo cronológico para elaborar la clasificación presentada en la Figura 8.3. Su esquema también incluye características botánicas de los cultivos (anual o perenne), arreglo horizontal (número de estrata), y de función (rompe vientos).

Otra manera de clasificar los sistemas de cultivos es caracterizar solamente la estructura de los sistemas y no incluir aspectos de función. Como se ha señalado en las definiciones de arreglos espaciales y de arreglos cronológicos, existen subconjuntos de cultivos dentro de un arreglo, que compiten directamente en el espacio por agua, radiación y nutrientes. Estas unidades tienen interacción con los otros cultivos que forman el arreglo en el tiempo, a causa de efectos residuales del suelo, modificación de las malezas, de los insectos o enfermedades. Estas unidades de uno o más cultivos pueden ser denominadas "eslabones", y un arreglo total puede ser visualizado como una cadena de eslabones. Esta "caracterización encadenada" se explica por medio de ejemplos en la Figura 8.4.

Cada eslabón es un cultivo o conjunto de cultivos que compiten directamente por agua, radiación y nutrientes. Los límites cronológicos del eslabón se dan cuando no hay interacción directa y sí hay interacción indirecta. Cuando un eslabón tiene más de un cultivo, los cultivos de la

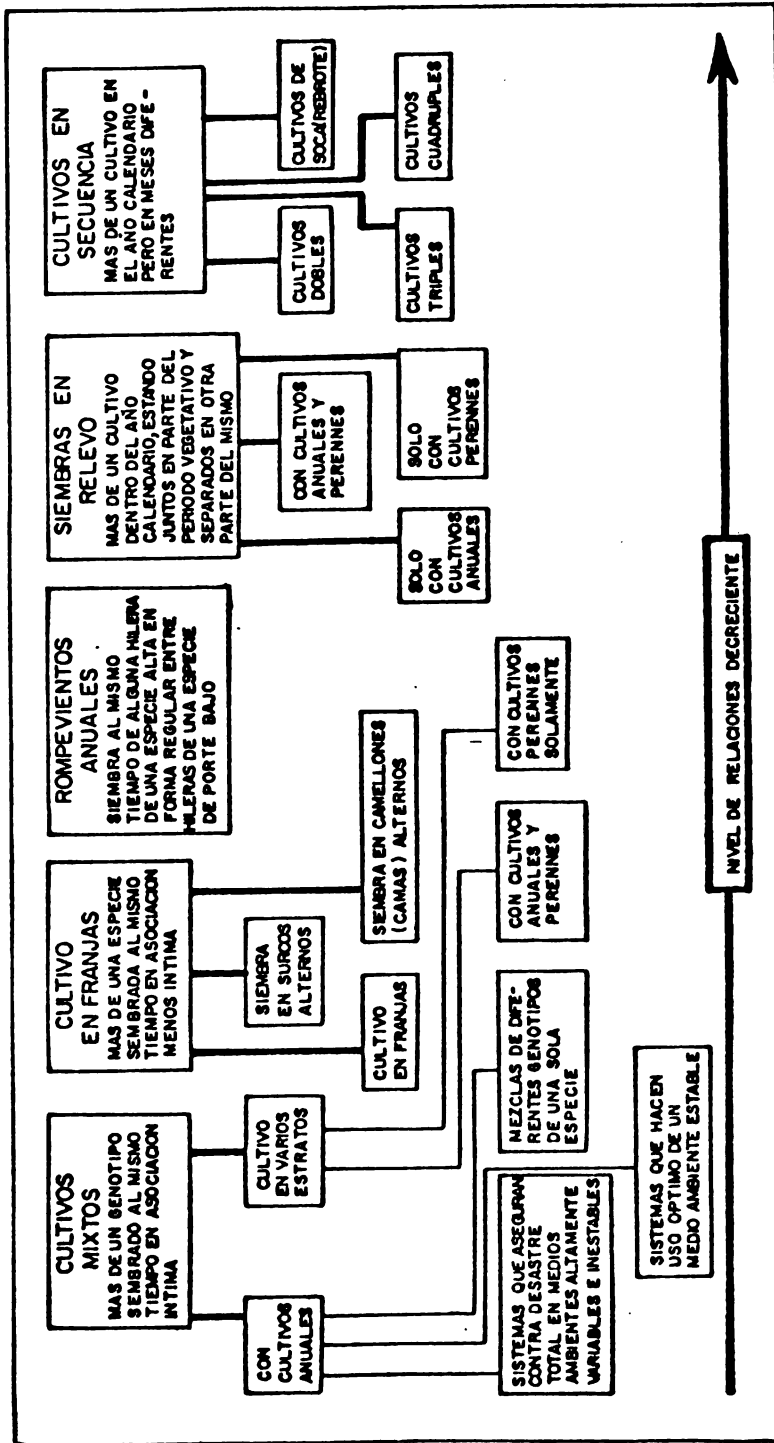
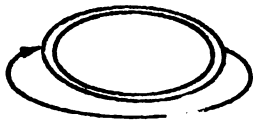
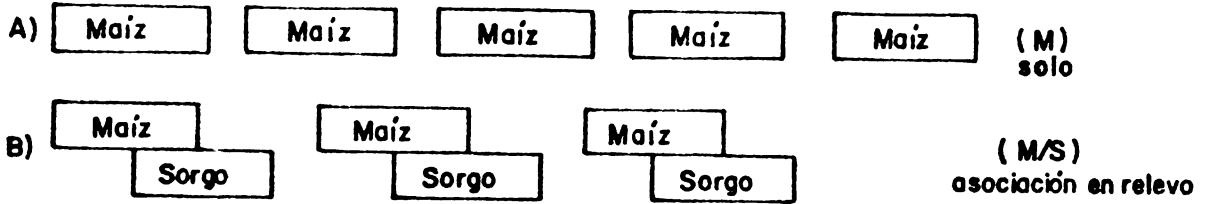


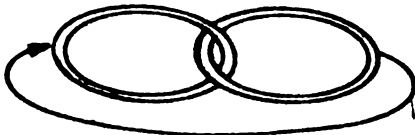
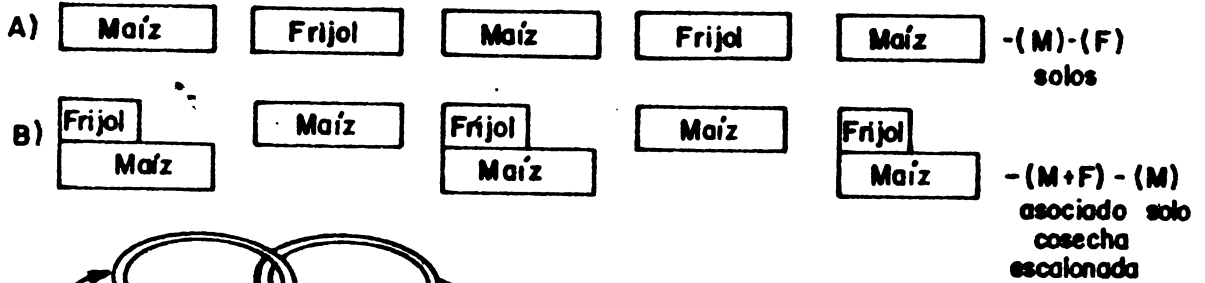
Figura 8.3 Una clasificación de sistemas de cultivos elaborado por Beets (1978) con relaciones decrecientes entre especies.

CARACTERIZACION DE ARREGLOS DE CULTIVOS

I Cadenas con un eslabón



II Cadenas con dos eslabones



III Cadenas con tres eslabones

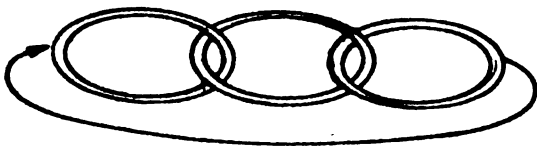
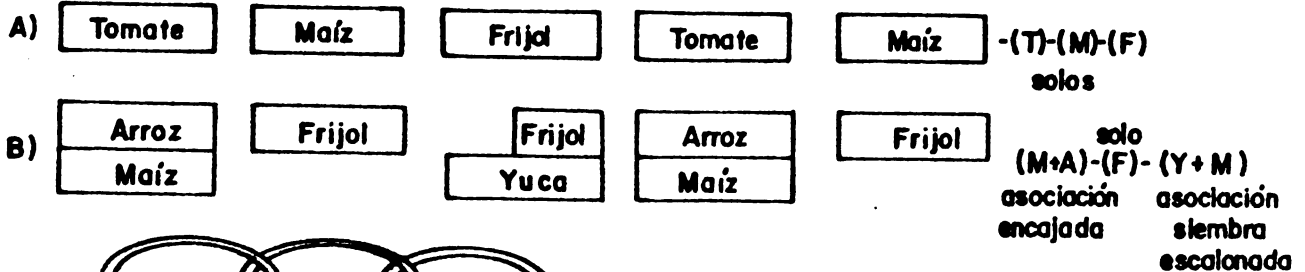


Figura 8.4 Sistemas de cultivos conceptualizados como cadenas con eslabones formados por cultivos solos o cultivos en asociación, y con el número de eslabones en la cadena determinado por la repetición de una idéntica secuencia de eslabones.

asociación pueden tener interacción espacial de tipo borde, franjas, intercalado, revuelto o voleo; e interacción cronológica de tipo en relevo, siembra y/o cosecha escalonada o encajado (ver Figuras 8.1 y 8.2).

Los diferentes tipos de eslabones pueden ser combinados para formar "cadenas". La interacción de eslabones puede ser definida como "eslabonamiento". Hay dos tipos de eslabonamiento: (1) libre: cuando hay barbecho entre eslabones; (2) estrecho: cuando se siembra un eslabón después de otro sin dejar crecer la vegetación natural.

Las cadenas también pueden ser diferenciadas usando como criterio el número de eslabones y los diversos tipos de éstos. Un arreglo puede tener sólo un eslabón, como la siembra de banano, o dos o más eslabones. Los eslabones pueden ser idénticos, formando secuencias; de dos tipos, formando rotaciones; o de tres o más tipos, formando sucesiones. El Cuadro 8.1 resume los criterios de tipo de cadena, diversidad de eslabones, tipo de eslabonamiento y tipo de eslabones asociados con la caracterización encadenada de un arreglo de cultivos.

Siempre debe recordarse que las cadenas de cultivos no son lineales, sino que forman ciclos. En el desempeño de un sistema de cultivos en el tiempo, hay una repetición continua del ciclo cronológico. Al caracterizar un arreglo como una cadena de dos eslabones, se está identificando una unidad (que contiene dos subconjuntos de cultivos) que se repite constantemente en el tiempo. El plan de manejo de un agroecosistema (ver Capítulo 6) que es también un ciclo continuo, debe incluir todas las actividades necesarias para que funcione el sistema de cultivos.

FUNCION

Un arreglo de cultivos utiliza entradas de nutrientes, agua y radiación y por medio de procesos fisiológicos produce biomasa vegetal. Las poblaciones de malezas compiten por estas entradas; los herbívoros, las enfermedades y el hombre (transforman o) consumen parte de la biomasa que se produce. El arreglo de cultivos empieza a funcionar como un sistema desde que procesan entradas y producen salidas. La Figura 8.5 es un resumen conceptual de los flujos asociados con el desempeño de un sistema de cultivos.

Cuadro 8.1 Caracterización de arreglos de cultivos como cadenas con diferentes tipos de eslabonamiento y tipos de eslabones

- I** Tipo de cadena
 - A. Número de eslabones (1, 2, 3....N)
 - B. Homogeneidad de eslabones
 - 1. Secuencia: todos idénticos
 - 2. Rotación: dos tipos de eslabones
 - C. Número de especies
 - 1. Uno: monocultura
 - 2. Dos o más: policultura
 - 3. Sucesión: tres o más tipos de eslabones

- II** Tipo de eslabonamiento
 - A. Libre, con barbecho entre eslabones
 - B. Estrecho, siembra inmediatamente después de la cosecha (sin barbecho)

- III** Tipo de eslabones
 - A. Número de especies (1, 2, 3....N)
 - B. Número de cultivos (1, 2, 3....N)
 - C. Arreglo espacial
 - 1. Cultivo solo
 - 2. Asociación de cultivos
 - a. Borde
 - b. Franjas
 - c. Intersurcado
 - d. Revuelto
 - e. Voleo
 - D. Arreglo cronológico
 - 1. Relevo
 - 2. Cosecha escalonada
 - 3. Siembra escalonada
 - 4. Siembra y cosecha escalonada
 - 5. Encajonado

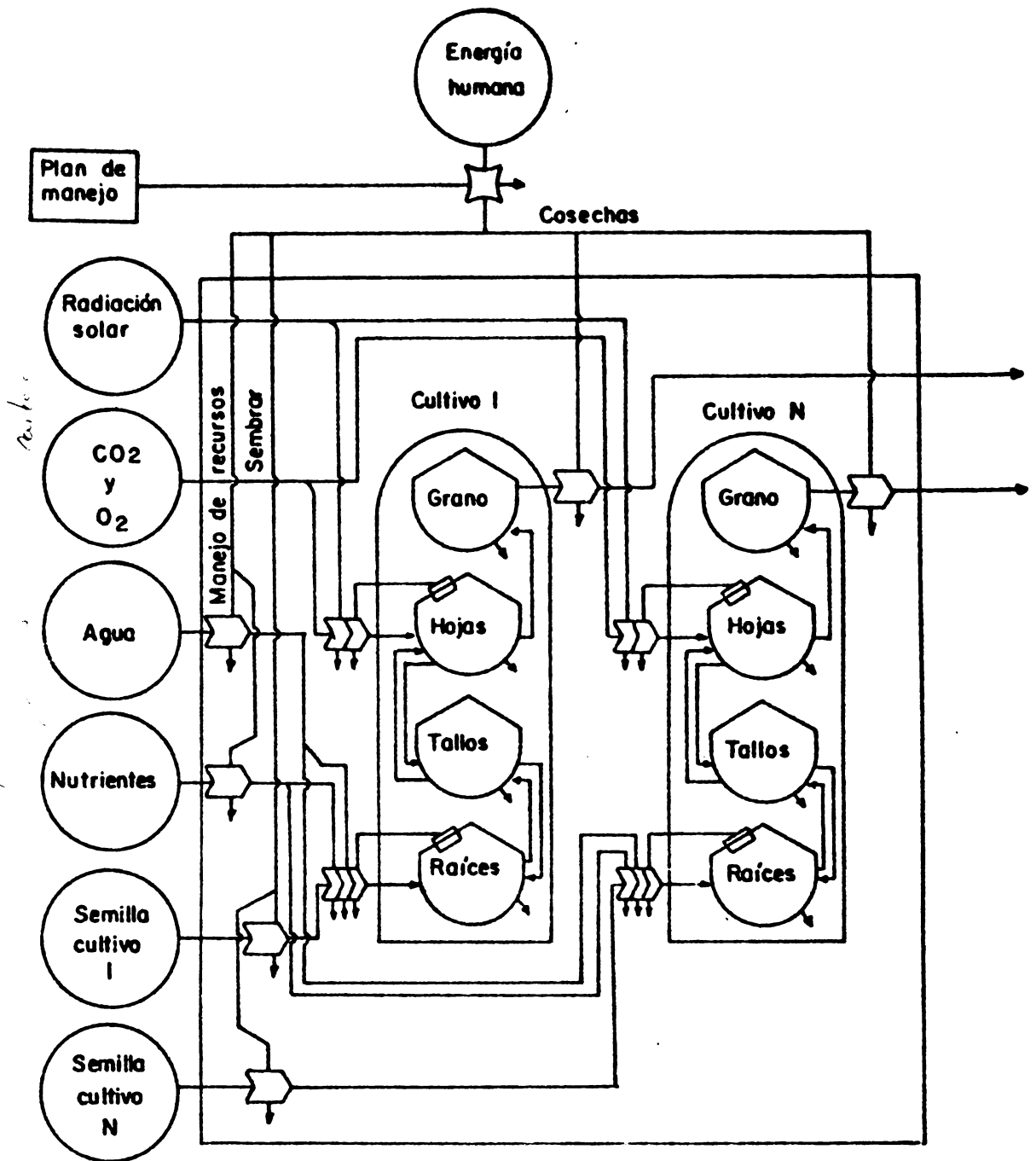


Figura 8.5 El flujo de materiales y energía en un sistema de cultivos que funciona como un subsistema de un agroecosistema.

Entradas

El agua y los nutrientes son dos tipos de entradas que se dan en un sistema de cultivos por medio del suelo. Obviamente no toda el agua o los nutrientes que salen del sistema suelo son entradas al sistema de cultivos (ver Capítulo 7). Estos flujos también van al sistema de malezas y se pierde una cantidad de agua del agroecosistema por medio del escurrimiento y evaporación (Capítulo 9).

La cantidad de agua usada por un sistema de cultivo está muy relacionada con la evapotranspiración. Aunque hay diferencias entre las especies de cultivos y su manejo, generalmente el flujo de agua que entra al sistema de cultivos es de alrededor de 100 mm/mes. Obviamente, cuando en el suelo no existe suficiente agua para satisfacer la demanda del sistema de cultivos, el flujo va a ser menor y el desempeño del sistema resultará afectado.

Los nutrientes del suelo que constituyen entradas al sistema de cultivos incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes. Generalmente un cultivo contiene 1-4% de nitrógeno, 0.1-0.4% de fósforo y 0.5-4% de potasio (FAO, 1970). La cantidad de N, P, K que entra a un sistema de cultivos dependerá de la biomasa total producida por éste. Debe recordarse que el sistema puede perder biomasa a causa de insectos, caída de hojas y otros, y por lo tanto, el análisis de la biomasa de un sistema hecho en un momento del tiempo, no es necesariamente un índice de los nutrientes consumidos por el sistema si es que se ha perdido parte significativa de esa biomasa producida.

El carbón entra al sistema por medio del aire en el proceso de fotosíntesis y el H del agua (del suelo) se unen para formar azúcar usando la energía de la radiación solar. Los cultivos combinan los productos de fotosíntesis con el oxígeno (respiración) y utilizan la energía liberada para producir otros productos (como proteínas y otros) y formar tejidos, crecer y reproducirse. Es obvio que la radiación solar es una entrada extremadamente importante para el sistema de cultivos, dado que el proceso de fotosíntesis es la base energética de la función del sistema. Generalmente un sistema de cultivos puede usar entre 0.5 y 3% de la energía disponible.

Salidas

Las salidas de un sistema de cultivos son la biomasa de los cultivos. No se debe confundir lo que es salida del agroecosistema con las salidas del sistema de cultivos. En muchos casos, toda la biomasa de los cultivos sale del sistema de cultivos, pero solamente un porcentaje de esta biomasa es exportado del agroecosistema. Gran parte de la biomasa entra al sistema del suelo (recirculamiento) y al sistema de insectos y enfermedades.

Las salidas de un sistema de cultivos con valor agrícola a veces pueden representar un porcentaje pequeño de la biomasa producida, pero esta proporción es, para el agricultor, el objetivo básico de todas sus actividades de manejo. Estas salidas son las que dan propósito al sistema de cultivos y el propósito puede incluir: (1) demanda nutricional de la familia (2) alimentación de la familia e ingreso del mercado por la venta del producto, (3) ingreso económico sin alimentación de la familia, (4) usos específicos como medicina, artesanía familiar, etc.

Relación entre entradas y salidas

Uno de los fenómenos más estudiados en agronomía es la relación entre las entradas y las salidas usando cultivo individual como unidad. Los experimentos conducidos con este objetivo generalmente incluyen varios niveles de una entrada y la medición de una salida (generalmente, rendimiento de un cultivo). El experimento es analizado usando un modelo estadístico de regresión donde la salida (S) es definida como una función de la entrada (E).

$$S = f(E)$$

Un experimento de este tipo es, por ejemplo, la aplicación de varios niveles de nutrientes (N, P, K, etc.) y la evaluación del rendimiento del sistema. Otro, es la aplicación de varios niveles de riego para calcular el rendimiento como función de la entrada de agua.

También es posible evaluar la salida del sistema de cultivo como función de dos o más entradas.

$$S = f(E_1 + E_2 + E_1 \times E_2)$$

Por ejemplo, el rendimiento de un sistema con maíz y frijol pudiera ser calculado como una función del nitrógeno y el agua que entra al sistema. Obviamente, la interacción entre las dos entradas también tiene que ser considerada.

RELACION ENTRE ESTRUCTURA Y FUNCION

Para empezar a entender la relación entre la estructura de un sistema de cultivos y su función, es necesario definir algunos índices que describen el desempeño (la función) del sistema de cultivos.

Los índices comúnmente usados para evaluar sistemas de cultivos son:

1. Producción total: biomasa total de cultivo(s) y/o biomasa de valor agronómico (rendimiento).
2. Ingreso bruto: la suma del valor de los productos generados por el sistema.
3. Energía acumulada en la biomasa total o en la biomasa asimilable por el hombre.
4. Proteína acumulada que es asimilable por el hombre.
5. Eficiencia energética: porcentaje de la energía disponible (como radiación solar) que es fijada en la biomasa total de los cultivos.
6. Índice de energía cosechada: porcentaje de la energía fijada en la biomasa total que es asimilable por el hombre.
7. Uso equivalente de tierra (Soria et al. 1975): índice que se obtiene comparando la superficie que se usó con la que se requeriría si se sembraran los componentes del sistema en monocultivo, en parcelas separadas, en vez de como componentes de un sistema con más de un cultivo (ver Cuadro 8.2).
8. Índice de variabilidad relativa (Hart y Holle, 1979): índice que compara la varianza en el nivel de las salidas de un sistema con más de un componente, con la varianza en las salidas de sistemas con sólo uno de esos componentes (ver Cuadro 8.2).

Cuadro 8.2 Un ejemplo de cómo calcular UET e IRV usando datos de un experimento de maíz y arroz en Honduras

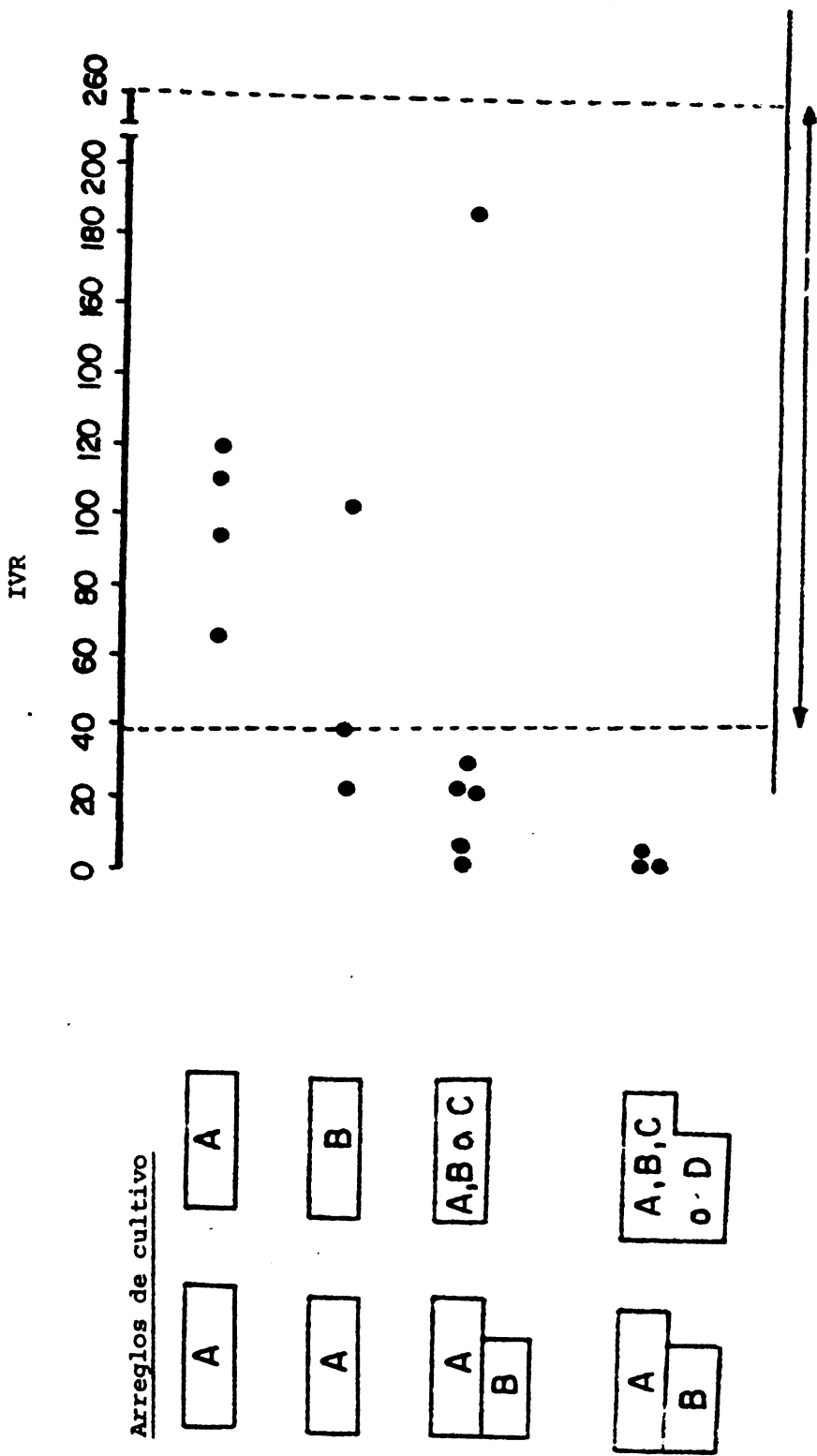
Tratamientos	Rendimiento (Kg/ha)		% de monocultivo		Varianza del sistema	Indices *UET	**IVR
	Maíz	Arroz	Maíz	Arroz			
1. Maíz solo	3492		100%		2.76×10^6	1.0	100%
2. Arroz solo		1732		100%	1.56×10^6	1.0	100%
3. Maíz y arroz intersurcado	2307	448	66%	26%	1.15×10^6	.92	27%
4. Maíz y arroz en franjas	2407	707	69%	41%	2.31×10^6	1.10	53%

*UET = uso equivalente de la tierra

$$= \frac{\text{rendimiento de maíz en sistema con 2 componentes}}{\text{rendimiento de maíz solo}} + \frac{\text{rendimiento de arroz en sistema con 2 componentes}}{\text{rendimiento de arroz solo}}$$

**IVR = Índice de varianza relativa

$$= \frac{\text{varianza del rendimiento total de un sistema}}{\text{varianza de maíz solo} + \text{varianza de arroz solo}}$$



Indices en esta región no significativamente (10%) diferente de 100

Figura 8.6 Un ejemplo de un análisis relacionando la estructura (arreglo) y la función (índice de varianza relativa = IVR) de cuatro tipos de sistemas de cultivos que fueron incluidos en un experimento realizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Vale la pena recordar que en este caso se quiere evaluar el sistema de cultivos y no el agroecosistema. Por ejemplo, un índice como "ingreso neto" donde se restan los gastos incurridos en la producción de un cultivo o conjunto de cultivos del valor del producto producido, es un índice aplicable a nivel de agroecosistema, pero no al del sistema de cultivo, ya que muchos de los gastos, como arar, limpiar, aplicar insecticida, están asociados con otros subsistemas del agroecosistema.

Análisis del subsistema de cultivos con experimentos

Los experimentos para evaluar la relación entre la estructura y la función de un sistema de cultivos siempre incluyen cambios en la estructura (como arreglo espacial, arreglo cronológico, modificación de los componentes o combinaciones de éstos) y la medición de un índice de desempeño. Un experimento de este tipo pudiera ser la siembra de maíz y frijol intersurcado con tres distancias de siembras (arreglos espaciales), y el cálculo del uso equivalente de la tierra (UET) para las tres distancias de siembra.

La Figura 8.6 esquematiza un análisis general de la relación entre tipos de arreglos de cultivos (estructura) y el desempeño de éstos (función) evaluada por medio del índice de variabilidad relativa (IVR). Puede verse cómo al aumentar el nivel de interacción entre los cultivos (sea interacción en el tiempo o en el espacio) hay menos variabilidad en la producción de las salidas de los diferentes sistemas. Se puede suponer que IVR es una medida de riesgo y, por lo tanto, esta relación entre estructura y función pudiera servir como principio tentativo para el diseño de sistemas de cultivos de menos riesgos.

La eficiencia en el uso de los recursos en sistemas con componentes múltiples es la relación entre estructura y función de sistemas de cultivos más estudiada en los últimos años. El interés en sembrar cultivos asociados (arreglos espaciales de tipo voleo, revuelto, franjas, intersurcado y borde) ha sido el resultado de la comprobación de que asociaciones de cultivos casi siempre son más eficientes en el uso de nutrientes, agua y radiación que cultivos sembrados solos. En términos ecológicos hay poca duda respecto a esta ventaja, sin embargo, las restricciones agronómicas, económicas y sociales favorecen en muchos ambientes a los sistemas

de cultivo con sólo una especie.

Simulación

En el Capítulo 2 al discutir el concepto de competencia se presentaron las ecuaciones desarrolladas por Lotka y Volterra en 1926 (Smith, 1974). Como el fenómeno de competencia entre poblaciones para recursos limitados, está muy relacionado con el desempeño de los sistemas de cultivos, entonces, la elaboración de modelos y la simulación de un sistema de cultivos debe partir de la consideración de estas ecuaciones básicas que son muy generales y que en muchos casos es necesario pensar en la elaboración de modelos matemáticos más complicados.

Una ventaja de la simbología de Odum (1971) usada en este libro es que los símbolos pueden ser traducidos directamente a ecuaciones diferenciales y simulados en una computadora. Por ejemplo un símbolo de almacenamiento pasivo significa matemáticamente lo siguiente:

$$dQ/dt = E_{1-N} - K_1 Q - \dots - K_n Q$$

donde:

Q = la cantidad dentro del almacén,

E_{1-N} = los flujos que entran al almacén,

KQ = los flujos que salen del almacén y que son una función de lo que está en el almacén (Q).

El símbolo de Odum para una planta es una combinación de un símbolo de un receptor de energía (fotosíntesis) y un consumidor (respiración). Matemáticamente, la planta puede ser descrita con dos ecuaciones que describen estos dos procesos. La complejidad matemática con que se describe fotosíntesis y respiración dependerá de la precisión requerida del modelo.

La disponibilidad de entradas como un término siempre se incluye, cuando se elaboran las ecuaciones que describen el desempeño de un cultivo. Como esto afecta la disponibilidad de una entrada; las ecuaciones para dos cultivos siempre tienen términos en común, y las ecuaciones pueden ser combinadas para formar una ecuación que describe el sistema como una unidad. La simulación en sí no es tan difícil; la elaboración de la ecuación que describe el desempeño del sistema es lo que cuesta. Cada relación

incluida en una ecuación es una hipótesis. Las constantes en las ecuaciones tienen que ser calculadas en base a la información colectada de los experimentos o de los estudios del sistema real. Un ejemplo de la aplicación de estos conceptos y la simulación de sistemas de cultivos son los estudios realizados por deWit y Goudriaan (1978).

RESUMEN

Un sistema de cultivos es un arreglo espacial y cronológico de cultivos que funciona como una unidad. La estructura del sistema está asociada con las características de los componentes (número, tipo, población, etc.) y el arreglo de los mismos. Un arreglo es una cadena de "eslabones" formada por cultivos que interactúan en el tiempo y en el espacio. Los eslabones interactúan solamente en el tiempo. El arreglo de cultivos funciona como una unidad, procesando entradas y produciendo salidas. La relación entre estas entradas y salidas, y entre la estructura y la función del sistema que puede ser evaluada con experimentos donde los tratamientos son tipos de estructura y mide la función usando diferentes índices de desempeño. Un sistema de cultivos también puede analizarse elaborando un modelo matemático y simulándolo en una computadora.

Los puntos básicos de este capítulo pueden revisarse contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo afecta la estructura de un sistema de cultivos a la estructura de uno de sus componentes?
2. Dé ejemplos de arreglos espaciales de tipo borde, franja, intersurcado, revuelto, voleo.
3. Dé ejemplos de arreglos cronológicos de tipo relevo, siembra escalonada, cosecha escalonada, siembra y cosecha escalonada y encajado.
4. ¿Qué es eslabonamiento?
5. Dé un ejemplo de un arreglo de cultivos con un eslabón; con tres eslabones.
6. ¿Cuál de estos nutrientes N, P o K es encontrado en mayor porcentaje dentro de la biomasa de cultivos?

7. ¿Qué nutrientes entran al sistema de cultivos por medio del aire?
8. El porcentaje de la radiación solar disponible fijado por los cultivos es entre 0-5%, 5-10% ó 10-15%?
9. ¿Cómo se calcula UET?
10. Dé un ejemplo de un experimento basado en una hipótesis relacionando función con una entrada, arreglo cronológico y la interacción entre los dos aspectos.

BIBLIOGRAFIA

1. CATIE. 1978. Informe anual 1977. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
2. BEETS, W. C. 1978. Multiple cropping systems review. Span 21(3): 114-116.
3. FAO. 1970. Fertilizer and their use. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy, Rome.
4. HART, R. D. and HOLLE, M. A relative variability index to evaluate crop systems. CATIE, Turrialba, Costa Rica. (En preparación)
5. ODUM, H. T. 1971. Environment, power and society. New York, Wiley. 331 p.
6. SMITH, J. M. 1974. Models in ecology. London, Cambridge University Press. 146 p.
7. SORIA, J. et al. 1975. Investigación sobre sistemas de producción agrícola para el pequeño agricultor del trópico. Turrialba 25(3):283-293.
8. WIT, C. T. de and GOUDRIAAN, J. 1978. Simulation of ecological processes. New York, Halsted Press. 175 p.

CAPITULO 9: SUBSISTEMA MALEZAS

Myron Shenk^{1/}

El subsistema de malezas es un componente importante en muchos agroecosistemas. Aunque aparentemente debería ser sencillo definir las malezas, no es tan fácil.

Entre las numerosas definiciones de "maleza" existentes, la de "planta fuera de lugar" es una de las más sencillas y adecuadas. Por ejemplo, el pequeño agricultor que tiene un campo sembrado de arroz o de frijol, al encontrar una planta voluntaria de maíz, va a cuidar de ésta para cosecharla, pero la misma planta de maíz encontrada en el campo de arroz de un agricultor tecnificado constituye una maleza.

En el agroecosistema, las plantas que crecen sin ser sembradas por el agricultor tienden a competir con los cultivos sembrados y producen un efecto negativo; pero en algunos casos, la completa eliminación de estas plantas naturales, puede ser peor que dejar una población baja de ellas. El efecto beneficioso de esto puede ser, por ejemplo, disminuir la erosión, o favorecer los insectos beneficiosos (insectos enemigos de los insectos dañinos), o la producción del abono verde que se incorpora durante la preparación del suelo. Ahora bien, si el agricultor está manejando estas plantas para sacar un beneficio, ¿son malezas o son cultivos?

También hay casos en los que una especie que no compite mucho con los cultivos, es manejada, y en algunos casos, hasta sembrada, para reducir la población de otro tipo de malezas. ¿Es esta especie de maleza "beneficiosa" un cultivo o una maleza?

Pero en la mayoría de los casos, el subsistema de malezas compite con el subsistema de cultivos para radiación y nutrientes, y tiene sobre el desempeño de estos un efecto neto que es negativo. Por consiguiente, una maleza puede ser definida, en general, como una planta fuera de lugar.

Un sistema de malezas es una unidad muy compleja. En los últimos años, ha habido mucho interés en prácticas como labranza mínima y otros enfoques que requieren manejo de las malezas en vez de un control completo. Bajo estos enfoques la necesidad de conceptualizar las malezas como un sistema es obvia.

^{1/}Coautor, M.S., Especialista en control de malezas. Proyecto CATIE/OREGON STATE UNIVERSITY, CATIE, Turrialba, Costa Rica

no un sistema es obvia.

ESTRUCTURA

La estructura de un sistema de malezas está asociada con las características botánicas de los diferentes componentes del sistema, (las especies) y el arreglo espacial y cronológico de las poblaciones.

Componentes

Generalmente las especies de malezas se clasifican en dos grandes grupos: con hojas anchas (dicotiledóneas), y gramíneas (monocotiledóneas). Otras características fisionómicas que afectan la estructura del sistema son: hábito de crecimiento (trepador, árbol, etc.), altura, área foliar, volumen y profundidad de raíces, etc.

La población de malezas y la riqueza de especies dentro de esta población tiene un efecto importante sobre la estructura del sistema de malezas. La dinámica de este complejo, obviamente, está muy relacionada con el arreglo espacial y cronológico de las diferentes especies.

Arreglo espacial

La Figura 9.1 esquematiza algunos hábitos de malezas. Estos tipos de arreglos son el resultado de factores genéticos de las especies mismas, competencia intraespecífica (competencia entre organismos de la misma especie), y competencia interespecífica (entre organismos de diferentes especies), con otras malezas.

La competencia interespecífica con los cultivos del agroecosistema también afecta el arreglo espacial de las malezas. El arreglo espacial de los cultivos (ver Capítulo 8) afecta, no solamente la población total y la riqueza de las malezas presentes, sino también el arreglo espacial de las mismas. También el manejo del agricultor (arar, limpiar, etc.), afecta el arreglo espacial de las malezas.

Arreglo cronológico

La distribución de diferentes poblaciones de malezas en el tiempo,

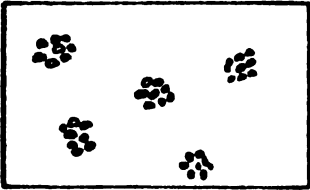
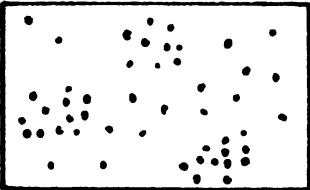
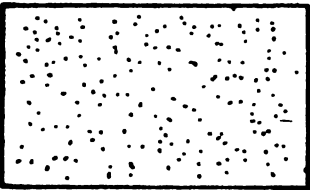
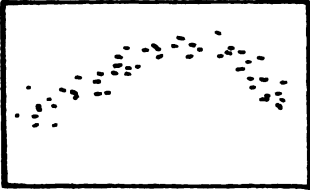
<u>Diagrama</u>	<u>Nombre</u>
	Agrupado
	Concentrado
	Uniforme
	Lineal

Figura 9.1 Ejemplos de diferentes arreglos espaciales de poblaciones de malezas.

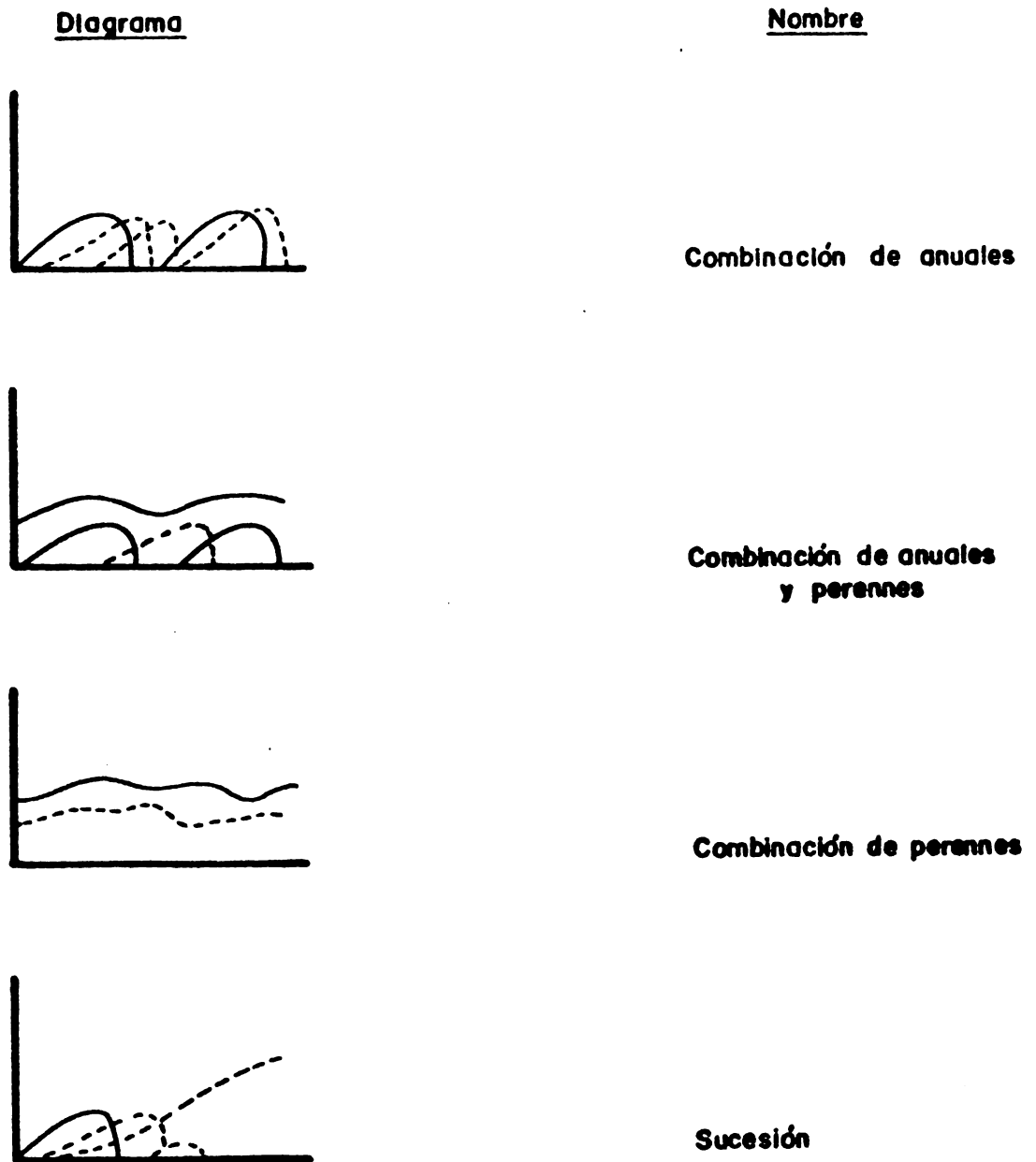


Figura 9.2 Ejemplos de diferentes arreglos cronológicos de poblaciones de malezas.

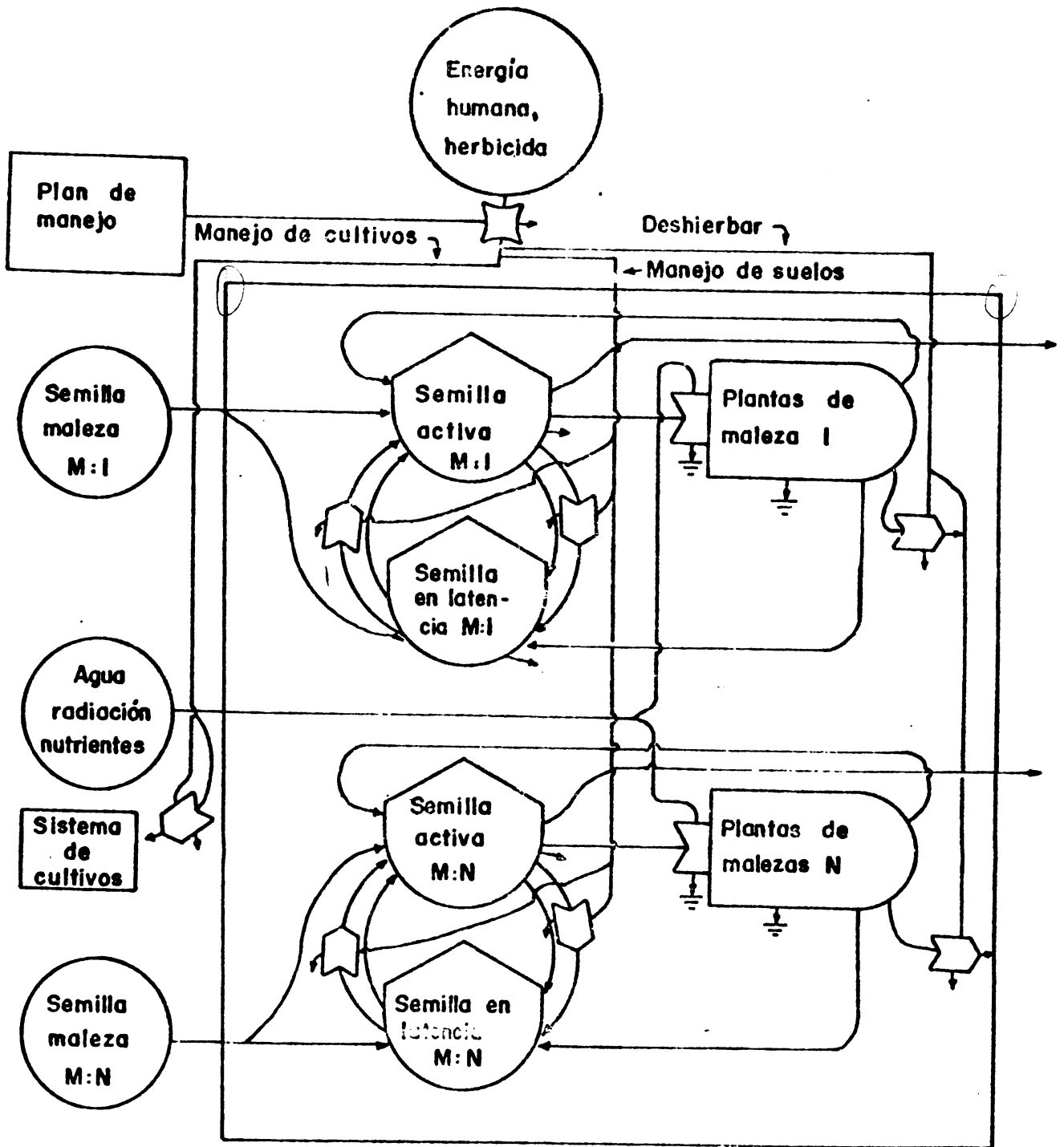


Figura 9.3 El flujo de materiales y energía en un sistema de cultivos que funciona como un subsistema de un agroecosistema.

forma un arreglo cronológico. Como en el caso del arreglo espacial, el arreglo cronológico es el resultado de características de las malezas mismas y de interacción con los cultivos y con el manejo del agricultor.

Sin tomar en cuenta las características del arreglo cronológico asociado con los cultivos y el manejo del agricultor, se pueden identificar los siguientes tipos de arreglos cronológicos:

1. Ciclos de poblaciones anuales
2. Ciclos de anuales con perennes
3. Sucesiones de anuales y perennes
4. Malezas perennes estables

Estos arreglos están descritos gráficamente en la Figura 9.2. Al introducirse los cultivos y el manejo del hombre, estos arreglos cronológicos pueden ser modificados.

FUNCION

Como cualquier sistema, el sistema de malezas también tiene características de función. Usando criterios puramente ecológicos hay pocas diferencias entre la función del sistema de malezas y la del sistema de cultivos, por lo tanto, muchos de los conceptos mencionados en el Capítulo 8 (Subsistema de Cultivos), también son aplicables al estudio de la función del sistema de malezas.

La Figura 9.3 es un diagrama de los flujos que entran y salen, y de los flujos internos de un sistema de malezas. Este diagrama es una modificación de uno elaborado por Harper (1960).

Como en el caso del sistema de cultivos, las malezas compiten para radiación solar, agua y nutrientes del suelo. Un proceso importante en el desempeño del sistema de malezas, y que es de poca importancia en los cultivos, es la dinámica asociada con la reproducción de las poblaciones de malezas. En el caso del sistema de cultivos, esta función es manejada por el agricultor, (cosecha de semilla, almacenamiento y siembra), pero el sistema de malezas no tiene esta ayuda del hombre.

En la Figura 9.3 se ha dividido cada población de malezas en tres

componentes: semilla activa, semilla en latencia y plantas.

La semilla activa (lista para germinar) puede venir de tres fuentes: (1) producción de semillas por procesos de reproducción (floración, fertilización, formación de frutas, etc.), (2) semilla que entra desde fuera del sistema (con el viento, pájaros, etc.) y (3) semilla que estaba en estado de latencia y por cualquier razón se convierte en semilla activa. La latencia es un estado fisiológico en el que la semilla no puede germinar. Las semillas en este estado también vienen de tres fuentes: (1) semilla activa que pasa a un estado de latencia, (2) semilla que entra desde fuera del sistema (con el viento, pájaros, etc.), y (3) semillas producidas por las plantas de malezas.

Los factores que afectan la latencia y germinación pueden ser innatos o introducidos. Los factores innatos producen latencia o germinación a causa de procesos fisiológicos dentro de la semilla, sin la necesidad de un cambio en el factor ambiental. Los factores introducidos producen la latencia o germinación por causa de un cambio ambiental de temperatura, luz, humedad, etc. En algunos casos, para producir efecto, un factor ambiental tiene que estar asociado con un cambio físico en la semilla; por ejemplo, la cáscara tiene que romperse para dejar entrar el agua.

Vale la pena señalar que el mismo factor ambiental puede producir latencia en el caso de una especie, y germinación en otro. Esto es muy común con el factor luz. La introducción de luz (por ejemplo arar y sacar semilla a la superficie) puede causar germinación o latencia dependiendo de la especie de semilla de maleza. Otro ejemplo de la función de las malezas son las interacciones entre el medio ambiente y el manejo del hombre. En climas templados, si se ara en octubre se obtiene el predominio de ciertas especies, si se ara en diciembre, las especies predominantes cambian debido al hecho de que la temperatura ha bajado significativamente. Así, induciendo latencia en ciertas especies, se estimula la germinación de otras semillas al sacarlas a la superficie, donde hay condiciones favorables para la germinación, como se hace, por ejemplo, al arar la tierra.

En unos pocos casos la Alelopatía (efecto negativo de una planta sobre otra) puede producir latencia e interferir en el desarrollo normal de otras plantas.

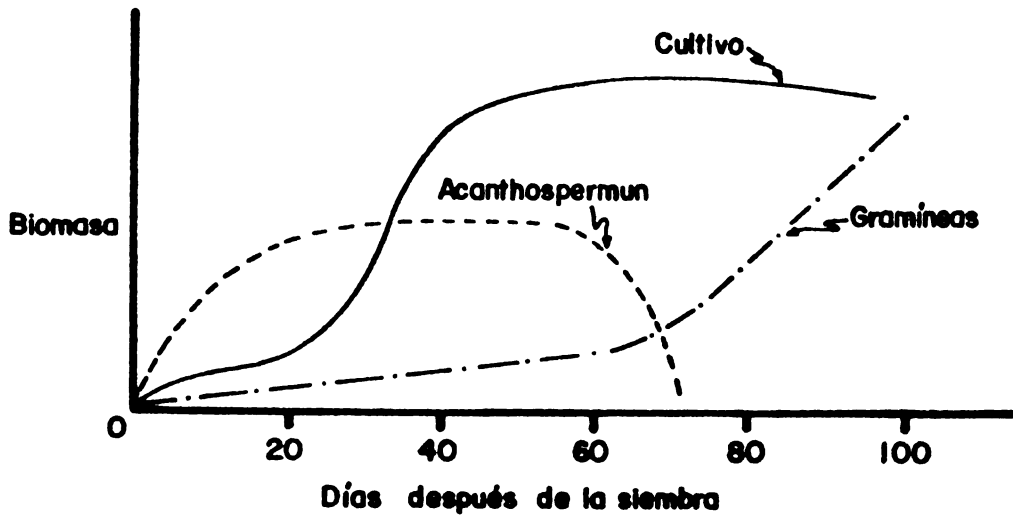


Figura 9.4 El arreglo cronológico de dos poblaciones de malezas encontradas con un cultivo sembrado en Pernambuco, Brasil. (IPPC/AID, 1975)

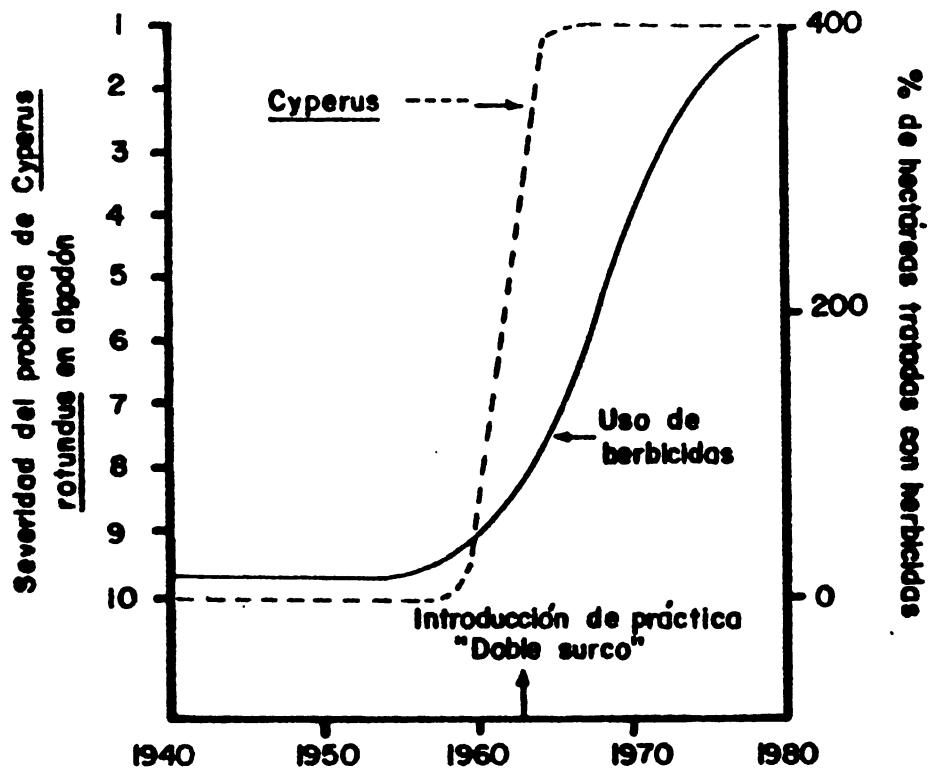


Figura 9.5 La relación entre *Cyperus rotundus* como problema afectando la producción de algodón y el uso de herbicidas al introducir la práctica de sembrar el algodón en surcos dobles con calles anchas. (Wills, 1977)

La semilla de una especie puede segregar una sustancia química que al entrar en contacto con la semilla de otra, impida la germinación de ésta.

MANEJO DE MALEZAS

El manejo del subsistema de malezas puede involucrar actividades dirigidas directamente a las malezas, o actividades dirigidas hacia los subsistemas del agroecosistema. Los otros subsistemas que interactúan con el subsistema de malezas, son el subsistema de suelos y el subsistema de cultivos. El subsistema de herbívoros y enfermedades, en algunos casos interactúan con las malezas, pero hay relativamente pocos casos en donde el manejo de las malezas es realizado indirectamente por medio de este subsistema.

Manejo directo

El entendimiento de la relación entre la estructura y la función del sistema de malezas, genera muy diferentes opciones de manejo. En la Figura 9.3 se notará que una forma de manejar el sistema de malezas es, directamente, matar las plantas de malezas, ya sea a mano o con herbicidas.

Tal vez la pregunta clave en el manejo directo de malezas es, cuándo (en qué fecha) se debe limpiar o aplicar herbicida. Un entendimiento del arreglo cronológico es muy importante para poder tomar esta decisión. La Figura 9.4 es un resumen del arreglo cronológico de dos poblaciones de malezas que se encontró en un cultivo de frijol en un experimento en Brasil (IPPC/AID, 1975). Las poblaciones son: una especie de *Acanthospermum* (hoja ancha) y una especie de *Digitaria* (gramínea). Si se decidía aplicar un herbicida que controlara principalmente las malezas de hoja ancha, se corría el riesgo de que las gramíneas aumentaran rápidamente y perjudicaran al cultivo. Y aplicar un herbicida que controlara básicamente las gramíneas, permitiría a las malezas de hoja ancha alcanzar una población tan alta, que perjudicaría el rendimiento del cultivo. Sin embargo, haciendo solamente una limpieza manual, 20-30 días después de la siembra, resultó que el *Acanthospermum* tuvo una población tan alta que las gramíneas no prosperaron, y a la vez, la competencia de la hoja ancha no perjudicó el

cultivo hasta la primera limpia.

Manejo indirecto: subsistema suelos

Un entendimiento de las relaciones dinámicas entre semilla activa y semilla en latencia (Figura 9.3) también genera muchas opciones de manejo. Estas actividades están dirigidas al subsistema suelo. Algunas de estas actividades tienden a afectar el ambiente para cambiar semilla de un estado activo a un estado latente y otras tienden a cambiar semillas de un estado latente a un estado activo.

En los últimos años se ha hecho mucha investigación con labranza mínima y cero labranza. Una razón por la que el no arar tiene a veces efectos positivos, es que, al arar, semillas mantenidas en latencia por la oscuridad, éstas expuestas a la luz, germinan y producen un efecto negativo en los cultivos.

En algunos casos incrementar la cantidad de semilla activa puede ser un objetivo del manejo. En estos casos, el objetivo es causar la germinación de malezas en la época en que no compiten con los cultivos, o durante la época en que se espera aplicar herbicida y matar las plantas pequeñas.

Manejo indirecto: subsistemas de cultivos

Una de las mejores maneras de controlar las malezas de un agroecosistema es por medio del subsistema de cultivos (Figura 9.3). Si al modificar el subsistema de cultivo se reducen las entradas de radiación solar, agua o nutrientes al subsistema de malezas, el resultado es un menor crecimiento de éstas.

Hay muchos ejemplos de casos en los que el arreglo de los cultivos afecta el desempeño de las malezas. Un ejemplo es la relación entre *Cyperus rotundus* y el arreglo espacial del algodón. En la Figura 9.5 se puede ver el resultado de la introducción de la práctica de surcos dobles en la producción de algodón, en una región de los Estados Unidos (Wills, 1977). Entre los años 1960-1963, cuando se introdujo el cambio en el arreglo espacial, *Cyperus* saltó del problema número 10 en la región al problema número 1. En la siembra tradicional de hileras con espacia-

mientos de un metro, el algodón en pocas semanas cerraba el espacio entre las hileras, combatiendo así el *Cyperus rotundus* porque éste no prospera en la sombra.

Pero en el surco doble, con un espaciamiento de dos metros, no llegaba a dar sombra a este espacio durante muchos días, permitiendo a la maleza prosperar.

De acuerdo con la modificación del sistema de la siembra, se introdujo el uso de herbicidas, los cuales eliminaban la mayoría de las malezas dejando al *Cyperus rotundus* aún más favorecido. A pesar de que se aumentaron las aplicaciones de herbicidas, no se pudo reducir la población de *Cyperus* porque resultaron ineficaces para esta especie. Si se hubiera continuado la práctica del control cultural, la introducción del sistema de siembra de surco doble no hubiese resultado en un problema serio de *Cyperus rotundus* por bastantes años.

Una ventaja de sembrar arreglos espaciales de cultivos con más de una especie es que, en muchos casos, el uso de radiación, agua y nutrientes por los cultivos, es eficiente y deja muy pocos recursos para las malezas. En un experimento con maíz, frijol y yuca sembrado en un arreglo espacial, fue posible producir un buen rendimiento de los tres cultivos sin hacer una sola limpieza durante nueve meses, aunque al mismo tiempo, una parcela sin cultivos produjo más de 34 TM/ha de materia seca de malezas (Hart, 1975). Las malezas sacadas del agroecosistema con los tres cultivos produjo poco menos de 5 TM/ha de malezas. Esto es una reducción de malezas del 85% simplemente como resultado de la competencia del sistema de cultivos.

RESUMEN

La población de malezas dentro de un agroecosistema forma una unidad que puede ser definida como un subsistema de malezas. La estructura de este sistema está relacionada con las características botánicas de las especies de malezas, el arreglo espacial y cronológico de éstas, y las características de función (relacionadas con el desempeño de las poblaciones, la dinámica de los procesos de reproducción y la dinámica entre semillas activas y semillas en latencia). El manejo de malezas incluye

actividades dirigidas hacia las malezas directa e indirectamente a través del sistema de suelos y el sistema de cultivos.

Los puntos sobresalientes de este capítulo se pueden revisar contando las siguientes preguntas:

1. ¿Porqué resulta difícil a veces, definir qué es un cultivo y qué una maleza?
2. ¿Cómo pueden las características botánicas de una maleza afectar la estructura del sistema de malezas?
3. Dar ejemplos de los diferentes tipos espaciales de malezas.
4. Dar ejemplos de diferentes tipos de arreglos cronológicos de malezas.
5. Nombrar tres fuentes de semillas activas dentro del sistema de malezas.
6. Nombrar tres fuentes de semillas en latencia.
7. Los factores que afectan la latencia y la germinación son innatos y _____. (llenar)
8. ¿Cómo puede la luz producir latencia y germinación al mismo tiempo?
9. Dé ejemplos de manejo de tipo directo e indirecto por medio del subsistema de suelos y del subsistema de cultivos.

LITERATURA CITADA

1. HARPER, J. L. 1960. The biology of weeds. Cambridge Press.
2. HART, R. D. 1975. A bean, corn and manioc polyculture cropping system II. A comparison between the yield and economic return from monoculture and polyculture cropping systems. Turrialba 25(4):377-384.
3. IPPC/AID. 1975. Datos no publicados, Pernambuco, Brasil. Contract N° AID/CM/TA-C-73-23. Oregon State University, Corvallis, Oregon.
4. WILLS, G. D. 1977. Nutsedge deals misery to cotton growers. Weeds Today, 8(2):16-17.

CAPITULO 10: SUBSISTEMA DE PLAGAS

Joseph Saunders^{1/}

En el agroecosistema, uno de los subsistemas que más perjudica los objetivos del agricultor es el subsistema de plagas. Este subsistema compite con el hombre por las salidas del subsistema de cultivos. Las plagas pueden incluir insectos, otros artrópodos (ácaros, moluscos, etc.) u otros animales, tales como ratas, pájaros, armadillos, etc. Aunque en muchos casos los herbívoros que no son insectos pueden ser importantes (por ejemplo la babosa en la siembra del frijol), en este Capítulo se pondrá el énfasis en los insectos. La mayoría de los conceptos asociados con ellos son aplicables al estudio de otras plagas.

En muchos casos es difícil separar el subsistema de insectos de los otros subsistemas de agroecosistema. En realidad la interacción entre plantas e insectos es muy importante, pero antes de considerar la unidad cultivo-insecto, vale la pena describir y tratar de entender la estructura y función del subsistema de insectos, arbitrariamente separado de las plantas con las cuales interactúa.

ESTRUCTURA

La estructura del subsistema de insectos puede ser considerada en relación con las características de los componentes del subsistema, y el arreglo espacial y cronológico de estos componentes.

Los componentes

Los componentes del subsistema de insectos son las poblaciones de las diferentes especies de insectos del agroecosistema. Estas poblaciones tienen características propias de las especies consideradas individualmente, y características propias de las poblaciones consideradas como una unidad.

La población de una especie de insectos incluye todos los individuos de esa especie; éstos pueden estar todos en el mismo estado de vida (por ejemplo 100% en estado de larva) o distribuidos en los otros estados del ciclo.

^{1/}Coautor, Ph.D., Entomólogo del Programa de Cultivos Anuales del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

ciclo (por ejemplo: 25% adulto, 25% huevos, 25% larva y 25% pupas). Esta distribución por estados de vida (Figura 10.1) es una característica estructural del sistema de insectos de mucha importancia en el diseño de la estrategia para controlarlos.

Las diferentes poblaciones de insectos de especies distintas forman conjuntos que pueden ser caracterizados en términos de riqueza y diversidad (ver Capítulo 2). Estos índices dan una primera aproximación a la complejidad del subsistema de insectos.

Arreglo espacial

El concepto de arreglo espacial tal como se aplicó al subsistema de suelos, el subsistema de cultivos y el subsistema de malezas, puede aplicarse al sistema de insectos. Aunque los insectos y otros herbívoros son a veces muy móviles, si se llegara a un agroecosistema y se tomara una foto de las poblaciones del sistema podría verse la distribución espacial de éstas. Un aspecto de la distribución de los insectos que da cierta característica de arreglo espacial al subsistema, es la distribución de los insectos bajo el suelo, sobre el suelo y en diferentes estratos del follaje u órganos de la planta. Otra distribución que se da está relacionada con la asociación de las poblaciones con los diferentes subsistemas del agroecosistema. Unas poblaciones pueden estar asociadas con el subsistema de suelos, otras con el subsistema de cultivo o el de malezas.

Arreglo cronológico

Los sistemas de insectos son muy dinámicos y es común que haya grandes fluctuaciones en las poblaciones de diferentes insectos. Usando como criterio la estabilidad de la población, suele clasificarse a los insectos en dos tipos: "K" poblaciones estables y "r" poblaciones fluctuantes (Figura 10.2). La mayoría de los insectos tienen características intermedias entre el tipo "K" y el tipo "r". Esta caracterización también es usada en ecología (ver Capítulo 2).

Las fluctuaciones en las poblaciones de insectos u otros herbívoros del agroecosistema generan características de arreglo cronológico, pero

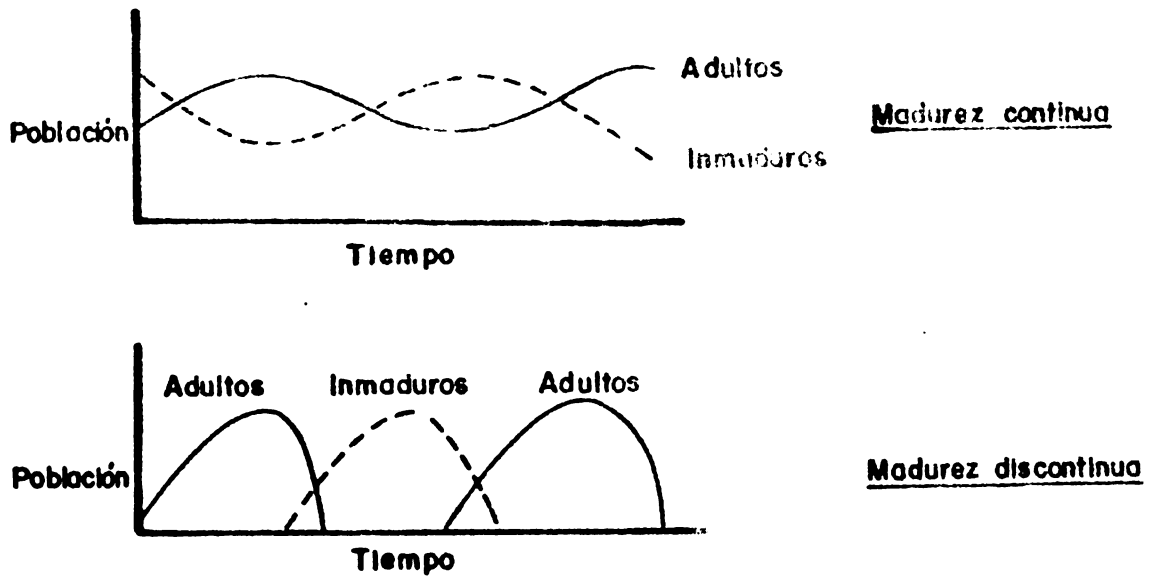


Figura 10.1 Dos diferentes tipos de distribuciones cronológicas de poblaciones de insectos.

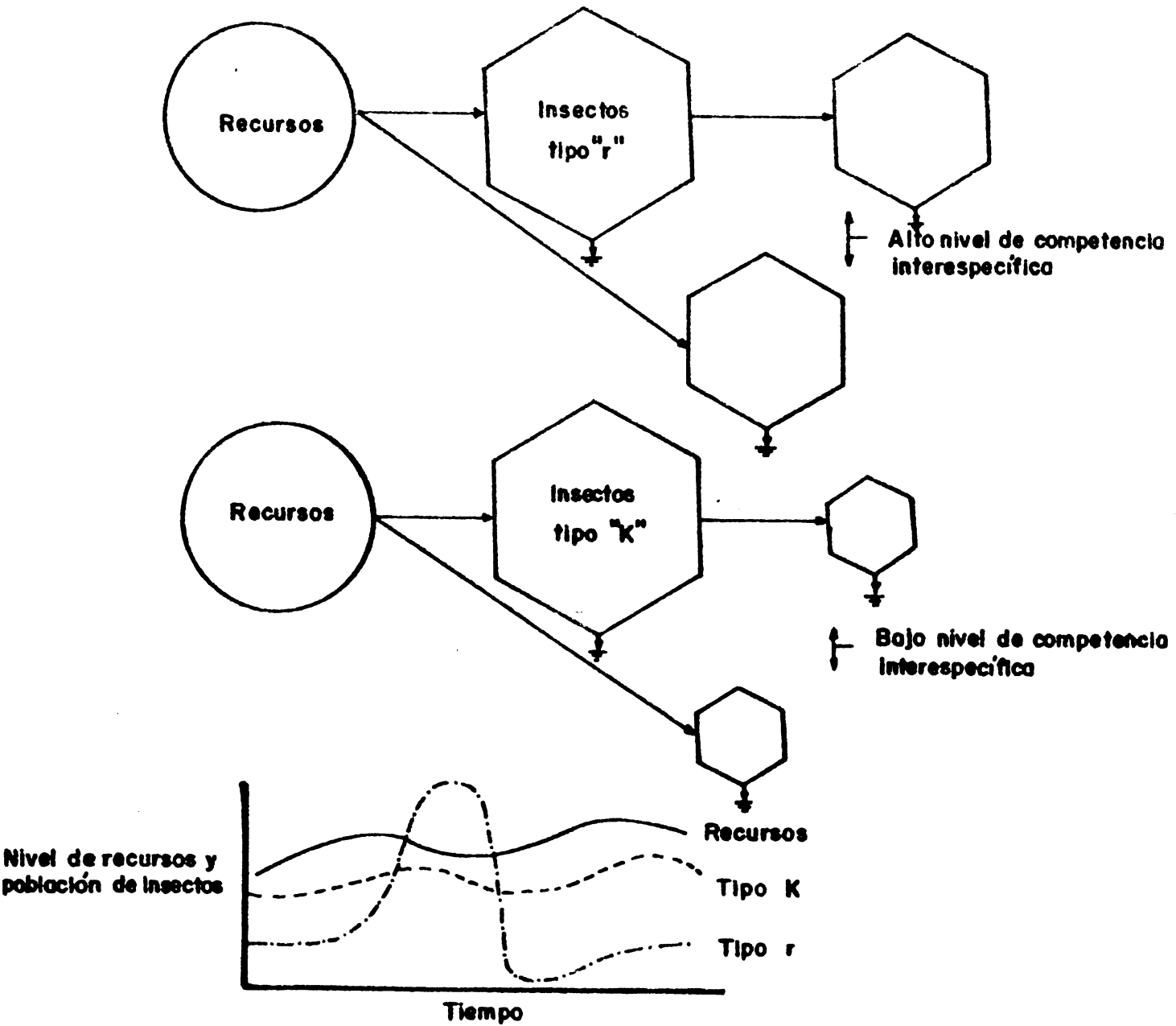


Figura 10.2 El efecto de la disponibilidad de recursos y el nivel de competencia interespecífica sobre insectos de tipo "K" y "r".

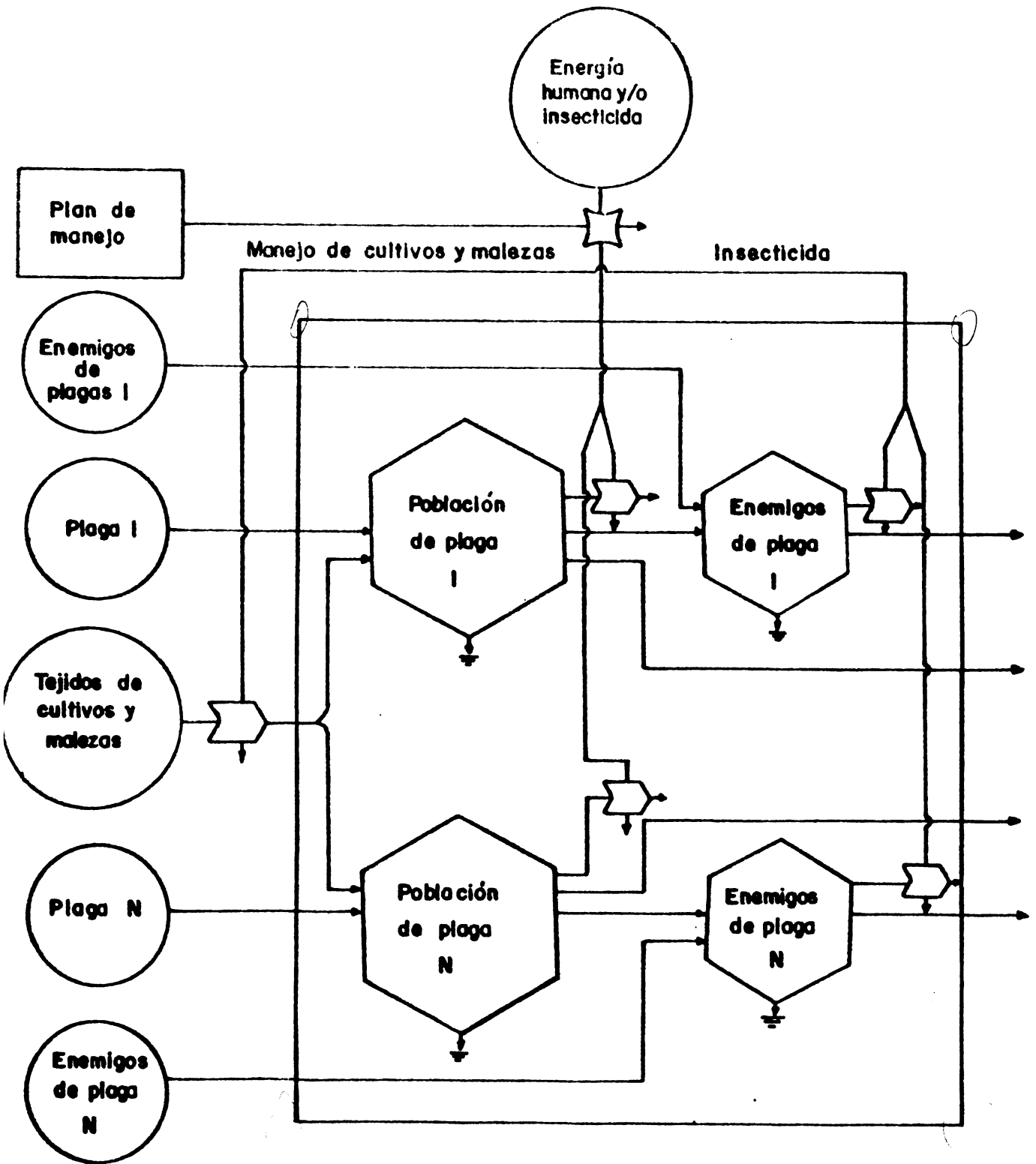


Figura 10.3 El flujo de materiales y energía en un sistema de plagas que funciona como un subsistema de un agroecosistema.

este dinamismo (de tipo "K" o de tipo "r") está muy ligado a factores climáticos que afectan la disponibilidad de recursos y los niveles de competencia intraespecífica e interespecífica (Van Enden, 1976).

FUNCION

Tal vez, es a causa del dinamismo del sistema de insectos que en entomología, se ha prestado más atención a las características de función que a las características de estructura del sistema. Las características de función incluyen alimentación, movimiento y reproducción. Estos procesos interactúan con los diferentes subsistemas del agroecosistema. La Figura 10.3 describe un sistema de insectos que incluye estos procesos de función.

Alimentación

Los insectos de un agroecosistema son herbívoros, carnívoros u omnívoros. Desde el punto de vista del agricultor, parecería que solamente los insectos que comen cultivos (plagas) son importantes. Pero los insectos que comen insectos (depredadores y parásitos) tienen la función de controlar las plagas, y por lo tanto, también son componentes importantes del subsistema de insectos. Asimismo, los insectos polinizadores son indispensables en la producción de algunos cultivos, y los descomponedores de residuos tienen importancia en la conversión de materia orgánica. En entomología generalmente, las plagas se agrupan usando como criterio lo que comen: (1) hojas, (2) tallos, (3) raíces, (4) flores y (5) frutos y semillas. Otra división que también está relacionada con el modo de alimentarse es la clasificación de los insectos en masticadores o chupadores.

La disponibilidad de alimentación para el sistema de insectos está directamente relacionada con los subsistemas de cultivos de malezas. La posibilidad de modificar estos subsistemas que afectan la entrada de alimentación al sistema de insectos, está discutida en la sección de este capítulo que describe estrategias de manejo. Los insectos de tipo "K" se mantienen a un nivel relativamente estable porque están limitados por el nivel de disponibilidad de alimentación, en cambio los insectos de tipo "r" están regulados por la competencia interespecífica y no (regulados) por la disponibilidad de recursos.

Los insectos usan la energía generada por el consumo de tejidos de plantas (cultivos y malezas) en su dispersión y su reproducción.

Movimiento

Los movimientos de un insecto se pueden clasificar así: (1) entrada al sistema (colonización), (2) salida del sistema (migración), y (3) movimiento dentro del sistema (desarrollo y dispersión). Las tasas de estos tipos de movimiento son diferentes para las distintas especies, y en muchos casos, están afectadas por el nivel de la población y por la disponibilidad de alimentación.

En la especialidad de biogeografía se han hecho muchos estudios de colonización y migración de insectos entre islas (Mac Arthur y Wilson, 1967), aunque gran parte de estos estudios fueron realizados usando islas separadas por agua, los conceptos desarrollados son de mucha utilidad para el estudio del movimiento de insectos entre las parcelas de cultivos. Dos parcelas con el mismo agroecosistema, separadas por otro tipo de ecosistema o agroecosistema, son también islas.

Para caracterizar una población de insectos es muy útil conocer su movimiento dentro del agroecosistema. Obviamente el daño causado por una población de insectos estará relacionado con la superficie cubierta en un período de tiempo. El movimiento de los insectos también está relacionado con el estado de vida en que éstos estén. En muchos casos la etapa de inmadurez es mucho menos móvil que el estado adulto; en otros casos, es al revés.

Ciclos de vida

En general, el tiempo para cada ciclo de vida (de adulto-estados inmaduros-adultos) está determinado genéticamente. Algunas especies demoran unos días, otras, años. Pero dentro de los límites cronológicos determinados por la genética, el ambiente puede precipitar el paso de un estado a otro (por ejemplo, de huevo a larva). Para entender realmente cómo funciona el sistema de insectos dentro del agroecosistema, es necesario describir los ciclos de vida de las poblaciones más importantes del sistema.

INTERACCION CON OTROS SUBSISTEMAS

El subsistema de plagas interactúa directamente con los otros subsistemas del agroecosistema. Muchos de los insectos viven en el suelo o tienen un estado que vive en el suelo. Las malezas y los cultivos son la alimentación para el sistema de plagas. El subsistema de enfermedades también interactúa directamente con el de plagas.

Con el subsistema de suelos

Un metro cúbico de suelo es un parque zoológico de insectos. Muchos insectos pasan toda su vida en este medio. Para alguien no entrenado en entomología tal vez las hormigas, los coleópteros y las larvas grandes sean lo más obvio, pero hay muchos otros insectos, adultos e inmaduros habitando en el suelo.

Las características del suelo tienen un efecto directo sobre el subsistema de plagas; tal vez las características más importantes sean textura y humedad. La textura afecta el movimiento de los insectos que puede ser vertical u horizontal. Los insectos del suelo solamente toleran un rango de humedad; demasiada humedad o demasiado poca, y los insectos mueren. Desgraciadamente, para el punto de vista del agricultor, este rango de tolerancia, no es muy diferente al rango de tolerancia de los cultivos.

Con los subsistemas de cultivos y malezas

Para un insecto la diferencia entre cultivos y malezas no tiene demasiado sentido. La interacción entre el sistema de plantas (cultivos y malezas) y el subsistema de plagas es tan fuerte, que en la mayoría de los casos es más útil estudiar la asociación planta-plaga como unidad que el sistema de plagas aisladamente.

La interacción entre planta y plaga es del tipo depredador-presa (ver Capítulo 2). Cuando la plaga es de tipo "K", las fluctuaciones en las poblaciones de insectos están directamente relacionadas con los cambios en las condiciones de las plantas. Al aumentar la disponibilidad de alimentación, la población de insectos sube o viceversa.

Las poblaciones de insectos de tipo "r", en general no están directamente limitadas por los recursos. Las fluctuaciones súbitas de estos insectos ocurren cuando la relación interespecífica con otros insectos o agentes bióticos cambian por alguna razón (por ejemplo: un cambio ambiental mata todas las larvas del insecto carnívoro que se alimenta del insecto tipo "r"). Al modificarse esta relación interespecífica, la población insecto sube, y luego baja rápidamente, o porque no hay alimentación suficiente o porque los enemigos se incrementan con rapidez y empiezan a controlarlos.

Con el subsistema enfermedades

Los micro-organismos que causan enfermedades pueden afectar el subsistema de plagas directa e indirectamente. Las bacterias, hongos y virus pueden infectar directamente a los insectos que forman las poblaciones de plagas. Las enfermedades afectan las plagas indirectamente infectando los cultivos y las malezas y reduciendo así su disponibilidad de alimentación. Otro tipo de interacción entre plagas y enfermedades está relacionado con la transmisión de enfermedades por las plagas. La interacción entre estos dos subsistemas se discute con más detalle en el próximo capítulo.

ESTRATEGIA PARA EL MANEJO DE PLAGAS

Una razón muy obvia para entender la estructura y la función del subsistema de plagas y la interacción entre este subsistema y los otros subsistemas del agroecosistema, es que este entendimiento puede ser la base para diseñar estrategias de combate integrado de plagas. Se notará que el objetivo es la manipulación y no la eliminación de las plagas.

Las estrategias de manejo de plagas han sido resumidas por Van Emden (1976). El divide las estrategias en tres tipos: supresión, regulación y limitación de recursos. La supresión es una estrategia por la cual se introduce inestabilidad en una población para mantenerla a un nivel muy bajo. La regulación es una estrategia para prevenir que la población aumente a un nivel mayor que el de las poblaciones del sistema que pueden controlarlas (regularlas). La estrategia de limitación de recursos tiene como

objetivo disminuir rápidamente la población de una plaga quitando la fuente de alimentación. En general, los insectos del tipo "r" son los que más a menudo requieren la estrategia de supresión. Los insectos de tipo "K" son más susceptibles a la regulación y a la reducción de recursos.

Estas estrategias de manejo pueden ser dirigidas directamente al subsistema de plagas o indirectamente por medio de los otros subsistemas del agroecosistema. La Figura 10.3 incluye ambos tipos de manejo. La energía humana o el insecticida pueden entrar al sistema de plagas (manejo directo) y también pueden controlar la disponibilidad de alimentación (manejo indirecto). Como en el caso de los otros subsistemas del agroecosistema, estos flujos entran a base del plan de manejo del agricultor.

Manejo directo

Las estrategias de supresión y regulación pueden ser implementadas directamente al subsistema de insectos. El manejo directo puede hacerse por medio de la aplicación de insecticidas o del control biológico.

Las tres preguntas claves en el uso de insecticidas son: (1) ¿Cuál insecticida? (2) ¿Cuándo aplicar? y (3) ¿Cuánto aplicar? Es necesario entender las características de estructura y función del sistema de plagas para contestar estas preguntas.

En los últimos años ha habido mucho interés en el uso del control biológico para regular plagas. Generalmente este tipo de manejo incluye la introducción de parásitos, depredadores o enfermedades que afecten la plaga negativamente. Este efecto negativo puede ser muy fuerte, reduciendo la plaga a casi cero, o sólo lo suficientemente fuerte como para reducir la plaga a menos del nivel económico de daño.

Manejo por medio del suelo

Las estrategias de supresión y regulación también pueden ser implementadas por medio del subsistema de suelos. En general, el objetivo es modificar el ambiente físico donde viven las plagas. Esto puede hacerse a través de la labranza, del drenaje o del riego. En cualquier caso, los insectos son afectados por la disponibilidad de oxígeno y agua. Si las plagas del suelo constituyen un factor limitante en la producción del cultivo generalmente hay que suprimirlas con insecticidas.

Manejo por medio de los cultivos y malezas

El manejo del sistema de plagas por medio de los cultivos y las malezas puede incluir estrategias de supresión, regulación y limitación de recursos. Los cambios en el arreglo espacial cronológico de los cultivos y las malezas afectan directamente la disponibilidad de alimentación para las plagas.

Perrin (1976), Van Enden (1976), Dempster y Coaker (1974) y otros, han demostrado que la diversidad de un sistema de cultivo puede afectar directamente el nivel de daño causado por insectos. Al colonizar un agroecosistema, el arreglo de los cultivos puede afectar el estímulo visual y olfativo de los insectos. Un fondo detrás del cultivo (por ejemplo: suelo desnudo en comparación con otro cultivo o malezas muertas) parece afectar la posibilidad de que un insecto encuentre su planta hospedera. A veces un cultivo puede ser sembrado con otro para distraer al insecto a fin de que no ataque el cultivo de mayor valor económico. Esta estrategia es usada en la producción del algodón, donde la alfalfa es sembrada en franjas para atraer al *Lygus hesperus* y disminuir así el daño en el algodón.

También hay evidencia de que el número de especies de cultivos y su arreglo pueden afectar las plagas debido a la modificación del microclima causados por los diferentes niveles de sombra y humedad producidos.

La relación entre el tipo de sistema de cultivos y el daño causado por los insectos es complejo. En algunos casos los sistemas de cultivos con gran diversidad pueden tener alto ataque de insectos; en otros casos la diversidad tiende a bajar el daño producido por los insectos. Pero, en general, hay una relación directa entre diversidad de cultivos y diversidad de poblaciones de insectos. Con una alta diversidad de insectos es más probable que estén presentes los enemigos del insecto que pudieran causar daño.

En algunos agroecosistemas la presencia de malezas puede producir un efecto similar al incremento en la diversidad del sistema de cultivos, porque aumenta la diversidad de las plantas (cultivos y malezas) del agroecosistema. El manejo de las malezas puede ser una manera indirecta de manejar el sistema de plagas.

Manejo por medio de las enfermedades

La introducción de enfermedades que regulen la plaga es un ejemplo del manejo del sistema de plagas por medio del subsistema de enfermedades. Para que este tipo de manejo, sea efectivo, es necesario entender no solamente el subsistema de plagas, sino también el subsistema de enfermedades. El desempeño de una enfermedad depende de muchos aspectos, incluyendo factores climáticos y relaciones fitosanitarias. Estos con
ceptos serán definidos en el próximo capítulo.

RESUMEN

El subsistema de plagas está muy ligado a los otros subsistemas del agroecosistema, pero es posible separar un conjunto de estas poblaciones de organismos y estudiarlas como sistema. El sistema de plagas tiene características de estructura asociadas con la distribución espacial y la fluctuación de las poblaciones, y tiene características de función, a
sociadas con la alimentación, el movimiento y los ciclos de vida de las poblaciones que forman el sistema. Entender estas características de estructura y función, y la interacción entre este subsistema y los sub
sistemas de suelos, cultivos, malezas y enfermedades, ayuda a diseñar di
ferentes métodos para controlar las plagas del agroecosistema.

Los aspectos destacados de este resumen de los conceptos asociados con sistemas de plagas, se pueden revisar contestando las siguientes pre
guntas:

1. ¿Porqué es importante conocer la distribución de una especie de insectos en los diferentes estados del ciclo de vida?
2. ¿Cuál es la diferencia entre una población del tipo "K" y otra del tipo "r"?
3. ¿Qué criterio se puede usar para clasificar los tipos de ali
mentación de las diferentes poblaciones del sistema de plagas?
4. ¿Qué aplicación agrícola tiene la investigación ecológica so
bre migración de insectos entre islas?

5. Dar ejemplos de interacción entre el subsistema de plagas y el subsistema de suelos, cultivos, malezas y enfermedades del agroecosistema.
6. Dar ejemplos de estrategias de manejo de tipo supresión, regulación y limitación de recursos.
7. ¿Qué relación hay entre la diversidad de los sistemas de cultivos y la diversidad del sistema de plagas?
8. ¿Qué relación hay entre la diversidad del sistema de plagas y el nivel de una población de tipo "r"?
9. Dé ejemplos de manejo directo e indirecto por medio de otros subsistemas del agroecosistema.

LITERATURA CITADA

1. DEMPSTER, J. P. and COAKER, T. H. 1974. Diversification of crop ecosystems as a means of controlling pests. In Price-Jones, D. and Solomon, M. E. (Eds). Biology in Pest and Disease Control. Oxford, Blackwell. pp. 106-114.
2. MAC ARTHUR, R. H. and WILSON, E. O. 1967. The theory of island geography. Princeton, New Jersey, Princeton University Press. 203 p.
3. PERRIN, R. M. 1976. Pest management in multiple cropping systems. Agro-Ecosystems 3:93-118.
4. VAN ENDEN, H. F. 1977. Insect-pest management in multiple cropping systems -a strategy. Symposium on Cropping Systems Research and Development for his Asian Farmer, September 1976. In Proceedings. Los Baños, Philippines, IRRI. s.p.

CAPITULO 11: EL SUBSISTEMA DE ENFERMEDADES

Raúl A. Moreno^{1/}

El conjunto de organismos que constituye el subsistema de los parásitos de un agroecosistema se puede dividir a su vez en dos grandes grupos:

- Aquéllos que parasitan plantas (plantas útiles y malas hierbas)
- Aquéllos que parasitan animales (insectos y nemátodos, principalmente)

En este Capítulo, se acentúa la relación parásito-planta útil y más específicamente, la relación patógeno-hospedante. Esta relación es importante porque frecuentemente deriva a una enfermedad de las plantas útiles.

Tal como puede observarse en la Figura 11.1, una enfermedad no es sino la expresión final de un fenómeno bastante complejo que involucra a lo menos tres entidades (y a veces una cuarta). En esta Figura, el vector o diseminador se encierra en un círculo, pues no siempre está presente. El ambiente influye sobre el patógeno, sobre el hospedante y sobre el vector. Sobre el ambiente, y más específicamente sobre el micro-ambiente, influye directamente sólo el hospedante. El patógeno afecta directamente al vector y al hospedante y es afectado también por ellos. El hospedante afecta y es afectado por el vector y el patógeno. Por último, el vector afecta y es afectado por el hospedante y el patógeno.

Dentro del agroecosistema, las enfermedades son importantes porque sus agentes causantes pueden diseminarse entre los individuos que integran el sistema de cultivos. Para el hombre, que maneja el agroecosistema, las enfermedades son importantes porque disminuyen la capacidad de los cultivos para usar los recursos ambientales y transformarlos, a través de su crecimiento, en productos que pueden satisfacer sus necesidades.

Además, las enfermedades son importantes porque pueden expresarse en el período de post-cosecha, es decir, en el almacenaje y/o en el proceso de distribución. Este efecto es importante para el hombre porque disminuye la cantidad y la calidad del producto disponible ya para su consumo, el consumo animal o el material de propagación para obtener una nueva cosecha del mismo cultivo.

^{1/}Coautor, Ph.D., Fitopatólogo del Programa de Cultivos Anuales del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

va cosecha del mismo cultivo.

En la Figura 11.2 se trata de representar, en general, el efecto de las enfermedades. Si la magnitud de R_2 es considerable, el patógeno P_a está causando una enfermedad, pues disminuye la capacidad de la planta de usar totalmente R_1 , ya que $R_1 = R_2 + R_3$. En esta situación de campo, si la magnitud de R_2 no es considerable o la precisión de nuestros instrumentos impide cuantificarla, se habla de una relación no parasitaria entre un microorganismo y una planta. Siguiendo con la Figura 11.2, la competencia por recursos entre la planta y el patógeno P_a , que puede expresarse como $R_1 = R_2 + R_3$, ocurre a nivel de campo, pero la relación $RP_1 = RP_2 + RP_3$ en manipulación de post cosecha y la relación $RH_1 = RH_2 + RH_3$ en el almacenaje y distribución posterior del producto (por simplicidad, pues son fenómenos diferentes).

ESTRUCTURA

Como cualquier sistema, el sistema que provoca las enfermedades en un agroecosistema, tiene características de estructura que están asociadas a las características estructurales de los componentes individuales y al arreglo espacial y cronológico de los componentes.

Los componentes

Los microorganismos capaces de provocar enfermedades, pueden agruparse en: Hongos, Bacterias, Nemátodos, Virus y un conjunto de organismos tales como Micoplasmas, Espiroplasmas y Ricketsias que por el momento, se pueden aproximar taxonómicamente más a las Bacterias que a otros organismos. Los fitopatógenos agrupados como Hongos se encuentran en las clases Ficomicetes, Ascomicetes, Basidiomicetes y Hongos Imperfectos. En las Bacterias, los fitopatógenos más importantes se encuentran en los géneros *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Corynebacterium*, *Agrobacterium* y *Streptomyces*. Entre los Nemátodos fitopatógenos los más importantes están agrupados en los órdenes Tylenchida y Dorylaimida. Los Virus y los Micoplasmas, Espiroplasmas y Ricketsias se agrupan, en general, de acuerdo con algunos caracteres morfológicos, su composición química, reacciones serológicas y reacciones de sus hospedantes.

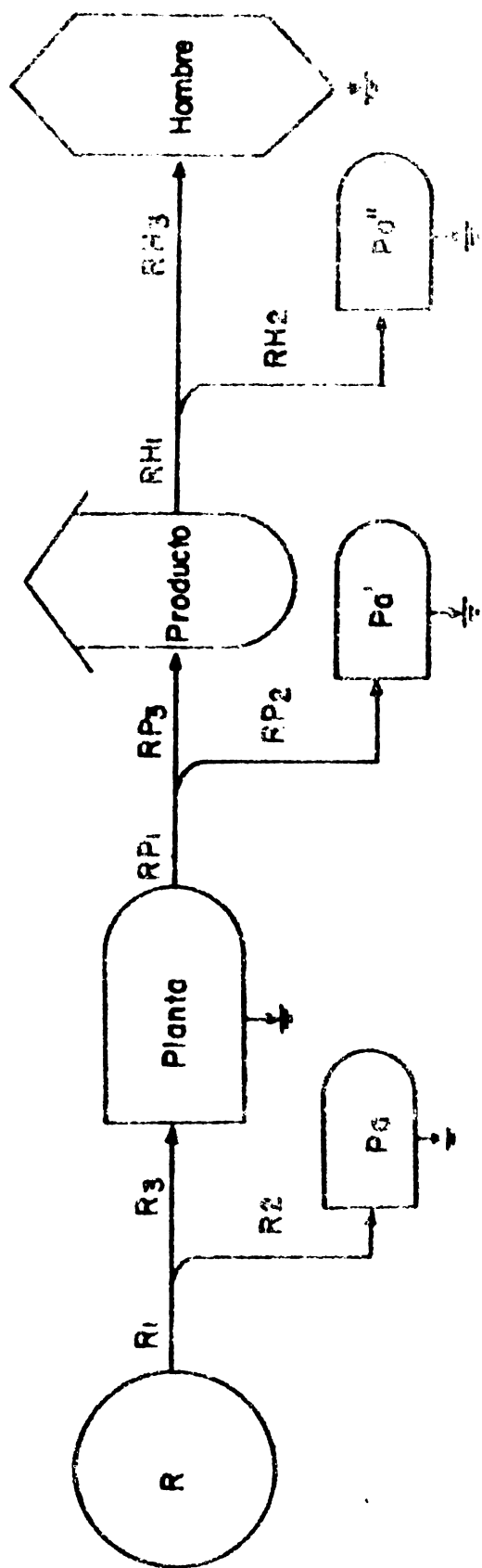


Figura 11.2 Representación del posible daño causado por microorganismos. R = Recursos; Pa = Patógenos. En esta figura $R_1 = R_2 + R_3$; $RP_1 = RP_2 + RP_3$; $RH_1 = RH_2 + RH_3$; Pa, Pa' y Pa'' son patógenos de campo de almacenaje y de distribución.

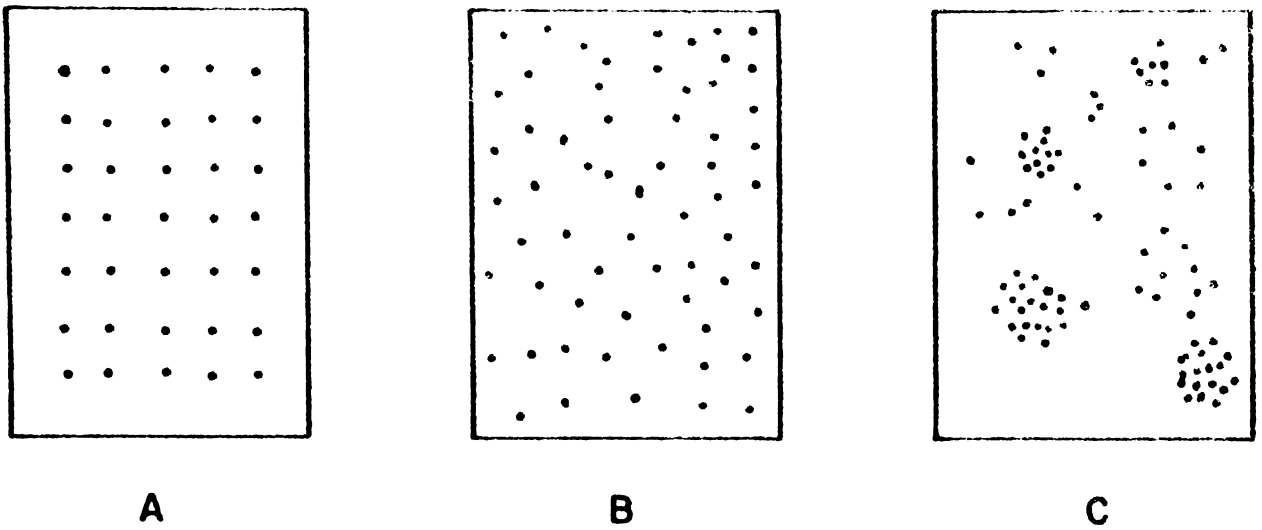


Figura 11.3 Distribución de los fitopatógenos en un agroecosistema:
A = uniforme; B = al azar; C = en agrupaciones.

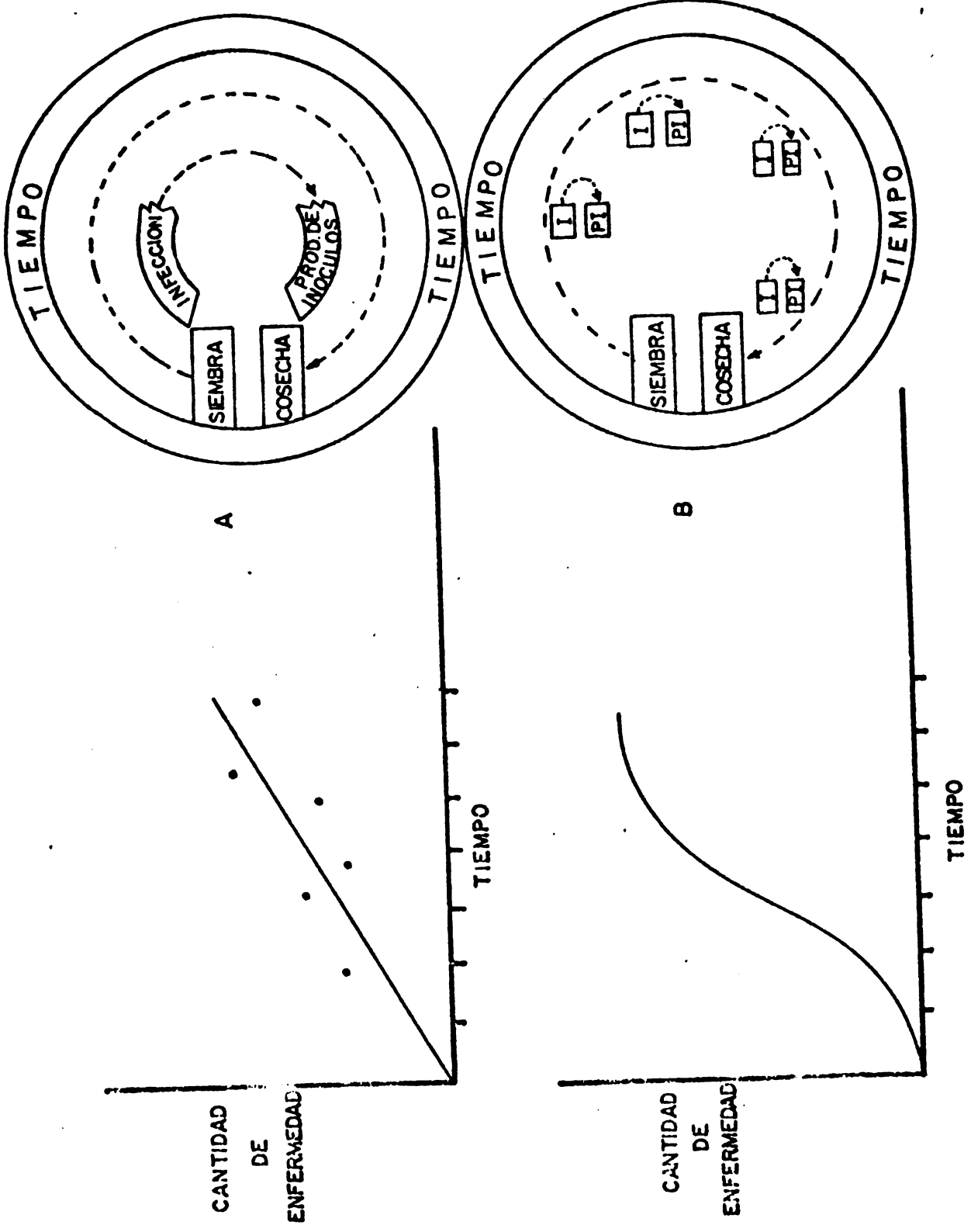


Figura 11.4 Enfermedad de ciclo simple (A) y de ciclo múltiple (B). I= infección; PI= producción de inóculo.

Arreglo espacial

Dentro de los componentes del agroecosistema, los fitopatógenos pueden localizarse en el hospedante, en hospedantes alternos (que pueden ser malas hierbas), en el aire, en el agua, en el suelo, en los insectos y en los animales superiores (pájaros, animales de trabajo, etc.). Las posibilidades de distribución dentro del agroecosistema se representan, en general, en la Figura 11.3. En ella y bajo A, se observa una distribución uniforme que puede ocurrir teóricamente en terrenos totalmente contaminados por un patógeno facultativo o en el caso de un hospedante susceptible cultivado uniformemente en el terreno. El caso B puede ocurrir por distribución desuniforme del hospedante susceptible o simplemente por azar. El caso C corresponde a agregados de hospedantes susceptibles o a variaciones ambientales dentro del agroecosistema y que dan como resultado que la interacción patógeno-hospedante se presente en forma diferente en el espacio.

Arreglo cronológico

En el desarrollo de una epifitía se pueden presentar situaciones diferentes. Si el ciclo reproductivo de la planta tiene cierta correspondencia con el ciclo reproductivo del patógeno, en cuanto a tiempo, se puede esperar, por ejemplo, la reproducción (producción de inóculo) del patógeno sólo en la cosecha y así se establece lo que se conoce como una epidemia de ciclo simple y que se representa en la parte A de la Figura 11.4. Si por el contrario, el patógeno presenta varios ciclos de vida durante el ciclo del hospedante, se establece lo que se conoce como una epidemia de ciclo múltiple y que se representa en la parte B de la Figura 11.4. Para el caso de epidemias de ciclo simple y dado un ambiente favorable, un patógeno virulento y un hospedante susceptible, el número de plantas enfermas o el área foliar afectada aumenta en relación directa con el número de recolecciones del producto.

En el caso de epidemias de ciclo múltiple, cuyo desarrollo se representa por medio de una curva sigmoidea, la parte inferior de la curva está determinada por bastantes sitios vacantes (tejido sano) y proporcionalmente poco inóculo. La parte superior de la curva está determinada por suficiente inóculo pero pocos sitios vacantes, debido a necrosis, defolia

ción o simplemente a exceso de pústulas o lesiones existentes ya en la planta.

FUNCION

A nivel de una planta en particular, uno o varios fitopatógenos pueden estar compitiendo por recursos. Un patógeno foliar que produce manchas o caída del follaje, reduce la superficie fotosintéticamente activa y también en consumo de CO_2 como consecuencia. Un patógeno de la raíz que destruye el tejido, disminuye la capacidad de absorber agua y nutrientes. Existen relaciones entre los diferentes componentes del conjunto de recursos y es difícil representarlas todas, pero como ejemplo puede citarse que al disminuir la cantidad de agua en la planta por efecto de un patógeno radicular, los estomas se cierran y el proceso de fotosíntesis se reduce.

En la Figura 11.5 se representan algunas etapas que ocurren cuando un patógeno se pone en contacto con un hospedante susceptible. El proceso de diseminación sirve como nexo entre hospedantes diferentes o entre diferentes órganos de un mismo hospedante.

El éxito como patógeno de un microorganismo, dependerá de diversos factores, pero entre los más importantes pueden citarse: un período relativamente corto durante el cual el patógeno se encuentra en estado de incubación dentro del hospedante, un período relativamente largo durante el cual la lesión se mantenga produciendo y liberando inóculo y por último, una relación favorable entre la cantidad de inóculo que se disemina y la que finalmente llega a hacer contacto con otro hospedante susceptible. Si a estos tres factores denominamos "p", "i" y "m" (siguiendo conceptos de Oort, 1968), el máximo de éxito del patógeno se encontrará en los valores menores de "p" y los mayores de "m" e "i". En la Figura 11.6 se representa esta situación. En esta figura, el área foliar de las plantas (si se trata de un patógeno foliar) determina el número de sitios vacantes para infección. Estos sitios se ocupan a una determinada tasa que depende de varios factores a su vez, pero que en general pueden resumirse en disponibilidad de tejido sano y disponibilidad de inóculo. Suponiendo que ocurre penetración, hay un período de tiempo durante el cual no se observan manifestaciones externas de enfermedad, sin embargo, el organismo patógeno está presente en el tejido del hospedante. Una vez que la lesión aparece,

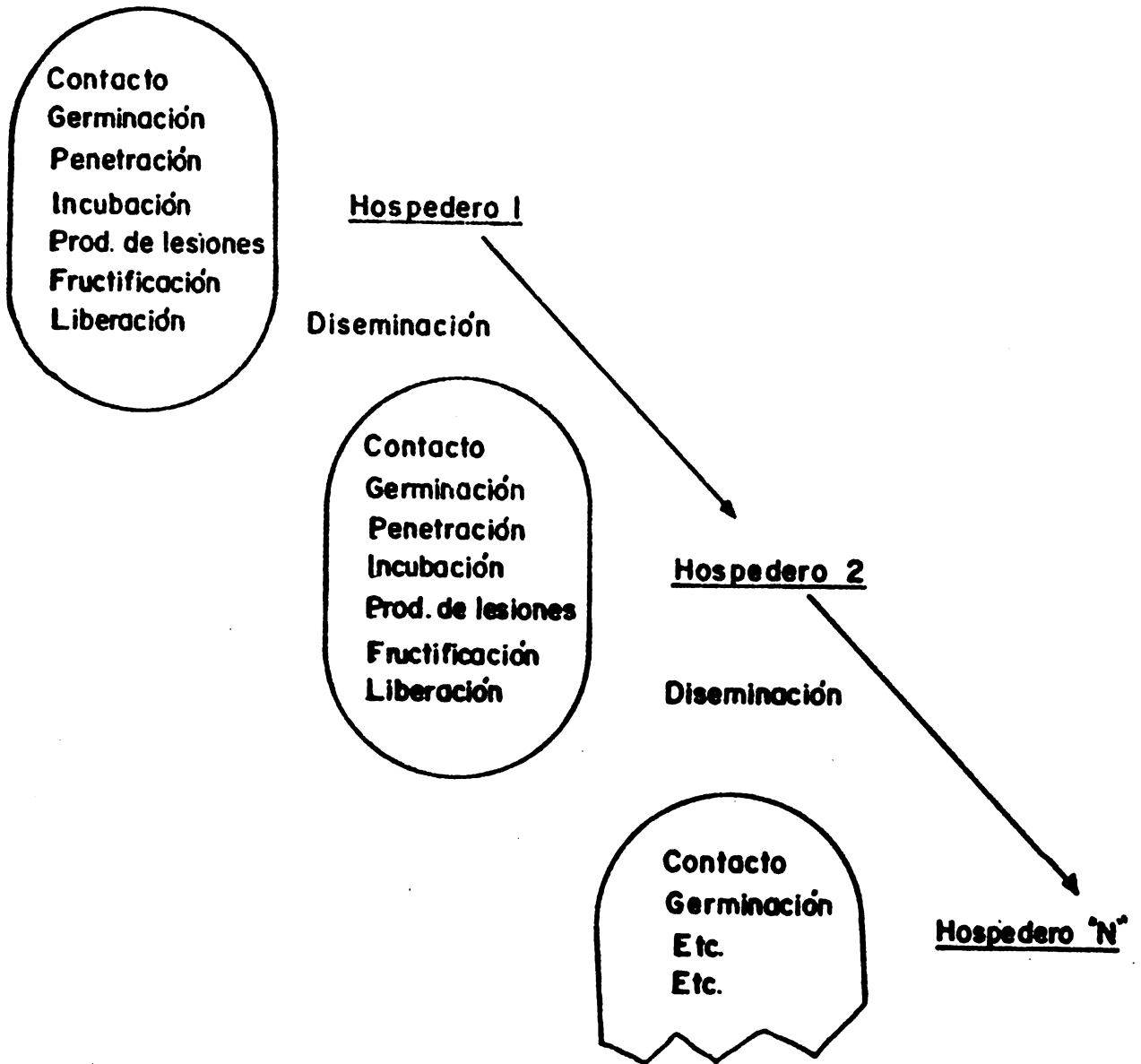


Figura 11.5 Diversos procesos que ocurren en el establecimiento de una relación patógeno-hospedante. El proceso de diseminación actúa como nexo entre hospederos o entre órganos de un mismo hospedero.

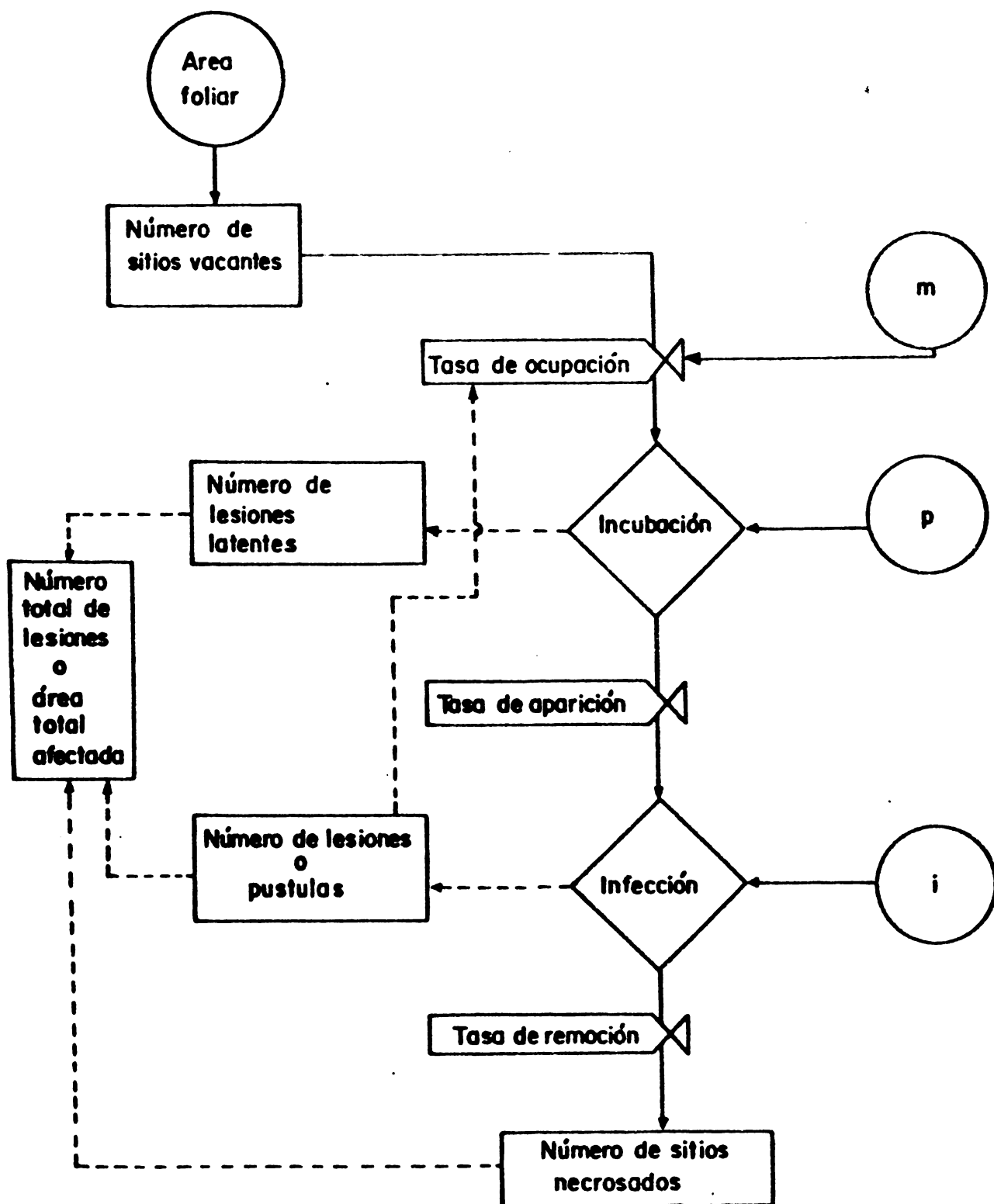


Figura 11.6 Representación esquemática de una esodemia o epidemia. Adaptado de Zadoks (1971).

Ésta puede permanecer infectiva durante una cantidad variable de tiempo y luego desaparecer, dejando tejido necrosado. En síntesis, el área total afectada, no es sino la sumatoria del tejido en incubación, del tejido afectado por pústulas o lesiones y del tejido necrosado que queda una vez que desaparece la lesión (Figura 11.6). Este conjunto de procesos ocurre dentro de una misma planta, pero entre los individuos que integran la población de plantas útiles de un agroecosistema, están ocurriendo simultáneamente. Realmente, el proceso de diseminación de la Figura 11.5 actúa como nexo para que este conjunto de procesos que se representó en la Figura 11.6, se repita a nivel de la población de plantas útiles y se origine el fenómeno conocido como epidemia o epifitía. Al comienzo de la epidemia, el número de sitios vacantes es alto, considerando todas las plantas, y al final es bajo, si el patógeno ha tenido éxito.

Interacción hospedero-parásito

La interacción hospedero-parásito es, en conjunto con la interacción depredador-presa, uno de los fenómenos a nivel de población más estudiados en ecología. Es similar a la interacción depredador-presa en el sentido de que una población se afecta negativamente (la presa o el hospedero) y otra población (el depredador o el parásito) se afecta en forma positiva (Odum, 1972).

La función del subsistema de parásitos está directamente ligada principalmente, a la función de los subsistemas de cultivos, y malezas porque las poblaciones de estos subsistemas son los hospederos de los parásitos. Proveen los tejidos vivos de los que se alimentan los parásitos. Por ser un tipo de interacción hospedero-parásito, en general, el desempeño del subsistema de enfermedades es la inversa del desempeño de los otros subsistemas. Un aumento en la biomasa de los parásitos resulta una disminución de la biomasa en las poblaciones de los cultivos, de las malezas, o de las plagas. Si los parásitos de un agroecosistema son en su mayoría parásitos de malezas o parásitos de plagas, o si un parásito de un cultivo útil es también parásito de estos otros subsistemas, el desempeño de un sistema de enfermedades es sumamente complejo.

Interacción entre plagas y enfermedades

Las plagas (insectos) de un agroecosistema, pueden afectar directamente la relación hospedante-fitopatógeno, si por ataque a los cultivos se disminuye la biomasa disponible para los fitopatógenos. También puede existir efecto indirecto de dos tipos: (1) por ataque a hospedantes alternos durante parte del ciclo de vida del patógeno y (2) vectores o diseminadores que llevan el inóculo entre hospedantes.

No existe mucha información acerca de microorganismos que puedan atacar insectos y plantas por igual, pero existe el caso de insectos que al actuar como vectores, pueden ver afectadas algunas de sus funciones vitales, por el hecho de albergar un fitopatógeno. Las relaciones vector-virus-planta útil, son muy complejas e interesantes desde el punto de vista biológico, tal vez la mayoría de los virus de importancia agronómica sean transmitidos por insectos (González, 1976). Entre los insectos vectores, los más importantes son los áfidos.

Interacción con factores ambientales

Los factores ambientales pueden afectar todo el ciclo de vida de un parásito, tal como se representó en la Figura 11.1. El ambiente también afecta el crecimiento de una población de parásitos. Tal vez los dos factores más importantes para este crecimiento sean humedad y temperatura.

González (1976) divide los patógenos que causan enfermedades de las plantas, según sus requerimientos de humedad. Hay patógenos que requieren lluvia para diseminarse seguida por alta humedad relativa y una película de agua para germinar y penetrar al hospedante; otros necesitan solamente alta humedad (sin necesidad de una película de agua). Algunos hongos pueden diseminarse en seco y sólo necesitan un corto período de humedad para germinar y penetrar. Por último, hay patógenos que no requieren humedad en ninguna de sus fases de desarrollo.

Diferentes enfermedades tienen diferentes requerimientos de temperatura. Algunas necesitan cierta temperatura durante una etapa específica como diseminación, inoculación, infección, etc. En general los virus son los parásitos que más responden a la temperatura (González, 1976).

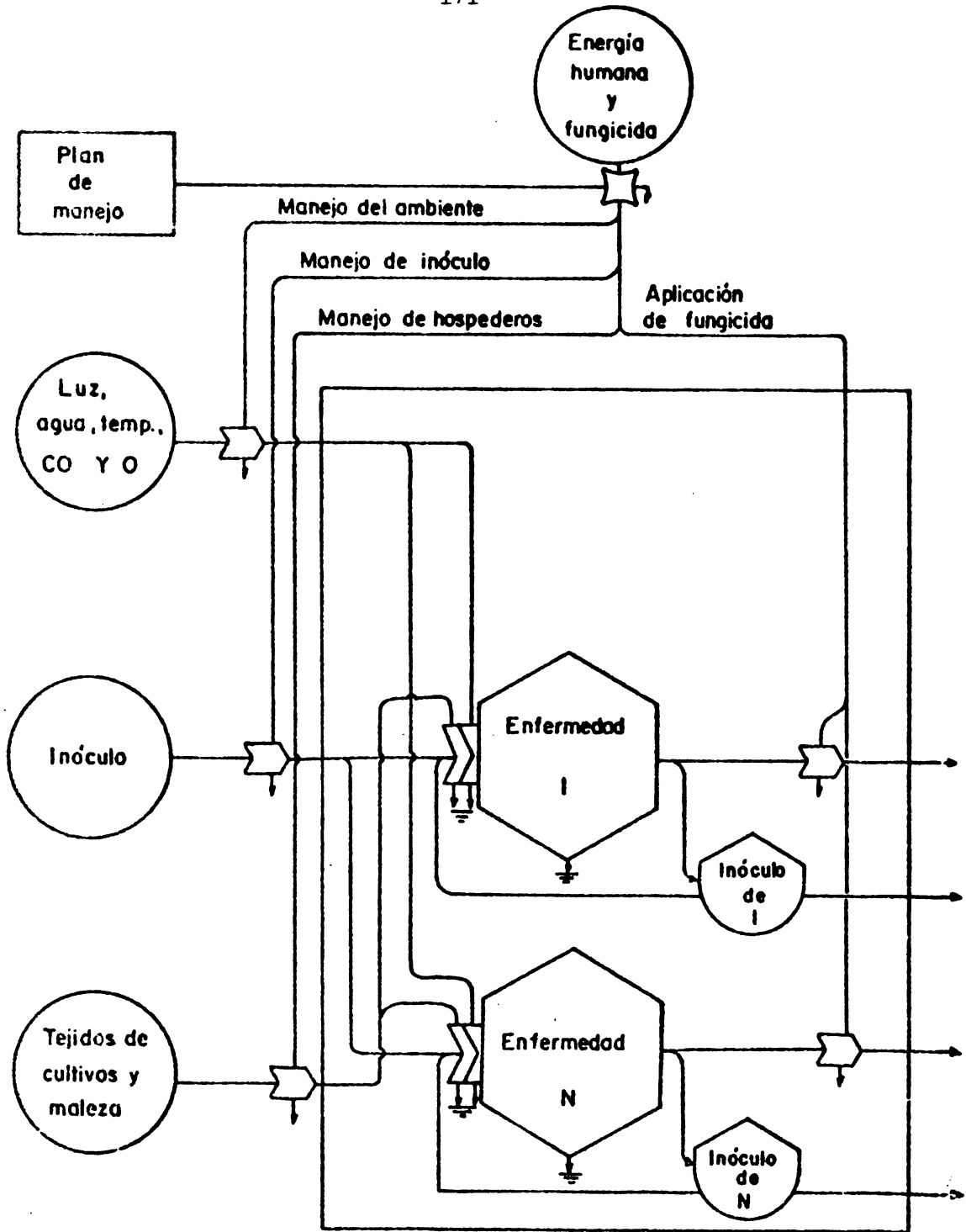


Figura 11.7 Flujo de energía y materiales en un sistema de fitopatógenos.

MANEJO DE ENFERMEDADES

En la Figura 11.7, se notará que hay cuatro tipos de entradas de energía humana que afectan al subsistema de fitopatógenos. Estos son: (1) manejo del flujo de entrada de inóculo, (2) manejo de la disponibilidad de tejidos de plantas y animales, (3) manejo de factores ambientales, y (4) manejo de fungicida. El plan de manejo de un agroecosistema (ver Capítulo 6) implementado por un agricultor puede considerar sólo uno de estos tipos de manejo o la combinación de dos o más de ellos.

Control de inoculante

A nivel de región geográfica es común usar procedimientos de cuarentena para excluir un patógeno. También es posible hacer algo similar a nivel de agroecosistema e incluso a nivel de la planta misma. Alrededor de una parcela se puede sembrar una barrera viva que reduce la posibilidad de que entre inoculante con el movimiento del aire o con el desplazamiento de algún insecto. A nivel de planta, hay evidencia preliminar que dos especies de cultivos sembrados juntos puede reducir el movimiento de inóculo; un cultivo funcionando como una barrera a los patógenos asociados con el otro cultivo (Moreno, 1975).

Eliminar los residuos de la cosecha anterior es otro procedimiento por medio del cual se reduce la cantidad de inóculo disponible para el nuevo cultivo.

Manejo de hospedantes

Una forma de disminuir el efecto de las enfermedades es proveer a los hospedantes de un ambiente adecuado a su desarrollo, de tal forma que su tasa de crecimiento sea mayor que la tasa de reproducción del patógeno. Otra forma, es reducir la cantidad de tejido susceptible y al mismo tiempo evitar la diseminación entre hospederos. Con una variedad resistente de un cultivo cualquiera, lo que sucede es que la cantidad de tejido susceptible se reduce. Otras variedades también resistentes inducen al patógeno a permanecer un período de incubación muy largo y por lo tanto se disminuye el número de veces en que pueden pasar de un hospedante a otro, durante la estación de cultivo.

Es común dividir la resistencia de plantas en dos tipos: vertical y horizontal. Robinson (1976) analiza estos tipos de resistencia y describe sus respectivas ventajas y desventajas. Resistencia vertical es un tipo de resistencia selectiva, a sólo unas pocas razas o variantes del patógeno. Tiene la ventaja de ser una protección casi completa, pero la desventaja que no protege por mucho tiempo, pues los fitopatógenos varían en su patogeneidad y al cabo de poco tiempo existe una variante o raza a la cual el cultivo ya no es resistente. Por el contrario, la resistencia horizontal no es selectiva y ofrece protección contra varios tipos de razas y es más permanente, en comparación con la resistencia vertical, la protección que ofrece, no es tan completa, ya que los cultivos sí sufren algún daño, aunque su producción todavía es aceptable.

Muchas veces se habla de resistencia externa, por ejemplo, cuando una planta presenta una barrera mecánica o química para impedir penetración de un patógeno, y de resistencia interna cuando la planta es protegida por características bioquímicas que afectan negativamente al parásito después que ya ha penetrado a la planta. Sin embargo, estos tipos de resistencia caen ya dentro de resistencia vertical o de horizontal.

Manejo del ambiente

Es difícil separar el manejo del ambiente del manejo de los hospedantes, porque al modificar estos últimos, también se modifica en cierta medida el ambiente.

La irrigación y el drenaje son prácticas de manejo del ambiente que pueden afectar la incidencia de un patógeno de la raíz. La orientación de las filas de siembra con respecto al desplazamiento del sol permite más o menos luz entre las filas y se afectan los patógenos foliares. El ordenamiento de la plantación con respecto al viento dominante en la región puede modificar en cierta medida la diseminación de los patógenos a través del viento y también afectar la pérdida de agua por las plantas.

El manejo de la vegetación del cultivo anterior (incorporación al suelo, uso como "mulch", o quema, eliminación) también modifica los caracteres del suelo (temperatura y flora microbiana) de tal forma que el ambiente es diferente para los patógenos radicales.

Manejo de fungicidas

El modo de acción de un fungicida puede ser de tipo erradicante, terapéutico o protector (González, 1976). Un fungicida erradicante mata parásitos ya establecidos; fungicidas terapéuticos curan las plantas infectadas; y fungicidas protectores proveen la penetración del parásito.

Los fungicidas pueden aplicarse a la semilla antes de sembrarla, al suelo, y al cultivo. Para tomar decisiones sobre cuál fungicida aplicar, dónde aplicarlo, cuándo aplicarlo, y cuánto aplicar es muy útil entender la estructura y función del subsistema de parásitos y la interacción de este subsistema con los otros subsistemas del agroecosistema. La introducción de un producto químico de tipo antibiótico puede tener efectos no esperados si no se entiende en realidad como funciona el sistema.

RESUMEN

Las poblaciones de fitopatógenos de un agroecosistema forman un subsistema que interactúa fuertemente con los subsistemas de suelos, cultivos, malezas y plagas. A pesar de que es difícil separar un parásito de su hospedero, los fitopatógenos pueden estudiarse como un sistema. El sistema tiene características de estructura relacionada con la estructura de los componentes (hongos, bacterias, nemátodos, etc.) y el arreglo de éstos en el espacio y en el tiempo; y características de función relacionada con los procesos fisiológicos de los componentes individuales, el proceso de diseminación de las diferentes poblaciones de organismos, y el desempeño del sistema como unidad. Además de la interacción directa con los hospederos de las enfermedades, el subsistema de enfermedades interactúa con las plagas (por ejemplo, un insecto puede ser vector) y con factores ambientales. Con un entendimiento de la estructura y función de un sistema de enfermedades, se pueden diseñar estrategias de manejo de enfermedades para incluirse dentro de un plan de manejo de un agroecosistema.

Los puntos sobresalientes de este capítulo, se pueden revisar contando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los microorganismos que son capaces de provocar enfermedades y por lo tanto componentes de un subsistema de fitopatógenos?

2. Identifique tres tipos de distribución espacial de los fitopatógenos dentro de un agroecosistema.
3. ¿Cuál es la diferencia entre un ciclo reproductivo del tipo "simple" y uno de tipo "múltiple" ?
4. ¿Por qué tipos de recursos compiten los fitopatógenos?
5. ¿Cuáles son los procesos que ocurren durante la fase de establecimiento de una relación patógeno-hospedante?
6. Cite dos ejemplos de interacción entre las plagas y las enfermedades de un agroecosistema.
7. Nombre cuatro estrategias para controlar enfermedades dentro de un agroecosistema.

LITERATURA CITADA

1. GONZALEZ, L. C. 1976. Introducción a la fitopatología. San José, Costa Rica. IICA. 148 p.
2. MORENO, R. A. 1975. Diseminación de *Ascochyta phaseolorum* en variedades de frijol de costa bajo diferentes sistemas de cultivos. Turrialba (Costa Rica) 35(4):361-364.
3. ODUM, E. P. 1972. Ecología. Traducido al español por C. G. Ottenwaelder. México, Nueva Editorial Interamericana. 639 p.
4. OORT, A. J. P. 1968. A model of early stage epidemics. Netherlands Journal of Plant Pathology (74):177-180.
5. ROBINSON, R. A. 1976. Plant pathosystems. New York, Springer-Verlag. 184 p.
6. ZADOKS, J. C. 1971. Systems analysis and the dynamics of epidemics. Symposium on dynamics of host-pathogen interactions and applications in plant improvement. Phytopathology (61):600-610.

CAPITULO 12: INTEGRACIONES DE LOS SUBSISTEMAS

Los conceptos básicos asociados con la estructura y la función de un agroecosistema se resumieron en el Capítulo 6. El sistema se dividió en cinco subsistemas que fueron: suelos, cultivos, malezas, insectos y enfermedades. La estructura y la función de estos subsistemas se describieron en los Capítulos 7, 8, 9, 10 y 11, respectivamente.

Para realizar investigación con un agroecosistema dado, es necesario enfocar este sistema como una unidad y ésto a su vez, requiere de la integración de los subsistemas. Este proceso de integración se dificulta por varias razones, entre ellas pueden citarse el tamaño del sistema, su complejidad y también el entrenamiento de los técnicos que van a realizar esta investigación, que generalmente se orienta por disciplinas muy especializadas.

En este capítulo, se describen dos formas de integrar los componentes que constituyen un agroecosistema. Una forma consiste en buscar un enlace entre modelos elaborado a nivel de subsistema, y otra forma consiste en identificar los tipos de flujos que los subsistemas tienen en común.

ENLACE ENTRE SUBMODELOS

Para cada subsistema descrito en los Capítulos del 7 al 11, se elaboró un modelo cualitativo que sirvió de base para discutir tanto la estructura como la función de estos subsistemas. Los modelos de los subsistemas del suelo, de los cultivos, de las malezas, de los insectos y de las enfermedades se describen en las Figuras 7.1, 8.5, 9.3, 10.3 y 11.7, respectivamente. Estos modelos aparecen todos juntos en la Figura 12.1

En la Figura 12.1 se observa que muchos de los flujos identificados como salidas de un subsistema aparecen como entradas a otros subsistemas. Por ejemplo, los nutrientes que salen del subsistema del suelo son entradas (fuentes) para los subsistemas de cultivos y malezas. La biomasa que sale del subsistema de malezas se convierte en una entrada para los subsistemas de insectos y de las enfermedades. La biomasa de los cultivos, de las malezas, de los insectos y de las enfermedades constituyen una

entrada de materia orgánica al subsistema de suelos.

Como la salida de un subsistema proviene de uno solo o de varios de los componentes de este subsistema, y también la entrada de un subsistema se incorpora a uno o varios de los componentes del otro subsistema, al conectar dos subsistemas, realmente se está conectando también uno o más de los componentes que integran a los diferentes subsistemas. En la simbología que se usa en este libro, se substituye un depósito, una planta o un animal del subsistema que es capaz de generar salidas, como una fuente (círculo) para el subsistema que acepta las entradas. Por ejemplo, en el diagrama del subsistema de cultivos, la entrada de nutrientes viene de una fuente; pero en el diagrama del subsistema de suelos los nutrientes disponibles se representan como un depósito.

Si se colocan los cinco modelos cualitativos de los subsistemas que se mencionaron anteriormente dentro de los límites de un cuadro, que represente realmente a los límites del agroecosistema, y luego se conectan los componentes que tienen una salida que a su vez es una entrada a otro componente, el resultado final es un modelo cualitativo a nivel de agroecosistema. Si un grupo multidisciplinario de investigadores que incluye especialistas en suelos, en cultivos, en malezas, en insectos y en enfermedades desea elaborar un modelo cualitativo de los respectivos subsistemas, ésto implica un trabajo en equipo para conectarlos. Esta experiencia puede ser una buena manera de integrar no sólo el agroecosistema, si no también al equipo mismo.

FLUJOS A NIVEL DE AGROECOSISTEMA

Una manera de entender la interacción entre los diferentes subsistemas de un agroecosistema, es describir el rumbo que toma un flujo específico que es común para varios subsistemas. En la descripción de la jerarquía de sistemas agrícolas que funcionan dentro de una región (Capítulo 3), se clasificaron las entradas y las salidas de los sistemas agrícolas en: materiales, energía, información y dinero. Los primeros tres de estos tipos de flujos entran y salen de un agroecosistema y también de todos los subsistemas. Aunque el dinero no es una entrada o una salida de un agroecosistema, es posible asignar un valor económico a muchas de las

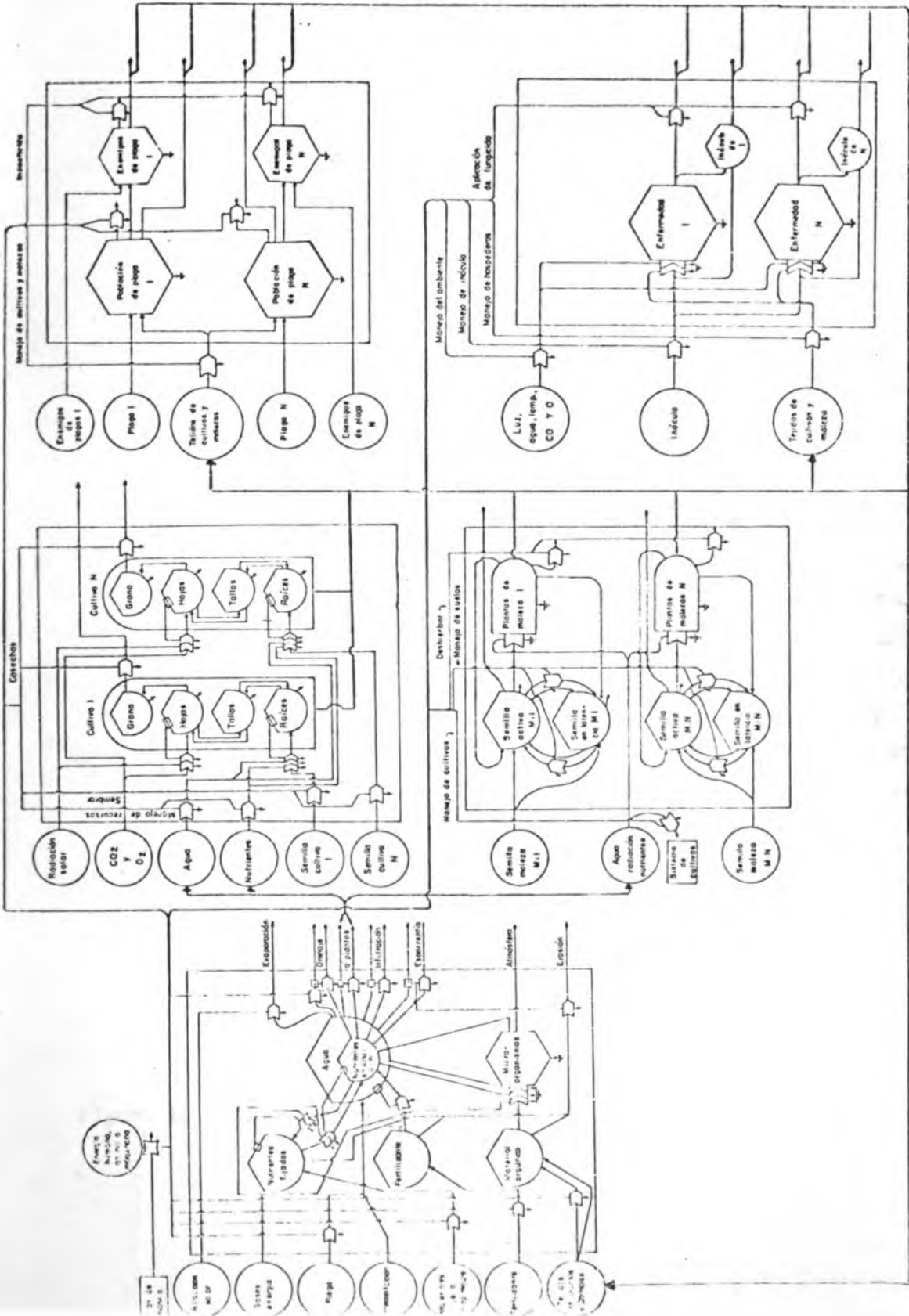


Figura 12.1 Un modelo de un agroecosistema elaborado por medio de la integración de modelos de los subsistemas de suelos, cultivos, malezas, plagas, y enfermedades presentados en los capítulos 6-11.

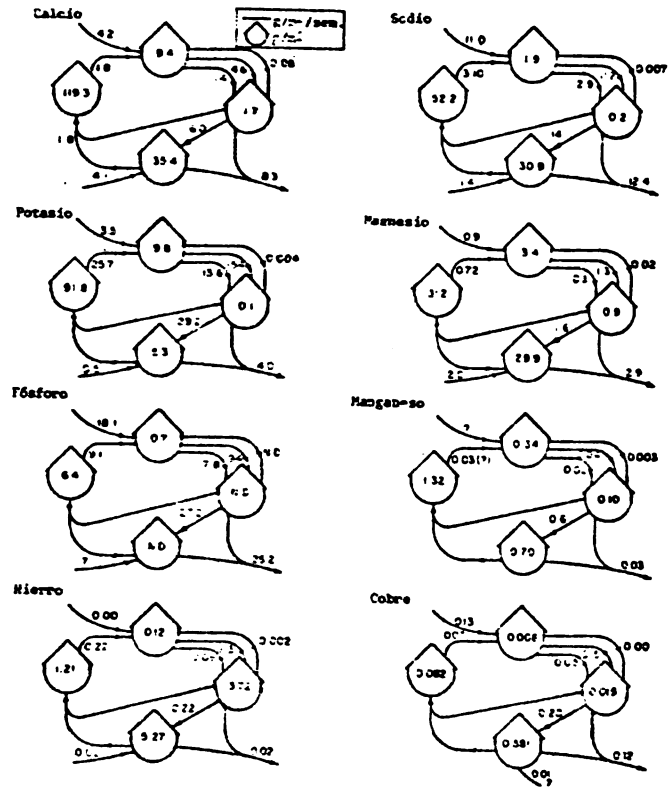
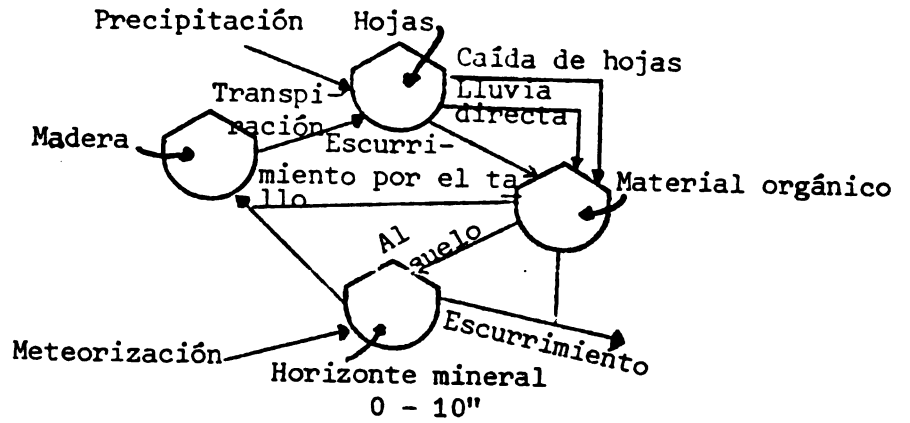


Figura 12.2 Los ciclos de nutrientes dentro de un bosque tropical en Puerto Rico (Jordan, 1970).

entradas y salidas, y también se puede usar el dinero como integrador del sistema.

Flujo de materiales

Los elementos químicos más usados para establecer las relaciones entre los diferentes componentes de un ecosistema natural son: nitrógeno, fósforo, carbón y también el agua (Reichle, 1975). Como se describió en el Capítulo 2, estos elementos fluyen -recirculan entre los componentes del ecosistema natural. Como un agroecosistema es también un ecosistema, con esta unidad agrícola se puede hacer algo similar, es decir, se puede seguir el rumbo de una molécula de nitrógeno que empieza en el suelo y circula de los cultivos o malezas hacia los insectos o a las enfermedades y regresa nuevamente al suelo. Lo mismo se puede hacer con el fósforo, con el carbón, y con cualquier otro elemento.

Para medir estos procesos a veces se calcula un balance similar a la contabilidad, es decir, se mide periódicamente la cantidad del elemento que interesa en cada componente o subsistema en algunas fechas determinadas y se comparan los resultados. Otro método sería un trazador radioactivo (por ejemplo, N_{15} , P_{32} , C_{14}). Lo que se hace, por ejemplo, es introducir P_{32} al suelo y trazar su absorción por las raíces, su paso a través de los insectos, de las enfermedades o caída de hojas y finalmente su retorno al suelo. Este método, obviamente requiere equipo más sofisticado que el método de balance cronológico.

El recirculamiento de los nutrientes es muy importante en los agroecosistemas con sistemas de cultivos con especies perennes. Molleapaza (1979), ha calculado que el laurel (*Cordia alliodora*) con la caída de las hojas aporta hasta 200 kg/ha de nitrógeno cuando está asociado con café. El recirculamiento también ha sido estudiado en el cacao (Hardy, 1961).

La Figura 12.2 describe los ciclos del calcio, del potasio, del fósforo y de otros elementos dentro de un bosque tropical en Puerto Rico (Jordan, 1970). Los elementos pueden incorporarse al ecosistema debido al agua que entra con la lluvia y con la meteorización de la roca madre. Los elementos circulan constantemente entre la comunidad biótica y el suelo. Un bosque es un ecosistema en un estado estable, y por lo tanto es muy diferente de un agroecosistema con cultivos anuales, que se caracteri

za por sus grandes fluctuaciones en la biomasa a través del tiempo. Sin embargo, es posible elaborar para un agroecosistema, diagramas similares a la Figura 12.2 e integrar así a los subsistemas hasta formar una unidad.

Una sustancia que fluye a través de los ecosistemas naturales y también a través de los agroecosistemas es el agua. La Figura 12.3 describe el flujo del agua en el mismo bosque tropical en Puerto Rico (Odum et al. 1970). El agua procedente de la lluvia entra al suelo directamente y también indirectamente, por medio de la escorrentía a través de las hojas y del tallo. El agua sale a través de la evaporación, la transpiración y la escorrentía. También es posible integrar los subsistemas de un agroecosistema, elaborando un balance hídrico como el que aparece en la Figura 12.3. En ambientes semi-áridos, la eficiencia en el uso y en el mantenimiento del agua almacenada dentro del sistema serían criterios importantes para considerar en el diseño de nuevos agroecosistemas.

Flujo de energía

Todo agroecosistema se caracteriza por un flujo de energía. Como se describe en el Capítulo 2, el flujo es en una sola dirección; no existe recirculación de energía. Es posible integrar los diferentes subsistemas de un agroecosistema, cuantificando las entradas de energía y la eficiencia con que la energía se convierte en biomasa dentro de los diferentes subsistemas. En el Capítulo 8 se presentaron algunos índices de eficiencia y productividad para cuantificar estos flujos.

El flujo de energía generalmente se mide en unidades de calorías, kilo-calorías (Kcal) o mega-joule (MJ), y se calcula por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Por ejemplo, la energía solar disponible para un agroecosistema en el trópico generalmente es de alrededor de $4000 \text{ Kcal/m}^2/\text{día}$ ($1,500,000 \text{ Kcal/m}^2/\text{año}$). Para describir el flujo de energía a través de un ecosistema o un agroecosistema, se elabora un presupuesto similar al tipo elaborado para describir el ciclaje de un elemento, pero con la diferencia de que la energía entra y sigue diferentes rumbos y se convierte ya en biomasa o en calor, pero nunca forma un ciclo.

Una buena manera para trazar el flujo de la energía, es describir el ciclo del carbón (Reichle, 1975). El CO_2 de la atmósfera se incor

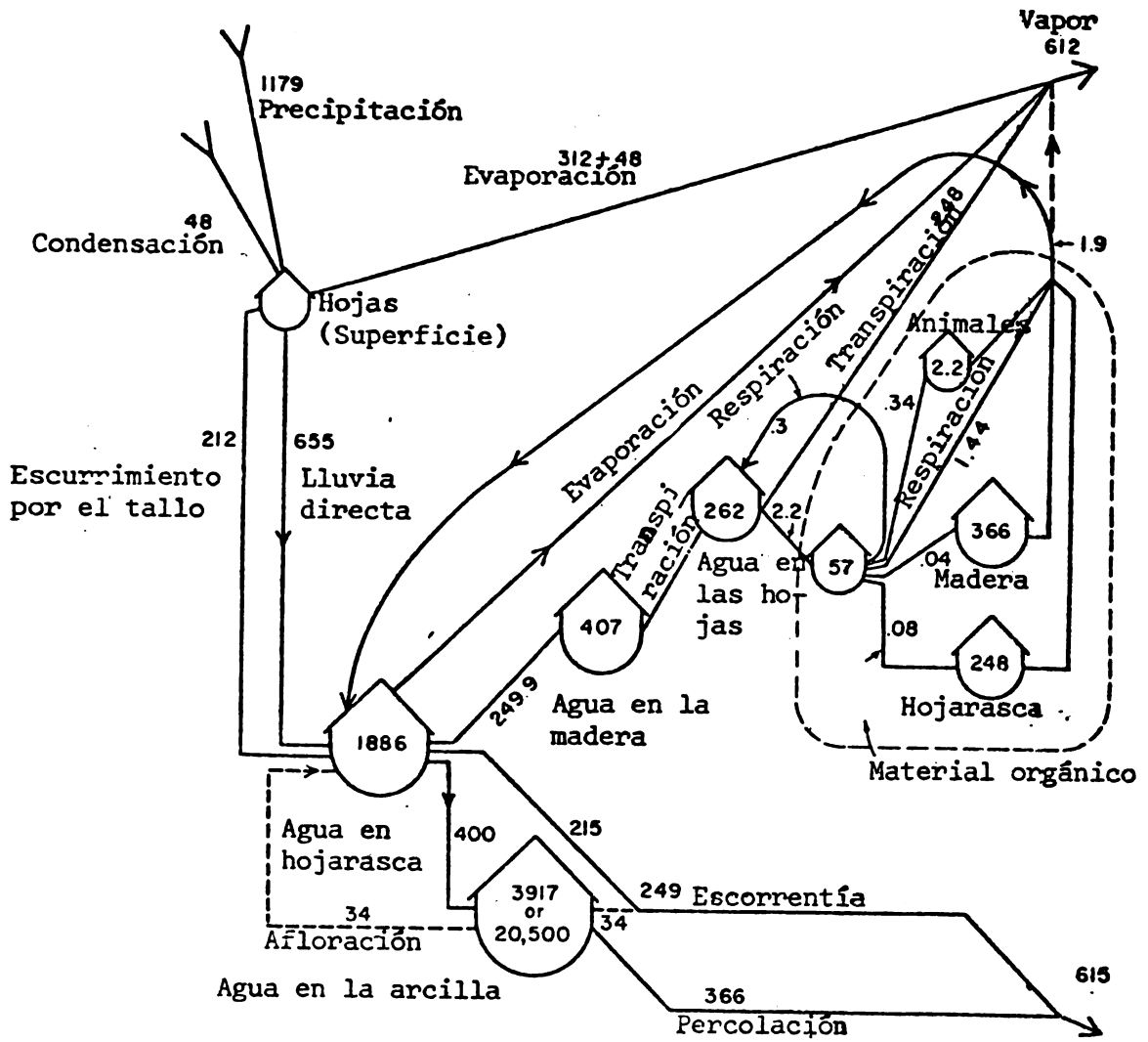


Figura 12.3 El flujo del agua por un bosque tropical en Puerto Rico (Odum et al. 1970).

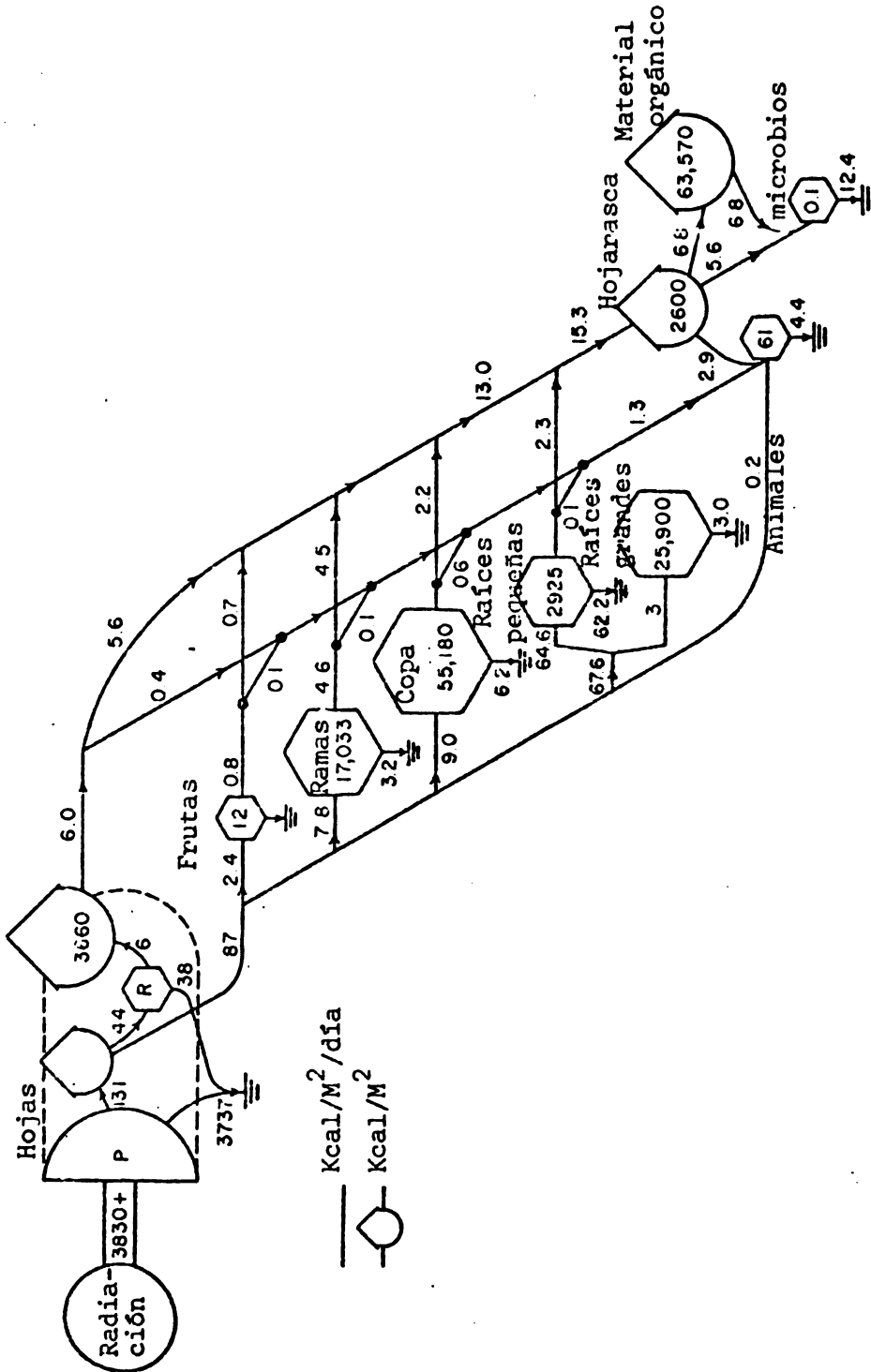


Figura 12.4 El flujo de energía por un bosque tropical en Puerto Rico (Odum, 1970).

pora a los cultivos y a las malezas del agroecosistema a través de la fotosíntesis. Los componentes del sistema son realmente almacenadores de carbón. El carbón almacenado puede convertirse a kilo-calorías, multiplicando por el factor 4 Kcal/g (Odum, 1971). La energía sale de las plantas a través de la respiración y también a través del consumo de la biomasa por los herbívoros. En el proceso de la respiración los carbohidratos se combinan con el oxígeno librando energía, agua y CO_2 . De esta energía, una parte se usa en el crecimiento de la planta, otra se pierde en forma de calor. Los herbívoros que consumen las plantas respiran y a su vez son consumidos por los carnívoros que también respiran.

En el Capítulo 2 se describen algunos índices energéticos tales como la producción primaria bruta, la producción primaria neta y otros. Estos índices también son aplicables a los agroecosistemas. Por ejemplo, se ha calculado que la producción primaria bruta de una parcela de caña de azúcar es de $74 \text{ Kcal/m}^2/\text{día}$ (Odum, 1971), pero esta cantidad incluye solamente el subsistema de cultivos, es decir la caña, y no las malezas u otros subsistemas del agroecosistema.

En un estudio de un agroecosistema cuyo subsistema de cultivos estaba compuesto de frijol, maíz y yuca intercalados, se midió la producción de biomasa de los cultivos y también la producción de biomasa de malezas; de ello se obtuvo una producción de biomasa total de aproximadamente $25 \text{ TM/ha/36 semanas}$ (Hart, 1974). Esta cifra en términos energéticos equivale a $40 \text{ Kcal/m}^2/\text{día}$, pero la energía en la biomasa producida es realmente producción primaria neta y no bruta. Si se supone que aproximadamente el 33% de esta producción primaria se usa en el proceso de respiración (un porcentaje común para cultivos), la producción primaria bruta del agroecosistema resultaría de aproximadamente $60 \text{ Kcal/m}^2/\text{día}$; que es una cifra similar a la estimación hecha para la caña de azúcar. La Figura 12.4 es un resumen de los flujos energéticos en un bosque tropical de Puerto Rico (Odum, 1970). Este bosque tiene una producción primaria bruta de $131 \text{ Kg/m}^2/\text{día}$. En la Figura 12.4 se puede notar la cantidad de energía almacenada en forma de biomasa en cada componente y esto es producción secundaria del bosque.

Leach (1976) ha elaborado balances energéticos para muchos sistemas agrícolas. Para calcular el valor energético del nitrógeno en fertilizan

tes, él cuantifica la energía usada en el proceso industrial para producir un kg de N (aproximadamente 20,000 Kcal/kg). También, como un hombre necesita en promedio aproximadamente 2,400 Kcal/día para vivir (Leach, 1976), se puede convertir el trabajo de un hombre en energía y expresarlo en esos términos. En trabajos de investigación con agroecosistema "no ecológicos" a veces se pretende que salga más energía de la que entra, lo que es totalmente imposible desde el punto de vista ecológico. Generalmente, en los cálculos de balances energéticos de este tipo, la energía solar que se incorpora a los sistemas no se toma en cuenta.

En muchos agroecosistemas la mano de obra (energía humana) entra a todos los subsistemas. En estos casos, una forma de integrar los subsistemas es elaborando un cuadro en donde se anote la cantidad de energía humana que entra a cada subsistema durante el ciclo de producción del agroecosistema.

Flujo de información

En el Capítulo 6, se introdujo el concepto de "plan de manejo". Según este concepto la energía humana y los insumos agrícolas entran a un agroecosistema de acuerdo con una serie de decisiones del agricultor. El toma estas decisiones con base en información procedente del calendario, del ambiente y del estado del agroecosistema. El plan de manejo influye sobre todos los subsistemas y por lo tanto, la elaboración de un plan de manejo a nivel de agroecosistema sirve también para integrar los subsistemas. Como el plan de manejo enfatiza lo que hace el hombre, es posible que un "plan de manejo" también pueda servir como vehículo para transmitir las recomendaciones a nivel del agroecosistema del investigador al agricultor.

Flujo de dinero

Aunque el dinero propiamente tal no entra ni sale de un agroecosistema, un análisis económico de diferentes modificaciones de un agroecosistema, donde se asigne un valor monetario a diferentes flujos que entran y salen de un agroecosistema puede servir para integrar a los subsistemas.

Un cambio en el manejo del suelo puede implicar un cambio en el mane

jo de los cultivos, de las malezas, de los insectos y de las enfermedades. Se puede asignar un valor a estas diferentes intervenciones en los diferentes subsistemas, también asignar un valor al producto total que sale del agroecosistema, y luego calcular el ingreso neto. Esta es una buena manera de identificar la interacción entre los subsistemas e integrar consecuentemente el agroecosistema.

RESUMEN

Un agroecosistema es un conjunto de subsistemas. Para integrar estos subsistemas y los procesos asociados con ellos, se pueden elaborar modelos cualitativos para cada subsistema y buscar enlaces que ocurren cuando una salida de un subsistema es la entrada de otro. También es posible identificar flujos que pasan o circulan entre los diferentes subsistemas. Los flujos de materiales y energía son de este tipo. El concepto de "plan de manejo" a nivel de agroecosistema y análisis económico también sirve para integrar los subsistemas y formar la unidad agroecosistema.

Los puntos sobresalientes de este capítulo se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles salidas del subsistema suelo son entradas a los subsistemas de cultivos y malezas?
2. ¿Cuáles salidas del subsistema maleza son entradas al subsistema insectos? ¿Al subsistema suelos?
3. ¿Cuáles son los dos métodos para calcular un ciclo de fósforo dentro de un agroecosistema?
4. ¿El agua, tiene utilidad como integrador de agroecosistemas?
5. Una productividad primaria bruta de $500 \text{ Kcal/m}^2/\text{día}$ para un agroecosistema sería ¿Muy baja, regular o muy alta?
6. Basándose en el concepto "plan de manejo" con base a qué información toma decisiones el agricultor?
7. ¿Cómo puede el dinero integrar un agroecosistema si no entra o sale de esta unidad?

LITERATURA CITADA

1. HARDY, F. 1961. Manual de cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 439 p.
2. HART, R. D. 1974. The design and evaluation of a bean, corn and manioc polycultures cropping system for the humid tropics. Ph.D. dissertation. University of Florida. 158 p.
3. JORDAN, C. F. 1970. A progress report on studies of mineral cycles at El Verde. In H. T. Odum (Ed.) A tropical rain forest. H 217-219. U. S. Atomic Energy Commission.
4. LEACH, G. 1976. Energy and food production. IPC Science and Technology Press. England. 137 p.
5. MOLLEAPAZA, J. E. 1979. Producción de biomasa de poró (*Erythrina poeppiglinna*) y del laurel (*Cordia alliodora*) asociados con café. Tesis de M.S. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
6. ODUM, H. T. 1970. Summary: an emerging view of the ecological system at El Verde. In H. T. Odum (Ed.) A tropical rain forest. I 191-281. U. S. Atomic Energy Commission.
7. _____ 1971. Environment, power, and society. Wiley, New York. 331 p.
8. _____, MOORE, A. M. and BURNS, L. A. 1970. Hydrogen budget and compartments in the rain forest. In H. T. Odum (Ed.) A tropical rain forest. H 105-122. U. S. Atomic Energy Commission.
9. REICHLER, D. E. 1975. Advances in ecosystem analysis. Bioscience 25(4):257-264.

CAPITULO 13: INVESTIGACION

El estudio de conceptos tiene poca utilidad si estos conceptos no se aplican por medio de la investigación. En este libro se han enfatizado los conceptos básicos necesarios para hacer investigación en agroecosistemas, pero no se ha discutido en detalle su implementación dentro de un programa de investigación.

La investigación agrícola es la búsqueda de entrenamiento y la aplicación de este entendimiento al mejoramiento de la agricultura. Los conceptos que forman el marco para esta actividad tienen mucha influencia sobre cómo ésta es realizada. El adoptar un enfoque de sistemas es una decisión filosófica, y se espera que al aplicar los conceptos asociados con este enfoque debería haber diferencias entre la investigación tradicional y la investigación con agroecosistemas.

Este capítulo incluye una breve discusión de la base filosófica para la investigación con agroecosistemas y una descripción general de los tipos de estudios, experimentos y modelos usados para este tipo de investigación.

LA BASE FILOSOFICA

Si la investigación es la búsqueda del entendimiento, hay dos filosofías importantes que pueden guiar esta búsqueda. Se puede buscar el entendimiento de un fenómeno bajo un enfoque atomístico o bajo un enfoque de sistemas (Laszlo, 1972). Bajo el enfoque atomístico, el investigador asume que se debe buscar el entendimiento de un fenómeno mirando en más y más detalle los componentes que forman ese fenómeno. Bajo el enfoque de sistemas, el investigador asume que se debe buscar el entendimiento mirando la relación entre los componentes (la estructura del sistema) y el desempeño (la función del sistema) del fenómeno.

Los enfoques atomísticos y de sistemas no son mutuamente excluyentes, ya que pueden combinarse aspectos de ambos enfoques. Es más una cuestión de énfasis, que de adoptar uno y rechazar otro. En la investigación agrícola se ha dado mucho énfasis al atomismo; el resultado ha sido la especialización en disciplinas enfocadas a unidades más y más pequeñas. El

interés en el enfoque de sistemas, y la formación de equipos multidisciplinarios dentro de muchos programas de investigación agrícola, es testimonio al reconocimiento de la necesidad de dar más énfasis a la relación entre los componentes y el desempeño de los fenómenos como unidades.

La investigación con agroecosistemas requiere el entendimiento de los componentes del sistema así como de la estructura y función del sistema como una unidad. Filosóficamente, se requiere más peso al enfoque de sistemas y menos al enfoque atomístico. Esto no quiere decir que los especialistas en las disciplinas tradicionales como edafología, genética, control de malezas, entomología y fitopatología no tengan un papel muy importante. Pero sí implica la integración de estas disciplinas, o sea la formación de equipos multidisciplinarios. También implica la necesidad de incluir un ecólogo, o mejor dicho un agroecólogo, como miembro del equipo con la función de integrar las disciplinas.

En el Capítulo 3 se mencionó el principio de "tres niveles mínimos". Si los sistemas agrícolas se conceptualizan como un conjunto de sistemas jerárquicos, bajo este principio se plantea la necesidad de estudiar un mínimo de tres niveles de sistemas jerárquicos para poder entender un fenómeno. Para hacer investigación en un agroecosistema es necesario estudiar la finca, el agroecosistema como unidad y los subsistemas del agroecosistema. Pero si el agroecosistema es la unidad de prioridad, los estudios a nivel de finca y de subsistema tienen que incluir solamente el detalle necesario para entender cómo funciona el agroecosistema. Como una finca tiene características socio-económicas (ver Capítulo 5), la participación de un economista u otro representante de las ciencias sociales, puede ser de mucha utilidad. Como se menciona arriba, las disciplinas tradicionales juegan un papel muy importante en el estudio de los subsistemas.

TIPOS DE INVESTIGACION

Salmon y Hanson (1964) en su libro sobre los principios de investigación agrícola identifican los siguientes métodos de investigación:

1. Inductivo-deductivo (a veces denominado método científico).

POR SISTEMA JERARQUICO

POR SUBACTIVIDAD EN EL TIEMPO

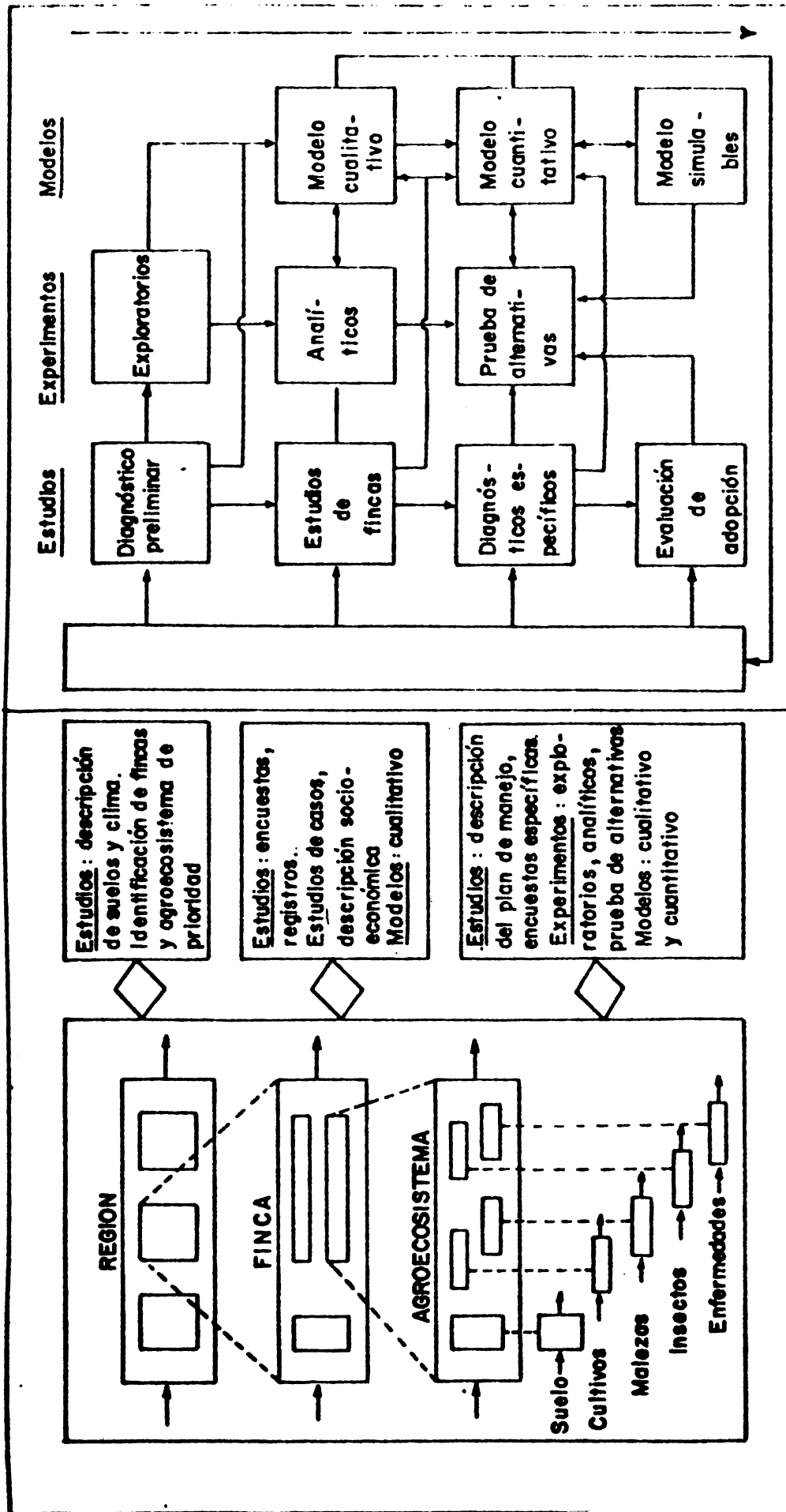


Figura 13.1 La función de estudios, experimentos y la elaboración de modelos dentro de un programa de investigación, y la interacción entre estas actividades.

Consiste en: (a) colección de información, (b) formulación de una hipótesis, (c) deducción de cómo debería ser la realidad, si la hipótesis fuera cierta y (d) verificación de las conclusiones deducidas con observaciones de la realidad.

2. Empírico: consiste en la observación o experimentación sin una teoría o hipótesis. Una prueba de variedades sigue este método.
3. Estudio de caso: consiste en estudiar cuidadosa y detalladamente uno o muy pocos casos representativos. Este método es muy común en economía, medicina y antropología.
4. Encuestas: consiste en el examen superficial de muchos casos.
5. Historia: consiste en el conocimiento y análisis de la evolución histórica. Este método es usado comúnmente en antropología.

La aplicación de estos métodos de investigación a un agroecosistema implica la realización de ciertas actividades. Estas actividades pueden ser de tres tipos: (1) estudios: incluye encuestas, estudios de casos, análisis históricos, etc., (2) experimentación: incluye experimentos empíricos y también de tipo inductivo-deductivo y (3) elaboración de modelos: incluye la formulación de conjuntos de hipótesis cualitativas, modelos matemáticos y la síntesis de la información para la transmisión de los resultados. La Figura 13.1 describe algunas subdivisiones de estos tres tipos de investigación y la forma en que se integran. También bosqueja, en forma general, la división de las actividades por sistema jerárquico y un posible orden cronológico de estas actividades.

Estudios

El primer paso en una investigación con agroecosistemas es la identificación y descripción de la finca, del agroecosistema y de los subsistemas. Si la investigación forma parte de un programa de desarrollo a nivel regional, estas actividades pueden estar incluidas dentro del diagnóstico a nivel regional. Este diagnóstico puede ser estructurado y realizarse por medio de una encuesta formal, o puede ser menos estructurado y realizarse con observaciones informales. Para los propósitos de una in

vestigación con agroecosistemas, lo más importante es que los resultados incluyan la identificación del tipo de agroecosistema que merece estudio y la identificación del tipo de finca donde esta unidad funciona como un subsistema.

Hay diferentes formas de describir una finca. En el Capítulo 5, se describieron las ventajas relativas de registros de finca y estudios de casos. Para los propósitos de una investigación con un agroecosistema específico, lo más importante es la identificación de las entradas y salidas del agroecosistema de interés y la relación entre esta unidad y los otros subsistemas de la finca. El objetivo es entender el marco dentro del cual funciona el sistema. Esta información es muy importante para la evaluación de posibles modificaciones o alternativas al agroecosistema. Si el agroecosistema provee alimentación para un animal dentro de la finca, la evaluación de posibles modificaciones agronómicas también tiene que tomar en cuenta esta función.

A veces es necesario hacer estudios específicos para complementar la experimentación y elaboración de modelos. Por ejemplo, si existen dudas acerca de si una especie de insectos es un componente importante del subsistema de insectos, se puede realizar una encuesta específica para averiguar si los agricultores piensan que el insecto es una plaga importante o no. Si existen dudas acerca de qué bases considera el agricultor al tomar decisiones de manejo, se puede hacer un estudio específico para clarificar este aspecto.

Experimentos

Existen diferentes tipos de experimentos con agroecosistemas. La experimentación en sí no es una meta; siempre debería tener objetivos asociados con los objetivos de la investigación en general. Algunos experimentos están asociados con los objetivos a corto plazo y pueden ser diseñados con énfasis en la identificación de tecnología viable; otros experimentos pueden ser de tipo básico, con énfasis en el entendimiento e implican objetivos a largo plazo. En la Figura 13.1, los experimentos están divididos en exploratorios, analíticos y pruebas de alternativas.

Los experimentos exploratorios tienen como objetivo principal cono-

cer mejor la estructura y función del agroecosistema y requieren la consideración de todos los componentes y subsistemas. Los experimentos de este tipo se relacionan directamente con la elaboración de modelos (diagrama) cualitativos. Los experimentos ayudan a definir los componentes, la interacción entre éstos y los límites del sistema. En general los experimentos exploratorios incluyen muchos factores, y pocos niveles de cada factor; lo ideal sería incluir niveles que causen un efecto obvio.

Un ejemplo de experimento exploratorio con un agroecosistema, puede ser un experimento con tratamientos de dos niveles de manejo de suelo, dos frecuencias de limpieas, dos variedades de todos los cultivos, dos niveles de insecticidas y dos niveles de fungicidas. Si el sistema de cultivos tiene dos cultivos, usándose un diseño factorial, el experimento tendría $64 (2^6)$ tratamientos. Al usarse un diseño factorial incompleto con 1/2 repeticiones (Peterson, 1976), el experimento requerirá 32 parcelas.

Otro tipo de experimento con agroecosistemas son los experimentos analíticos. El objetivo de éstos es definir la relación entre la estructura y la función del sistema. Estos experimentos tienen un enlace directo con la elaboración de modelos cuantitativos.

La producción de un agroecosistema es una salida(s) del sistema. La salida de un sistema es una función de las entradas ($E_1, E_2 \dots E_n$), las características de los componentes ($C_1, C_2 \dots C_n$), y la interacción entre éstos.

$$S = f(E_{1-n}, C_{1-n}, C_1 \times C_2, \dots C_{n-1} \times C_n)$$

Muchas de las entradas, componentes, e interacciones entre los componentes son modificaciones hechas por el agricultor. La idea en un experimento analítico es escoger tratamientos que ayuden a cuantificar el efecto de modificar las entradas y/o la estructura sobre el desempeño (especialmente producción) del sistema.

Un ejemplo de experimento analítico es un experimento donde se aplicán 5 niveles de nitrógeno y se mide el efecto sobre la función de los diferentes componentes del agroecosistema y del sistema total. Comúnmente se elaborará una ecuación de regresión que describa la respuesta de un cultivo a diferentes niveles de fertilizante. Se puede hacer al

go similar con los otros componentes (como malezas, insectos, etc.) y con el sistema total. Como medida del sistema total se puede usar la producción primaria neta (ver Capítulos 2 y 12), el ingreso neto u otro índice que describa la función de un agroecosistema como unidad.

Un tercer tipo de experimentación con agroecosistemas es la prueba de alternativas. La razón principal de los experimentos exploratorios y analíticos es obtener información suficiente para diseñar mejores agroecosistemas. En este proceso se han seguido dos estrategias principales: (1) la modificación del agroecosistema existente y (2) la aplicación de principios al diseño de nuevos sistemas. La primera estrategia ha recibido más atención que la segunda, porque hasta el momento existen muy pocos principios de diseño.

En un agroecosistema pueden hacerse tres tipos de modificaciones:

1. Cambiar el manejo
2. Cambiar el sistema de cultivos
3. Cambiar el manejo, y también el sistema de cultivos

Ejemplos del primer tipo pueden ser cambios en el nivel de insumos aplicados, en la preparación del suelo, en el número de limpiezas y otros. Ejemplos del segundo, cambios en los cultivos propiamente, o cambios en el arreglo espacial y/o cronológico de éstos. Los cultivos se pueden modificar cambiando la intensidad (población) y diversidad (número de especies), substituyendo un cultivo por otro, o haciendo combinaciones con estos cambios.

En base a los resultados de los experimentos exploratorios y analíticos se identifican modificaciones en el agroecosistema, la hipótesis es que el agroecosistema modificado va a funcionar "mejor" que el agroecosistema original. Antes de plantear el experimento hay que decidir qué entendemos por "mejor". Los Capítulos 6 y 8 tienen algunos ejemplos de índices de evaluación de agroecosistemas y sistemas de cultivos, respectivamente. Un experimento para probar alternativas generalmente requiere pocos tratamientos y es relativamente simple de realizar. Es por esto que muchos técnicos con la presión de producir tecnología a corto plazo se saltan los pasos de exploración y análisis y empiezan inmediatamente con los experimentos.

Hace mucha falta la identificación de principios de diseño. Se necesitan experimentos con el objetivo principal de identificar estos principios. Un principio es una teoría global y por lo tanto, generalmente, el resultado de mucha investigación. Un ejemplo de este tipo de experimentación es el trabajo de Burgos y Meneses (1979) en Costa Rica. Los resultados preliminares indican que la textura del suelo parece estar relacionada con la posibilidad de sembrar cultivos en asociaciones espaciales (intercalado). Para evaluar este principio se sembró una serie de experimentos en diferentes fincas con distintas texturas de suelos. El principio será aplicable a situaciones en donde no exista información sobre la posibilidad de sembrar sistemas de cultivos intercalados.

Elaboración de modelos

Los modelos tienen un papel muy importante en la investigación de los agroecosistemas. Como se observa en la Figura 13.1, la elaboración de modelos debería estar siempre conectada a la realización de estudios y experimentos.

Diferentes autores han elaborado esquemas para clasificar los modelos; por ejemplo Innis (1975) divide los modelos en abstractos y físicos, y después subdivide estos tipos en dinámicos y estáticos, lineales y no lineales, estables y no estables, etc. De la combinación de estos tipos, surge el esquema de clasificación. Quizá gran parte de estos tipos de modelos no serán de utilidad en la investigación con sistemas agrícolas en el futuro próximo, pero en los últimos años son muchos los investigadores que han puesto el énfasis en su elaboración (Van Dyne y Ambramsky, 1975).

Los modelos físicos son fenómenos reales; por ejemplo, mucha de la investigación aerodinámica y de diseño de aviones se basa en los resultados obtenidos con aviones pequeños. En la investigación agrícola también es muy común usar modelos físicos. Un buen ejemplo es la parcela experimental. La parcela es un sistema real, pero también es una simplificación (un modelo) de un campo real dentro de la finca. A pesar de que, en muchos sentidos, la parcela experimental es diferente al campo real, se supone que es aceptablemente semejante a la finca del agricultor y que los resultados obtenidos con el modelo (la parcela) son extrapolables a fincas reales.

Otro ejemplo del uso de modelos físicos en agricultura es la elaboración de módulos de producción animal. Dentro de un campo experimental se construyen complejos físicos con superficies fijas y con un número específico de animales. Después de probar el módulo (modelo físico) por un tiempo y conseguir resultados satisfactorios, se transmite una descripción del mismo a los productores.

Los modelos abstractos son muy diferentes a los modelos físicos. La idea de simplificar la realidad y experimentar con el modelo en vez de con los fenómenos reales es similar, pero los modelos abstractos son representaciones conceptuales. Los modelos abstractos pueden ser dibujos, gráficos, diagramas, ecuaciones u otros. Como los modelos abstractos no tienen características físicas ni bióticas, son mucho más manejables y flexibles que los modelos físicos. En general, las siguientes características son propias de los modelos abstractos.

Un modelo puede ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Por ejemplo, si un sistema de cultivos incluye dos cultivos (digamos maíz y frijole), se puede elaborar un modelo (una hipótesis) relacionando la fecha relativa de siembra de ambos cultivos, y la producción del sistema. Un ejemplo hipotético de modelo cualitativo para esta relación sería: "La producción máxima del sistema maíz y frijol intercalado ocurre cuando los dos cultivos se siembran en la misma fecha; el cambiar este arreglo cronológico, sembrando cualquiera de los cultivos antes o después, reduce la producción del sistema". Esta descripción tal como se lee arriba, o descrita en un gráfico o un diagrama, es un modelo cualitativo porque no cuantifica la relación. Un modelo cuantitativo de esta relación puede ser: "para cada 10 días de diferencia entre la siembra de los dos cultivos, la producción del sistema se reduce en un 5%".

Los modelos pueden ser de tipo estático o dinámico. Son modelos estáticos los que no toman en cuenta el factor tiempo. Los modelos estadísticos, como modelos de regresión son de este tipo. Si se elabora una ecuación de regresión relacionando el nivel de fertilizante y el rendimiento de un cultivo, el modelo producido es estático porque no toma en cuenta el desempeño del cultivo ni el uso de los fertilizantes en el tiempo.

El modelo dinámico describe el desempeño del sistema. El modelo di

námico de un fenómeno como el sistema de cultivo, describe el crecimiento de los cultivos en el tiempo, y no solamente su rendimiento en un momento del tiempo. Matemáticamente, estos modelos son ecuaciones diferenciales. Los modelos dinámicos de agroecosistemas describen, no solamente el desempeño de los cultivos, si no también el desempeño de los suelos, malezas, insectos y enfermedades.

La elaboración de modelos es una actividad muy interesante. Por ésto es muy fácil poner demasiado énfasis sobre la elaboración de modelos y no pensar suficiente en el uso práctico para éstos. Para evitar esta tendencia se debe recordar siempre que los modelos son herramientas y no objetivos. Los usos de modelos que se describen a continuación están ordenados en relación al nivel de complejidad del modelo necesario. Por ejemplo, el primer uso requiere solamente un modelo cualitativo; el quinto, requiere un modelo matemático.

1. Integración del equipo multidisciplinario

Un problema que a veces ocurre en la investigación con sistemas agrícolas es que los miembros del equipo multidisciplinario conceptúan en forma diferente el fenómeno que están estudiando. Si el grupo que trabaja junto elabora un diagrama cualitativo del sistema que se está investigando, el modelo sirve para mostrar a cada miembro del equipo cómo su disciplina (componente del sistema) interactúa con las otras disciplinas del equipo. Aunque nunca se lleguen a cuantificar los flujos del modelo, éste ha jugado un papel muy importante en la integración del equipo.

2. Identificación de la información faltante

Si se toma un modelo cualitativo y se ponen números reales dentro del diagrama, se percibe de inmediato cuál es la información que no existe. Cuando se planifican experimentos con el sistema real, lo lógico es preguntarse si los resultados obtenidos ayudarán a llenar estos huecos o si solamente serán una repetición de la información que se tiene. El modelo cuantitativo es una síntesis de lo que se sabe y lo que no.

3. Clasificación de hipótesis específicas

Al elaborar las ecuaciones que describen las variables del estado de un modelo, es necesario plantear hipótesis específicas. Por

ejemplo, si se define el desempeño de un cultivo como una función de agua, N, P, radiación solar, insectos y enfermedades, se están planteando hipótesis específicas. No incluir el azufre en la ecuación es una hipótesis de que este elemento no es un factor limitante. Si no hay evidencia para aceptar o rechazar esta hipótesis, lo lógico es conducir un experimento para evaluarla. Este uso del modelo cuantitativo puede ser muy importante, aunque nunca se llegue al nivel matemático para simular el modelo en un computador.

4. Evaluación de principios generales

Cuando existe suficiente información para elaborar un modelo matemático que funcione más o menos bien, aunque no represente exactamente un sistema real específico, el modelo puede servir para evaluar principios generales. El objetivo principal cuando se hacen simulaciones de este tipo, es entender cómo funciona el sistema. Este tipo de modelo es muy común en ecología (E. P. Odum, 1972; H. T. Odum, 1971). Se usan modelos generales de competencia, interacción entre poblaciones de tipo depredador-presa, etc., para evaluar relaciones entre características como diversidad y estabilidad. Smith (1974) ha hecho un resumen del uso de este tipo de modelo en ecología. Existen pocos ejemplos con sistemas agrícolas.

5. Predicción de resultados específicos

Este uso requiere un tipo de modelo sofisticado. Cuando existe, es posible conducir en pocos minutos un análisis que tomaría muchos años de experimentación con el sistema real. Obviamente, el problema es la elaboración de un modelo de este tipo pues se requiere mucha información. En general, los procesos físicos son más fáciles de modelar que los procesos bióticos (los procesos sociales son aún más difíciles). Es lógico, entonces, que el mayor éxito obtenido por la investigación agrícola con este tipo de modelo haya sido con sistemas de riego.

Si el uso principal que se le va a dar a un modelo es la predicción, y no hay necesidad de entender cómo funciona exactamente el sistema, se pueden elaborar modelos matemáticos de tipo "caja negra". Bajo este enfoque, no se pone mucha atención a las interacciones que ocurren dentro del sistema. Con suficiente información sobre las entradas y las salidas se puede dejar que el computador describa la relación matemática entre es

tas variables. En enfoque "caja negra" ha tenido algún éxito como herramienta en las disciplinas de producción animal.

RESUMEN

La base filosófica del enfoque de sistemas implica mucho énfasis en la necesidad de medir la interacción entre los componentes, y poco énfasis en cada uno de los elementos que forman el componente. La meta principal de la investigación con agroecosistemas es el entendimiento de la relación entre la estructura y la función del sistema. La investigación incluye estudios, experimentos y la elaboración de modelos. Los estudios pueden incluir observaciones informales, encuestas, etc., los experimentos pueden ser de tipo exploratorio, analítico o pruebas de alternativas; los modelos pueden ser de tipo físico, abstracto, cualitativo, cuantitativo, estadístico o dinámico.

Los aspectos básicos de este capítulo se pueden revisar contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la diferencia entre la filosofía atomística y el enfoque de sistemas?
2. Dé un ejemplo de la aplicación del principio de "tres niveles mínimos".
3. ¿Cuáles son los pasos principales en el método inductivo-deductivo?
4. ¿Cuál sería un ejemplo de experimento empírico?
5. ¿Con qué tipo de modelo está asociado un experimento exploratorio?
6. ¿Con cuál tipo de experimento esperaría tener menos tratamientos, con un experimento exploratorio o con uno de prueba de alternativas?
7. ¿Cuáles serían ejemplos de posibles tratamientos en un experimento para medir la interacción entre la intensidad y la diversidad de un sistema de cultivos?

8. Dé un ejemplo de un modelo físico usado comúnmente en la investigación agrícola.
9. Identifique cinco usos importantes de modelos.

LITERATURA CITADA

1. BURGOS, C. F. y MENESES, R. 1979. Prueba de seis arreglos cronológicos de maíz, frijol, arroz y yuca en Cariari, Pococí, Limón, Costa Rica. In Reunión Anual del PCCMCA, 25a., Tegucigalpa, 1979. Memoria, vol. 3 Tegucigalpa, Secretaría de Recursos Naturales, 1979. pp. L33/1-15.
2. INNIS, G. S. 1975. The use of the systems approach in biological research. G. E. Dalton (ed). The Study of Agricultural Systems. pp. 369-392. Applied Science, London.
3. LASZLO, E. 1972. The systems view of the world. George Braziller Inc. New York. 131 p.
4. ODUM, E. P. 1972. Ecología. Traducido al español por C. G. Ottenwaelder. Nueva Editorial Interamericana. México. 639 p.
5. ODUM, H. T. 1971. Environment, power and society. New York, Wiley. 331 p.
6. PETERSON, R. G. 1976. Experimental designs for agricultural research in developing areas. Oregon State University. Corvallis, Oregon. 173 p.
7. SALMON, S. C. and HANSON, A. A. 1964. The principles and practice of agricultural research. London, Leonard Hill. 384 p.
8. SMITH, J. M. 1974. Models in ecology. Cambridge University Press. Cambridge. 146 p.
9. VAN DYNE, G. M. and AMBRAMSKY, Z. 1975. Agricultural systems models and modeling: a surview. G. E. Dalton (ed). The Study of Agricultural Systems. pp. 23-100. London, Applied Science.

**ANEXO 1: GLOSARIO DE TERMINOLOGIA USADA EN ESTE LIBRO**

1. Sistema: un arreglo de componentes físicos, o un conjunto o una colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y/o actúan como una unidad, una entidad o un todo (traducido del inglés; Becht, 1974).
2. Ecosistema: la totalidad de los organismos de un área determinada (ésto es, la "comunidad") que actúan en reciprocidad con el medio físico, de modo que una corriente de energía conduzca a una estructura trófica, una diversidad biótica y a ciclos de materiales (Odum, 1972).
3. Sistema regional: un sistema formado por componentes físicos, bióticos, y socio-económicos dentro de límites geográficos definidos de modo que los componentes interactúan y funcionan como una unidad.
4. Sistema de finca: un sistema formado por componentes físicos, bióticos y socio-económicos con límites espaciales que delimitan parcelas de tierra contiguas o no, y que es controlado por un individuo o una asociación de individuos con el propósito de producir productos agrícolas.
5. Agroecosistema: un sistema formado por una comunidad biótica, que incluye por lo menos, una población agrícola y el medio ambiente físico con el cual interactúa, procesando entradas de energía y materiales, que produce salidas de biomasa. (un ecosistema agrícola)
6. Sistema de suelo: el subsistema de un agroecosistema formado por componentes físicos y bióticos en el suelo que interactúan en el tiempo y en el espacio, entre sí y con otros subsistemas del agroecosistema.

7. Sistema de malezas: un subsistema de un agroecosistema formado por componentes que son poblaciones de una o más especies de malezas que interactúan en el tiempo y en el espacio, entre sí y con otros subsistemas del agroecosistema.
8. Sistema de plagas: un subsistema de un agroecosistema formado por componentes que son poblaciones de insectos u otros animales que interactúan en el tiempo y en el espacio, entre sí y con otros subsistemas del agroecosistema.
9. Sistema de enfermedades: un subsistema de un agroecosistema formado por componentes que son poblaciones de patógenos que interactúan en el tiempo y en el espacio, entre sí y con otros subsistemas del agroecosistema.
10. Sistema de cultivos: un subsistema de un agroecosistema formado por componentes que son poblaciones de una o más especies de cultivos y que interactúan en el tiempo y en el espacio, entre sí y con otros subsistemas del agroecosistema. (Un arreglo cronológico y espacial de cultivos que funcionan como una unidad con entradas de nutrientes, agua y energía y con salidas que incluyen biomasa de valor agronómico)
11. Sistema de cultivos monocultural: un sistema de cultivos con sólo una especie de cultivos sembrado sólo una vez que no interactúa con otro cultivo en tiempo o en el espacio.
12. Sistema de cultivos policultural: un sistema de cultivos que incluye dos o más siembras de cultivos sin restricción en el número de especies.
13. Asociación de cultivos: un sistema de cultivos que incluye dos o más especies de cultivos sembrados de modo que exista interacción directa en el espacio.

14. Arreglo de cultivos: característica estructural de un sistema de cultivos que describe la distribución de los cultivos en el es pacio y en el tiempo con límites espaciales definidos por la exis tencia de la interacción y los límites cronológicos arbitrariamente definidos por la repetición de un cultivo solo, una asociación o una secuencia de éstas.
15. Arreglo espacial de cultivos: la distribución de un cultivo o los cultivos de una asociación de cultivos en el espacio (ver de finición de diferentes tipos en el Capítulo 2).
16. Arreglo cronológico de cultivos: la distribución de dos o más cultivos en el tiempo (ver definición de diferentes tipos en el Capítulo 8).
17. Sistema de animales: un subsistema de un agroecosistema formado por componentes que son poblaciones de uno o más espe cies de animales de valor agrícola que interactúan en el tiempo y en el espa cio, entre sí y con otros subsistemas de un agroecosistema.

ANEXO 2: PRACTICAS QUE SE PUEDEN REALIZAR CONJUNTAMENTE CON EL ESTUDIO DE LOS DIFERENTES CAPITULOS

Capítulo 1: Sistemas

Con el propósito de entender el concepto de "Modelos" y de revisar los pasos principales en el análisis de un sistema, puede analizarse una palanca como un sistema. Aunque no es imprescindible, vale la pena con seguir un pedazo de madera (de aproximadamente 30 cm) que sirva como palanca, y otro que sirva como fulcro. Con estos dos palos se puede ilustrar el concepto de modelo físico, y describir la palanca como un sistema con dos componentes (la palanca y fulcro). El sistema tiene entradas: la fuerza que empuja un lado de la palanca, y salidas: la fuerza que sale del otro lado de la palanca. Esta función del sistema, (tomar entradas y producir salidas) es afectada por su estructura (el arreglo entre la palanca y el fulcro).

Para realizar el análisis de la palanca como sistema, se pueden seguir los siguientes pasos:

- A. Empiece con un diagrama del sistema
- B. Suponga que ha realizado un experimento donde se cambiaron las entradas (E) al sistema y se midieron las salidas (S) con el fulcro a 10 cm de un extremo de la palanca (distancia 1:d1) y 20 cm de otro extremo (d2), obteniéndose los siguientes datos:

<u>E</u>	<u>S</u>
10	5
20	10
50	25

- C. Escriba una ecuación relacionando E y S

$$S = f'(E)$$

$$S = \underline{\hspace{4cm}} \text{ (modelo preliminar)}$$

- D. Suponga que se ha realizado un experimento para validar el modelo preliminar, cambiando entradas, y midiendo salidas con el fulcro en una posición donde $d_1 = 15$ y $d_2 = 15$, obteniéndose los siguientes datos:

E	D1	D2	S
10	15	15	10
20	15	15	20
50	15	15	50

Su modelo predijo S? _____ (sí o no)

- E. Suponga que se han reunido los datos del experimento preliminar y los del paso D, y que se ha conducido otro experimento con la palanca en una posición donde $D1 = 20$ y $D2 = 10$, obteniendo los siguientes datos:

E	D1	D2	S
10	10	20	5
20	10	20	10
50	10	20	25
10	15	15	10
20	15	15	20
50	15	15	50
5	20	10	10
10	20	10	20
25	20	10	50

- F. Modificando el modelo preliminar y usando los datos generados en el paso de validación, escriba un modelo (ecuación) que prediga la salida del sistema con base en la entrada y el arreglo de los componentes.

$$S = F (E, D1, D2)$$

$$S = \underline{\hspace{2cm}}$$

- G. Pregunta final: ¿Cuánto sería la salida del sistema con una entrada de 125 kg con $D1 = 12M$ y $D2 = 8M$? $S = \underline{\hspace{2cm}}$

- H. Describa los pasos que se siguieron en el análisis de la palanca como sistema.

Capítulo 2: Sistemas ecológicos

A. De esta lista:

- a) un lago
- b) un grupo de insectos de la misma especie
- c) un bosque
- d) las plantas, los animales y micro-organismos de un bosque
- e) el material orgánico de un lugar
- f) las truchas de un lago
- g) los monos de un bosque
- h) la comunidad biótica de un lago

¿Cuáles están al mismo nivel jerárquico?

a ___
b ___
 ___ h

B. Usando la simbología de H. T. Odum, elabore un diagrama ilustrando la interacción sobre poblaciones de plantas y animales de tipo depredador-presa, y otro ilustrando la competencia de dos plantas por una fuente de energía. Dé tres ejemplos de estos dos tipos de interacción entre poblaciones.

C. Elabore el diagrama de un ecosistema con las siguientes características:

- 1) Entradas de precipitación, radiación solar y mineralización
- 2) Tres tipos de herbívoros (H_1 , H_2 y H_3); todos comen de todo tipo de plantas del ecosistema
- 3) Tres poblaciones de plantas en el ecosistema; (a) árboles de laurel, (b) árboles de pino y (c) una gramínea
- 4) No hay carnívoros en el sistema
- 5) Uno de los herbívoros (H_2) entra y sale del sistema; las otras poblaciones nunca entran o salen del ecosistema.

D. Usando los datos de la literatura, haga una estimación de la producción primaria bruta (ppB) de un bosque cercano.

Capítulo 3: Sistemas agrícolas

- A. Buscar un informe que describa la agricultura de una región geográfica. (El informe debe incluir aspectos generales, cultivos y animales del área, y problemas específicos, como malezas, enfermedades, etc.)
- B. Analice ese informe, organizando la información presentada y describiendo la jerarquía de los sistemas agrícolas de la región. Use la Figura 3.1 como guía preliminar para organizar la información. Elabore un cuadro que tenga: los sistemas de la jerarquía del lado izquierdo, un breve resumen de la información disponible para cada nivel en el centro, y una lista de la información que falta para poder describir completamente la jerarquía de sistemas agrícolas en el lado derecho.

Capítulo 4: Una región como un sistema

- A. La clase debe dividirse en tres grupos, para buscar la siguiente información acerca de una región cercana:

Grupo 1: aspectos físicos

- a) hidrología (ríos y cuencas principales)
- b) suelos
- c) precipitación
- d) radiación
- e) temperatura

Grupo 2: aspectos bióticos

- a) distribución de la vegetación natural
- b) cultivos perennes
- c) cultivos anuales
- d) pastos

Grupo 3: aspectos socio-económicos

- a) infraestructura (carreteras, pueblos, ciudades, etc.)
- b) estimación de los productos (incluyendo cantidad) importados y exportados por la región.

- B. Cada grupo debe resumir la información obtenida en tres mapas del mismo tamaño. Sacar copias en láminas para proyección y poner los mapas juntos para ver la relación entre los aspectos físicos, bióticos y socio-económicos de la región.

Capítulo 5: La finca como un sistema

Cada estudiante debe elaborar el modelo cualitativo (diagrama como en la Figura 5.2) de la finca real. Generalmente es más fácil en trevistar a un agricultor y conseguir la información necesaria cuando dos estudiantes van juntos; uno puede hacer las preguntas, y el otro tomar nota de las respuestas.

Capítulo 6: Agroecosistemas

- A. Elabore un modelo cualitativo (diagrama como en la Figura 6.2) de un agroecosistema real.
- B. Entrevistando a un agricultor, elabore un plan de manejo (ver Figura 6.3) para ese agroecosistema.

Capítulo 7: El subsistema de suelo

Calcule el balance hídrico de un sistema de suelos. Entre los posibles métodos para realizar esta práctica, está la fórmula de Blanney y Criddle, resumida en el texto. Usando la fórmula, se puede calcular el uso consuntivo (consumo de agua por plantas o evaporación) para un suelo, clima y cultivo específico. Obviamente, existen otras fórmulas para calcular el balance hídrico.

Capítulo 8: El subsistema de cultivos

Para un sistema de cultivos con dos especies elabore usando la información existente, un cuadro que describa (aunque sea en forma aproximada) la cantidad de N, P, o K en los compartimentos de (1) frutas y granos (2) hojas (3) tallos y (4) raíces, en cada mes del ciclo de producción, empezando con la siembra del primer cultivo y terminando con la cosecha del último. El cuadro siguiente puede servir de guía.

Compartimento	Cultivo	Kg/ha de (N, P, o K)			
		Primera siembra	1	2....n	Ultima cosecha
Granos y frutas	1	0			
	2	0			
	Total	0			
Hojas	1	0			
	2	0			
	Total	0			
Tallos	1	0			
	2	0			
	Total	0			
Raíces	1	0			
	2	0			
	Total	0			
Total	1	0			
	2	0			
	Total	0			

Capítulo 9: El subsistema malezas

- A. Identifique un sistema de cultivos comúnmente usado por los agricultores en una área.
- B. Identifique dos o tres agricultores que usen el mismo sistema de cultivo, pero que controlen las malezas en forma diferente (por ejemplo a mano, o con herbicidas).
- C. Describa las malezas encontradas bajo las dos formas de manejo. Si no es posible identificar las especies, cuente el número de especies en cada caso, e identifique la importancia de gramíneas y especies de hoja ancha.

- D. Otra práctica que se puede realizar en un campo experimental es la siguiente, dentro de un agroecosistema, saque una muestra de suelo de la superficie (0-5 cm) y otra muestra de 15-20 cm, y ponga a germinar las semillas de malezas encontradas en las muestras. La diferencia entre las especies y tipos de malezas encontradas, es una indicación de la cantidad de semilla activa en comparación con la semilla en latencia.

Capítulo 10: El subsistema de plagas

- A. Identifique un sistema de cultivos comúnmente usado por los agricultores en un área.
- B. Identifique un insecto que se considera generalmente, una plaga importante.
- C. Elabore un plan de investigación con el objeto de describir el ciclo de vida de la plaga y cuantificar la pérdida de producción causada por el insecto. ¿Qué tipos de experimentos serían necesarios para identificar la estrategia de control (supresión, regulación y limitación de recursos) que sería lo más económico?

Capítulo 11: El subsistema de enfermedades

- A. En un agroecosistema (puede ser en la Estación Experimental) abra un disco de Petri en dirección al viento predominante, durante por lo menos 4 minutos, y ciérrelo. Use ambos medios de cultivo.
- B. Coleccione hojas representativas de cada componente-planta, deposítelos en la superficie del agar, y luego cierre el disco.
- C. Repita el procedimiento con hojas de malas hierbas.
- D. Tome una muestra de suelo en una bolsa de plástico y después de agitarla distribuya parte de esa muestra en la superficie expuesta de una papa recién cortada. Bote el exceso.
- E. Deje incubar los discos de Petri a temperatura ambiente por 1-2 días. Deposite la papa con suelo, en cámara húmeda por 1-2 días.

F. Cuente el número de colonias que crecen, y anote su diversidad.

Referencias: American Phytopathological Society. Sourcebook of laboratory exercises in Plant Pathology. Freeman & Co. 386 p. 1967. Difco Inc. Difco Manual. Difco Laboratory. U.S.A. 9º Edición. 350 p. 1969.

Capítulo 12: Integraciones de los subsistemas

- A. Los estudiantes deben dividirse en 5 grupos que correspondan a los cinco subsistemas de un agroecosistema y escoger un agroecosistema que sea común en el área.
- B. Cada grupo debe elaborar un formulario sencillo que, si se usa para hacer encuestas resultaría en una descripción del manejo que los agricultores dan comúnmente a cada subsistema.
- C. En un taller de trabajo, junte los cinco formularios. Si no son consistentes, (casi nunca lo son) modifíquelos para producir un formulario con preguntas sobre el manejo del agroecosistema como unidad.
- D. Divida el grupo en subgrupos de dos.
- E. Cada subgrupo debe realizar por lo menos dos encuestas.

Capítulo 13: Investigación

Elabore un plan de investigación de cuatro años de duración, para un área en la que nunca se ha hecho investigación. El plan debe incluir (1) el organigrama de un equipo multidisciplinario, con responsabilidades, dividido por sistema jerárquico, (2) las actividades principales para cada año, incluyendo estudios, experimentos y elaboración de modelos.