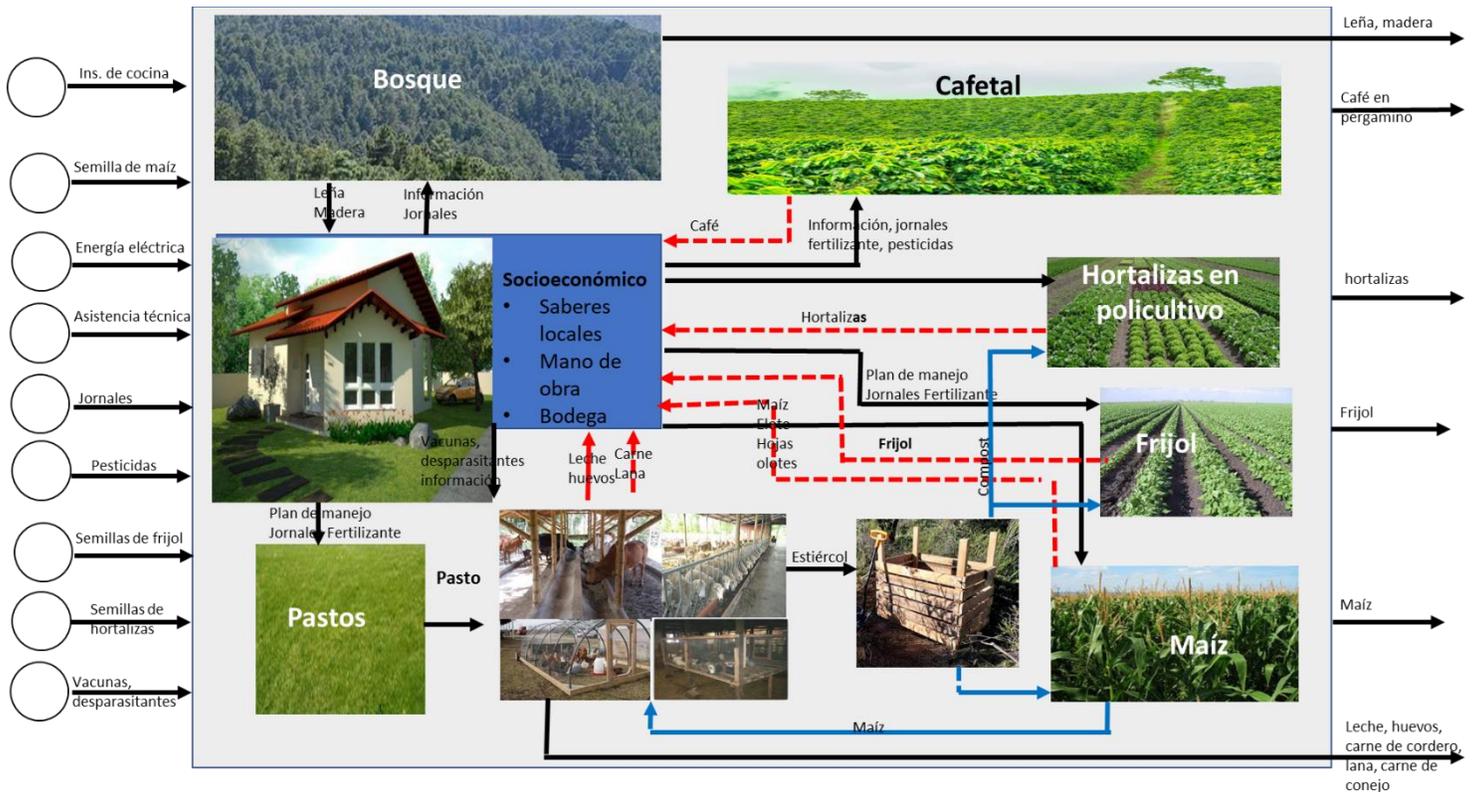




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

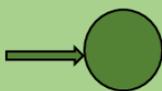
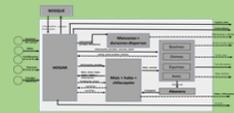
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE

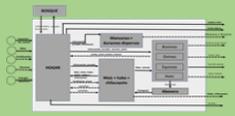
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA



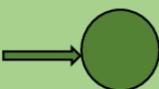
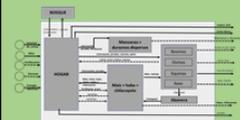
Sistemas de producción Agrícola: estudio de fincas con el enfoque de sistemas

Dr. Héctor Alvarado Quiroa





SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: ESTUDIO DE FINCAS CON EL ENFOQUE DE SISTEMAS





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
QUETZALTENANGO, GUATEMALA

Revisión:

Dr. Luis Arturo Sánchez Midence

Diseño y diagramación:

Héctor Alvarado Quiroa

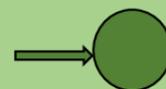
Primera Edición, 2021

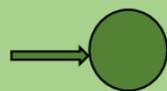
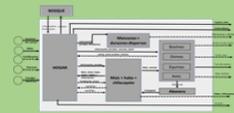


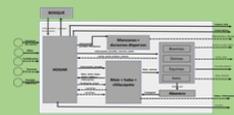
En memoria de mis queridos padres,

Dedicado a:
Chayito, Héctor Aroldo, María Anabella, Victor José, Katy Sophia y José Oscar
con amor

Los estudiantes de la División de Ciencia y Tecnología del
CUNOC, especialmente a los de Agronomía.

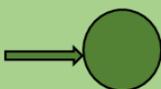
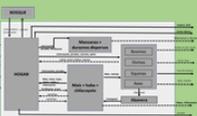


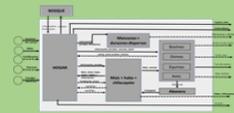




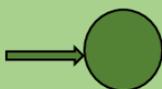
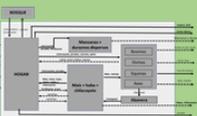
Contenido

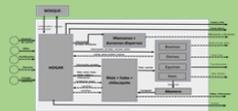
PRÓLOGO	1
1. INTRODUCCIÓN	4
2. TEORÍA DE SISTEMAS	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Conceptos básicos de sistemas	7
2.3. Los elementos de un sistema	7
2.4. Estructura de un sistema	9
2.5. Función de un sistema	11
2.6. Tipos de sistemas	13
2.7. Relación entre estructura y función	16
2.8. Características de los sistemas	17
2.8.1. Propósito de los sistemas	17
2.8.2. Sinergia	18
2.8.3. Entropía	18
2.8.4. Homeostasis	18
2.9. Del enfoque reduccionista al enfoque de sistemas en la agricultura	19
3. BASES ECOLÓGICAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	21
3.1. Ecología	21
3.2. Niveles de organización y la jerarquía de los sistemas	21
3.3. Ecosistemas	24
3.4. La energía en los ecosistemas	25
3.5. La fotosíntesis	27
3.6. El geosistema	28
3.6.1. El ciclo del agua	28
3.6.2. Los ciclos biogeoquímicos	30
3.7. Estructura y función de los ecosistemas	32
3.7.1. Estructura de los ecosistemas	32
3.7.2. Función de los ecosistemas	36
4. LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS	39



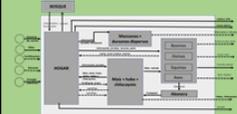
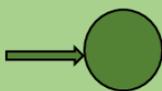


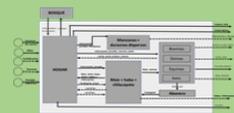
4.1.	Sistema región.....	41
4.2.	Sistema dominios de recomendación.....	41
4.3.	Sistema finca.....	42
5.	LOS DOMINIOS DE RECOMENDACIÓN.....	44
5.1.	Algunas definiciones.....	44
5.2.	Justificación para agrupar agricultores.....	45
5.3.	Variables usadas para agrupar agricultores.....	45
5.4.	Aspectos que considerar en los dominios de recomendación.....	48
5.5.	Equipos interdisciplinarios en los procesos de investigación y extensión agrícola.....	49
6.	LA FINCA COMO SISTEMA.....	50
6.1.	Los límites del sistema finca.....	50
6.2.	Estructura del sistema finca.....	51
6.2.1.	Subsistema socioeconómico.....	52
6.2.2.	Agroecosistemas.....	52
6.3.	Función del sistema finca.....	53
7.	LOS AGROECOSISTEMAS.....	55
7.1.	Interacciones biológicas en los agroecosistemas.....	56
7.2.	Límites de los agroecosistemas.....	58
7.3.	Estructura de los agroecosistemas.....	58
7.4.	Función de los agroecosistemas.....	60
7.4.1.	Subsistema suelo.....	61
7.4.2.	Subsistema de cultivos.....	61
7.4.3.	Subsistema otras especies vegetales.....	62
7.4.4.	Subsistema insectos.....	62
7.4.5.	Subsistema microorganismos.....	63
8.	EL SUBSISTEMA CULTIVOS.....	65
8.1.	Determinación de límites del subsistema cultivos.....	65
8.2.	Estructura del subsistema cultivos.....	66
8.2.1.	Arreglos espaciales.....	66
8.2.2.	Arreglos cronológicos.....	67
8.3.	Función del subsistema cultivos.....	68
9.	MODELACIÓN DE FINCAS.....	70





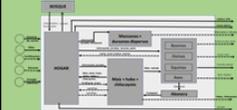
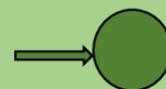
9.1. Análisis del sistema finca	71
9.4. Elaboración del modelo cuantitativo	73
9.6. Elaboración del modelo de decisiones	77
9.7. Elaboración del modelo de causas y problemas.....	78
9.8. Validación y modificación del modelo	81
9.9. Simulación	82
10. BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS.....	86





Contenido de figuras

Figura 1. Los elementos de un sistema definido por un límite fijo	8
Figura 2. Diferentes tipos de relaciones entre componentes que afectan la estructura de un sistema.....	10
Figura 3. Diferentes tipos de relaciones entre componentes y flujos que afectan la estructura de un sistema	11
Figura 4. Niveles de resiliencia en un ecosistema.	13
Figura 5. Un televisor como ejemplo de un sistema abierto.....	14
Figura 6. Los sistemas por su estado transitorio.....	14
Figura 7. Modelo de un sistema cerrado mostrando la retroalimentación negativa y la retroalimentación positiva	16
Figura 8. Tres niveles jerárquicos de un ecosistema (suprasistema, sistema y subsistemas) y sus interacciones.....	22
Figura 9. Niveles de organización de Odum (1971).....	23
Figura 10. Componentes de un ecosistema (Hart, 1985).....	24
Figura 11. Entrada de energía a la superficie terrestre	26
Figura 12. Espectro electromagnético.....	26
Figura 13. La fotosíntesis como sistema abierto.	27
Figura 14. La fotosíntesis como sistema abierto y subsistemas cerrados, ciclo de Calvin y reacciones luminosas	28
Figura 15. El ciclo del agua	29
Figura 16. El ciclo del nitrógeno	31
Figura 17. El ciclo del fósforo.....	31
Figura 18. Biomás terrestres (Odum, 1972).	32
Figura 19. Sistema Holdridge para la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 2000). (tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_clasificaci%C3%B3n_de_zonas_de_vida_de_Holdridge#/media/Archivo:Zonas_de_vida_de_Holdrige.svg).....	34
Figura 20. Estratificación vertical de un ecosistema bosque	34
Figura 21. <i>Estratificación horizontal de un ecosistema</i>	35
Figura 22. Estratificación temporal estacional.	36
Figura 23. Proceso de sucesión ecológica	37
Figura 24. Jerarquía de los sistemas agrícolas conformada por una región, dominios de recomendación y fincas (modificado del modelo de Hart, 1985).....	40
Figura 25. Flujos de dinero, materiales, energía e información que entran y salen del sistema región.	41
Figura 26. Flujos de dinero, materiales, energía e información que entran y salen del sistema dominios de recomendación.	42
Figura 27. Componentes del sistema finca y de los agroecosistemas.	43
Figura 28. Sistema finca y sus subsistemas.	51
Figura 29. Modelo cualitativo de un sistema finca hipotético.	54



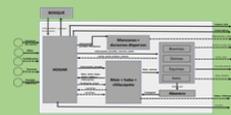
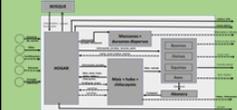
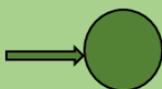
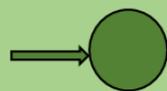
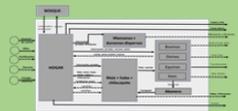


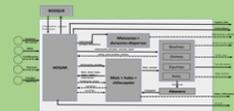
Figura 30. Un agroecosistema con sus componentes..... 59
Figura 31. Arreglos cronológicos y espaciales de un agroecosistema (tomado de Hart 1985) 59
Figura 32. Arreglos espaciales con sistemas de cultivos en asocio (Hart 1985)..... 67
Figura 33. Ejemplo de diferentes arreglos cronológicos con sistemas de cultivos en asocio (Hart 1985) 68
Figura 34. Modelo cualitativo de una finca hipotética del cantón Paxtocá, Totonicapán 72
Figura 35. Modelo cuantitativo de una finca hipotética del cantón Paxtocá, Totonicapán..... 74
Figura 36. Ejemplo de árbol de problemas en frutales caducifolios 79
Figura 37. Ejemplo de árbol de objetivos en frutales caducifolios 80
Figura 38. Ejemplo de árbol de objetivos en frutales caducifolios y su relación con la columna de objetivos..... 81
Figura 39. Modelo cuantitativo de una finca hipotética del cantón Paxtocá, Totonicapán, al que se eliminó la relación con el bosque 83

Contenido de tablas

Tabla 1. Tendencias que aparecen en el desarrollo de ecosistemas (Odum, 1972) 38
Tabla 2. Como agrupar agricultores de acuerdo con la etapa del proceso de investigación 48
Tabla 3. Interacciones biológicas entre poblaciones 57
Tabla 4 Estimación de la función de la finca hipotética del cantón Paxtocá, Totonicapán 74
Tabla 5. Modelo de proceso, matriz para consolidar la información de los objetivos del agricultor, el ambiente en el que se desarrolla su sistema finca, la disponibilidad y uso de recursos, las restricciones y las estrategias de manejo. 76
Tabla 6. Modelo de decisiones, matriz para realizar la evaluación de las estrategias del agricultor. Ejemplo de análisis. 78
Tabla 7. Matriz del marco lógico. 81
Tabla 8. Estimación de la función de la finca hipotética del cantón Paxtocá, Totonicapán, al que se eliminó la relación con el bosque 83







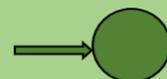
PRÓLOGO

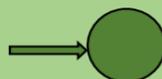
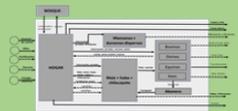
La docencia universitaria constituye, sin lugar a duda, un quehacer apasionante, no solamente por la demanda insoslayable de actualización científica que demanda, sino por el enriquecedor intercambio de conocimientos que se desarrolla cotidianamente, tanto entre docentes y estudiantes, como al interior del mismo cuerpo docente. Esta realidad profundiza la especialización y, en consecuencia, la aproximación permanente de cada profesor, con el objeto de estudio con el que se relaciona. Desafortunadamente, la mayoría de las veces, este conocimiento nace, crece, florece y muere con el profesor que la posee, lo que representa una pérdida irreparable para el quehacer académico de nuestras universidades. Quizá por esta razón, el hecho de que un docente dedique tiempo y esfuerzo a construir un documento como apoyo a su cátedra, representa un logro tan trascendente.

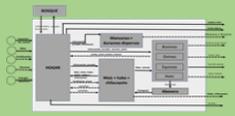
En ese marco de ideas el libro “Sistemas de producción agrícola: estudio de fincas con el enfoque de sistemas”, además de expresarse como un sólido aporte a la formación académica de los estudiantes de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, es una síntesis del conocimiento, la experiencia, la reflexión y el análisis docente del autor, en un esfuerzo por contribuir con el conocimiento, la difusión y la aplicación de la teoría de sistemas, como una forma integral de aproximarnos a los procesos de producción agrícola.

El reto cognitivo que este documento expresa, a docentes y estudiantes por igual, nos recuerda e inspira en la búsqueda de la finalidad de nuestro quehacer universitario: la producción del conocimiento y la contribución a la solución de los problemas nacionales y al desarrollo integral de la nación.

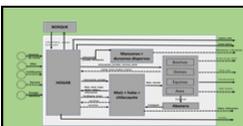
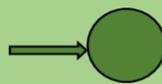
Luis Arturo Sánchez Midence
Docente de la División de Ciencia y Tecnología

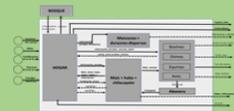






SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: ESTUDIO DE FINCAS CON EL ENFOQUE DE SISTEMAS





1. INTRODUCCIÓN

La humanidad se enfrenta a importantes desafíos que se focalizan en un incremento de la población mundial sin precedentes, que pone en tensión la producción de alimentos. Los países tropicales, que pertenecen en su inmensa mayoría al Tercer Mundo, son los que más están sufriendo los efectos de la superpoblación, desnutrición, desigualdades sociales y deterioro ambiental, siendo los más vulnerables a los desafíos del futuro.

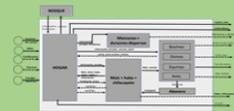
La Agricultura se encuentra en el centro de ese desafío, por ser ella la fuente de gran parte de los alimentos, fibras y otras materias primas, además de que es en las áreas rurales, en donde se concentra la mayor parte de la población y se expresan las más deprimentes condiciones socioeconómicas.

Por otro lado, la biodiversidad está siendo afectada por la producción agrícola, dado el desplazamiento de cientos de variedades locales por variedades sintéticas de alto rendimiento, que han sido y son desarrolladas por Centros de Investigaciones y que, por lo general, requieren de grandes cantidades de insumos químicos para alcanzar su potencial de rendimiento.

Así mismo, el área para la siembra de monocultivos energéticos (tales como la caña de azúcar y la palma africana), se ha incrementado considerablemente. Para el caso de la palma africana, en Guatemala, entre el 2006 y el 2007, se incrementó el área cultivada de 24,209 ha. a 164,049 ha., lo que representa un incremento anual del 17.3%. Este crecimiento ha sido más notorio en la Franja Transversal del Norte en donde se han destruido bosques tropicales con especies maderables protegidas en áreas que conforman el corredor biológico que conduce hacia la Reserva Biológica San Román y a la Reserva de Vida Silvestre Petexbatún.

No cabe duda de que el desarrollo agrícola futuro requiere de un nuevo enfoque, que permita suplir las necesidades de alimento, fibras y otras materias primas a la creciente población, pero a su vez, que los sistemas que utilicen para producirlos sean sostenibles desde el punto de vista ecológico, económico y que, además, sean socialmente justos y culturalmente aceptables.

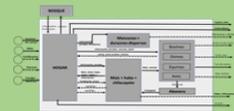
Es de resaltar también que los pequeños agricultores tienen a su cargo la producción de la mayor parte de los alimentos que se consumen en los países en desarrollo; no obstante, por lo general, son mucho más pobres que el resto de la población de estos mismos países; e incluso, la seguridad alimentaria a la que tienen acceso es menor que aquella que disfrutaban los pobladores urbanos de bajos ingresos. A esto se debe añadir que, aunque se afirma que para el año 2030 la mayor parte de la población mundial vivirá en áreas urbanas, las poblaciones agrícolas se mantendrán en el nivel actual. Ante esta situación, es evidente que la lucha contra el hambre y la pobreza en casi todo el mundo implica encarar los problemas que los pequeños agricultores enfrentan en su lucha diaria por la supervivencia.



Otro factor por considerar es el cambio climático por los impactos que sobre la producción agrícola puedan producir, los que sin duda alguna serán diversos, severos y específicos, según la ubicación geográfica. La temperatura y la disponibilidad de agua siguen siendo factores clave que determinan el crecimiento de los cultivos y la productividad. Los cambios predichos en estos factores causarán una baja en el rendimiento de los cultivos. Los cambios inducidos por el clima en cuanto a las dinámicas de población de plagas de insectos, patógenos y malezas, podrían agravar los efectos mencionados. Sin duda alguna, la inestabilidad inducida por el clima y el tiempo afectará los niveles de producción de alimentos y el abastecimiento de estos.

Los sistemas de producción agropecuarios se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios. Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por los aspectos mencionados anteriormente. Por lo tanto, para abordar aspectos tan complejos como la producción agropecuaria (dada la diversidad de las interacciones que se dan en su interior), es necesario hacerlo desde una forma holística, aplicando la teoría de sistemas.

El propósito de este documento es que sirva de texto guía para los estudiantes del curso de sistemas de producción agrícola de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola y como fuente de información a otros lectores interesados en el tema. No pretende ser un documento avanzado en la temática, sino presentar los principios generales del enfoque de sistemas y este aplicado al estudio de fincas agropecuarias.



2. TEORÍA DE SISTEMAS

2.1. Antecedentes

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias. La complejidad de los fenómenos que el hombre debe comprender para desempeñarse en una civilización, que cada vez evoluciona hacia una mayor complejidad, ha producido mayor interés por el concepto de sistemas.

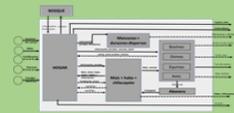
Como paradigma científico, la Teoría General de Sistemas se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la Teoría General de Sistemas ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades.

Al biólogo austriaco Ludwig Von Bertalanffy (1901 – 1972), se le considera como el padre de la teoría de sistemas. La publicación de su libro “*General System Theory*” en 1968, se considera como la primera publicación en esta área. Si bien hubo trabajos previos al respecto, fue en su literatura en la que se le da el nombre que hasta la fecha sigue siendo ampliamente utilizado, ofreciendo al estudioso de la ciencia de los sistemas, una visión ampliada (Bertalanffy, 1989)

En biología, el concepto de sistemas fue introducido en 1926. Sin embargo, William Harvey ha pasado a la historia por ser el primero en describir correctamente la circulación y las propiedades de la sangre al ser distribuida por todo el cuerpo a través del bombeo del corazón. Al realizar este descubrimiento, relacionó este fenómeno con la hidrología y lo consideró como un sistema. La revolucionaria teoría sobre la circulación sanguínea de William Harvey fue publicada en 1628 en su obra “*De motu cordis*” (de Micheli, 2005).

Otro aporte previo a la Teoría General de Sistemas lo realiza el botánico inglés Artur George Tansley (1871 – 1955), al acuñar el término ecosistema en 1935, que lo definía como “la unidad fundamental ecológica constituida por la interrelación entre una biocenosis y un biotopo”. Ecosistema es un concepto ecológico holístico e integrativo que combina los organismos vivos y el ambiente físico en un sistema (Godwin, 1997).

Por otro lado, el sociólogo alemán Niklas Luhmann (1927-1998) ha sido uno de los responsables de implementar la teoría de sistemas en las Ciencias Sociales. A pesar de la diversidad de objetos de estudio, desarrolla una visión global de la sociedad, que se extiende de la pedagogía a la globalización, de los medios de comunicación a la moral, de la ecología a la semántica (Urteaga, 2010).



Más recientemente el Ingeniero Oscar Mario A. Johansen Bertoglio se ha enfocado en el campo de la administración y de las ciencias económicas, en las cuales ha propuesto el modelo de la Teoría General de Sistemas con excelentes resultados en el campo de las organizaciones sociales y las empresas (Johansen Bertoglio, 2004).

2.2. Conceptos básicos de sistemas

La aparición del enfoque de sistemas tiene su origen en la incapacidad manifiesta de la ciencia para tratar problemas complejos. Así, el enfoque de sistemas aparece para abordar el problema de la complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades.

Hart (1985) citando a Becht (1974) propone la siguiente definición de sistemas: “Sistema es un arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidos o relacionados de tal manera que forman y actúan como una entidad o un todo”

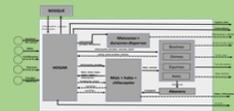
Otras definiciones: “un sistema es un conjunto de elementos arreglados y relacionados entre sí que funciona como un todo” (Johansen Bertoglio, 2004). Si bien cada uno de los elementos de un sistema puede funcionar de manera independiente, siempre formará parte de una estructura mayor (suprasistema). Del mismo modo, un sistema está constituido por componentes (subsistemas)”. “Sistema es un conjunto de elementos arreglados y dinámicamente relacionados que actúan para realizar una actividad con el propósito de alcanzar un objetivo, operando sobre: datos, energía y materia”.

En estas definiciones hay dos palabras claves, **arreglo** y **acción**, las cuales implican dos características de cualquier sistema: su **estructura** y su **función**. Todo sistema tiene una estructura relacionada con el arreglo de los componentes que lo forman y la forma en la que actúan las relaciones de estos componentes, proporcionan la función al sistema (Hart, 1985).

Las propiedades de los sistemas no pueden ser descritas en términos de sus elementos separados, puesto que únicamente se presentan cuando se estudian holísticamente: los sistemas existen dentro de sistemas, los sistemas son abiertos, pero muchos de sus componentes (subsistemas) son sistemas cerrados que le dan estabilidad y mayor resiliencia. Las funciones de un sistema dependen de su estructura.

2.3. Los elementos de un sistema

Al considerar la definición de sistema, los elementos que lo constituyen son sus componentes. En el mundo real, los sistemas son abiertos, es decir, tienen interacción con el ambiente; esta interacción resulta de las entradas y salidas al sistema. Al observar fenómenos reales y definir conjuntos de componentes que conforman los sistemas, las fronteras entre ellos constituyen los límites de cada sistema.



Los elementos que todo sistema tiene son los siguientes: componentes, interacción entre componentes, entradas, salidas y límites (**ver figura 1**).

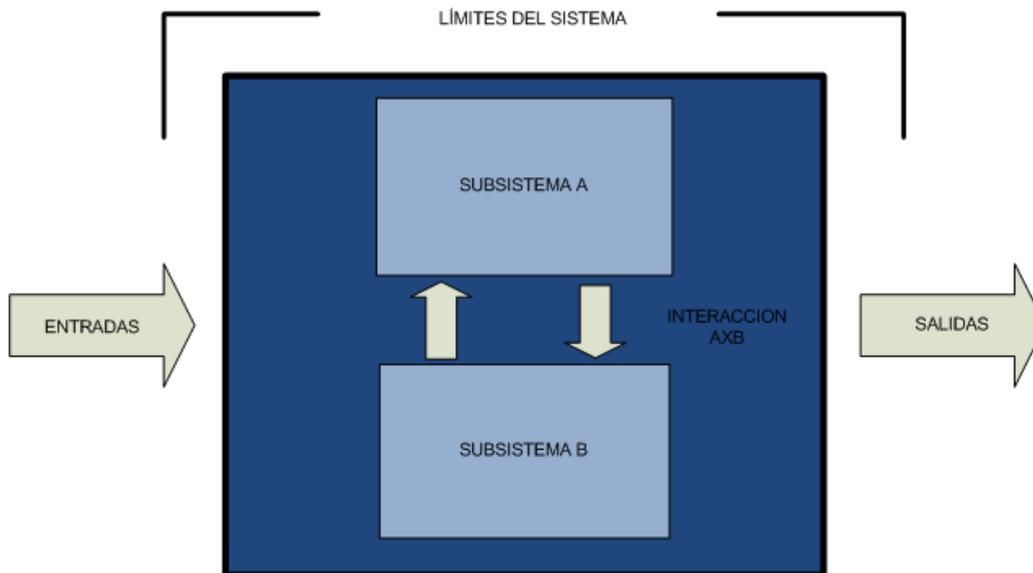


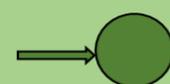
Figura 1. Los elementos de un sistema definido por un límite fijo

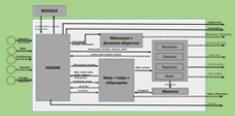
Los componentes (o los subsistemas) de un sistema son sus elementos básicos. Si se analiza una bicicleta como un sistema, sus componentes son el marco, el asiento, el timón, las ruedas, los pedales, las bielas, los frenos, los platos, la cadena y los piñones. Entre todos estos componentes se dan interacciones.

La interacción entre los componentes de un sistema es lo que proporciona las características de la estructura de éste. En esto reside la diferencia entre ver cada uno de los componentes de una bicicleta de manera separada (el conjunto de componentes) y una bicicleta ya armada. El grupo de componentes tiene básicamente los mismos objetos (marco, pedales, bielas, entre otros) que la bicicleta, pero la interacción entre los componentes es lo que proporciona la estructura a ésta y, por consiguiente, le proporciona una función.

Las entradas y salidas de un sistema son los flujos que entran y salen del sistema: es la interacción con el ambiente. El proceso de recibir entradas y producir salidas es lo que determina la función de un sistema. La función de una bicicleta es la movilidad de una persona, la cual ocurre cuando recibe como entrada, la energía que proporciona el ciclista con sus músculos. Esta energía humana se convierte en energía mecánica que constituye la salida del sistema, es decir, la que produce la movilidad de la bicicleta (su función).

A veces, es difícil determinar los límites de un sistema. En sistemas físicos es más fácil identificarlo, como, por ejemplo, si analizamos un televisor como un sistema abierto, sus entradas son la energía eléctrica y la señal de cable, sus salidas son la imagen, sonido y calor, su límite es el cajón que contiene sus componentes. La definición de límites para





sistemas ecológicos es más complicada, por ejemplo, los límites entre dos zonas de vida. Por ello, para la definición de límites, es importante tomar en cuenta dos criterios: el tipo de interacción entre los componentes y el nivel de control sobre las entradas y salidas. Para el primer caso, al analizar fenómenos reales, algunos componentes del sistema tienen una interacción directa y otros una interacción indirecta entre sí. Podríamos considerar, como ejemplo, ¿Dónde se ubican los límites de un *sistema hospital*? Para definirlos debe analizarse cuales son las interacciones directas entre sus componentes; por ejemplo, la relación entre médicos y pacientes es directa, pero la relación entre el médico y los familiares del paciente es indirecta. Por lo tanto, el médico y el paciente son componentes del sistema hospital, pero los familiares del paciente no forman parte de este sistema por la relación indirecta.

Para el segundo criterio, el límite se ubica entre la fuente de la entrada y el primer componente del sistema que recibe el flujo, por ejemplo, la precipitación pluvial es una entrada al sistema bosque. Por lo tanto, no es un componente del sistema, ya que el bosque no tiene control sobre la precipitación pluvial. El límite del sistema bosque se ubica entre la fuente de la precipitación (la atmósfera) y el suelo del bosque, el cual es el primer componente del sistema que recibe el flujo.

2.4. Estructura de un sistema

La estructura del sistema depende de las características relacionadas con los componentes del sistema como los son el número, el tipo y el arreglo o la interacción que se da entre los componentes.

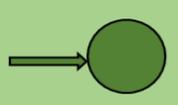
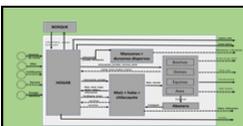
Número de componentes

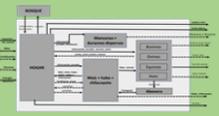
El número de componentes no es más que la cantidad de componentes o subsistemas que contiene y que interactúan en el sistema. El número de componentes afecta la estructura del sistema. Los ecosistemas pueden tener un número diferente de poblaciones lo cual afecta su estructura.

Si continuamos con el ejemplo de la bicicleta como un sistema, comparemos dos de ellas, las cuales tendrían los mismos componentes con excepción del número de piñones: una con un piñón y la otra con un casete con siete piñones. Es decir, la segunda tendría seis componentes más. Esta diferencia en el número de piñones hace que las dos bicicletas tengan estructuras diferentes, ya que cambia el número de relaciones de velocidad. Al variar la estructura también varía su función. La bicicleta que tiene un número mayor de piñones sería mucha más eficiente que la que solo tiene uno: con el piñón pequeño se desplazará mejor en terrenos planos y con el grande se hará menos difícil para el ciclista subir cuestas con alta pendiente.

Tipo de componente

Las características de un componente individual del sistema, puede tener mucha influencia sobre la estructura de un sistema. Por ejemplo, la personalidad de un presidente influye considerablemente en la estructura del *sistema gobierno*. Así, la





estructura de un gobierno será diferente si tiene un presidente corrupto o un presidente honesto. En el ejemplo de las bicicletas, si las dos tienen el mismo número de componentes (en este caso, las dos con siete piñones), pero una de ellas tiene marco de fibra de carbón y la otra de acero, es obvio que la primera tendrá un peso considerablemente menor que la segunda y, por consiguiente, el ciclista portará una menor masa al momento de conducir, lo que le representará un menor esfuerzo.

Relación entre componentes

El número y tipo de componentes afecta la estructura del sistema, pero el arreglo o la interacción entre los componentes aún es más importante. El número y tipo de componentes ponen ciertos límites a los tipos de interacción que pueden ocurrir en un sistema, por ejemplo, pocos componentes limitan el número de interacciones o los mismos componentes pueden estar relacionados con diferentes arreglos (**ver figura 2**)

Las relaciones entre dos componentes pueden ser de cadena directa, en la cual la salida de un componente es entrada de otro; un ejemplo de esta relación es la cadena alimenticia, en donde las plantas son consumidas por los herbívoros y estos, a su vez, por los carnívoros. Por su parte, en las relaciones de cadena cíclica, la característica es que ocurre retroalimentación, la cual es propio de sistemas cerrados (los cuales se discutirán más adelante). Ejemplo de cadena cíclica son los ciclos de nutrientes dentro de un ecosistema. Finalmente, existe la relación de tipo competencia, en la cual dos componentes compiten por la misma entrada, por ejemplo, dos plantas compitiendo por la humedad del suelo.

Un sistema dependiendo del número y tipo de componentes puede tener solo una de estas de interacciones o, si el sistema es más complejo, puede tener las tres clases de interacción.

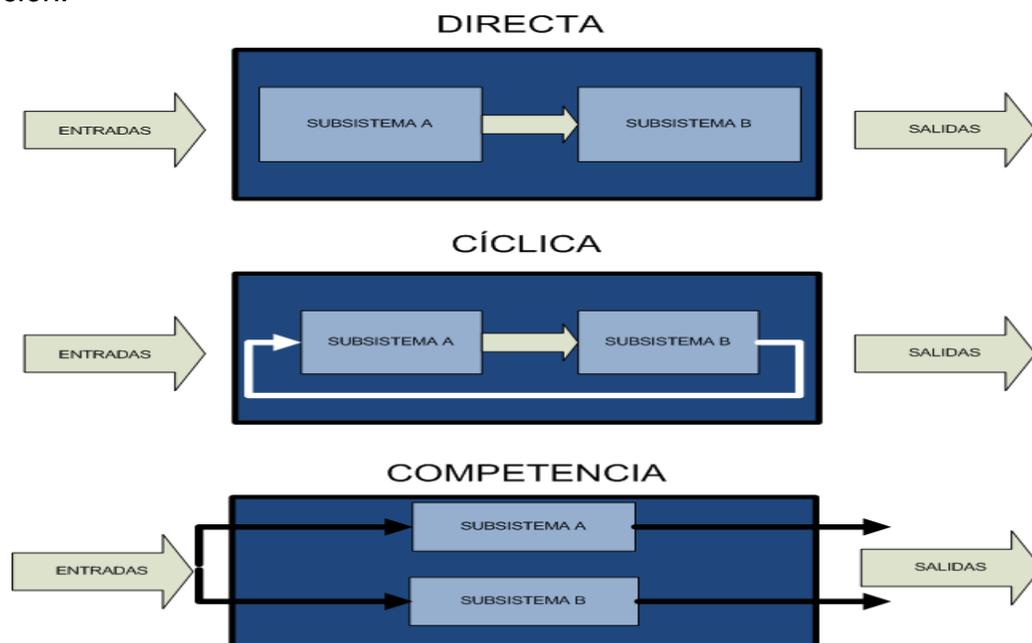
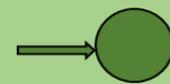
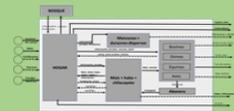


Figura 2. Diferentes tipos de relaciones entre componentes que afectan la estructura de un sistema





También pueden darse tres clases de relaciones entre componentes y flujos. Hay dos clases de autocontrol: uno es el autocontrol negativo, en donde un componente puede regular su entrada, por ejemplo, un animal controlando la cantidad de comida que ingiere, o el control de acceso de vehículos a un parqueo. Otro es el caso del autocontrol positivo, en el cual el componente puede regular sus propias salidas, por ejemplo, el control de un agricultor sobre la venta de su producto.

Otra relación entre componentes y flujos es la regulación entre componentes, en el cual un componente controla el flujo entre otros dos componentes, por ejemplo, un policía de tránsito regulando el tráfico entre dos arterias, un árbitro controlando dos equipos de fútbol o un agricultor controlando el flujo de fertilizantes de la bodega a una plantación de maíz (**ver figura 3**).

Se debe insistir que al variar la estructura cambia la función del sistema.

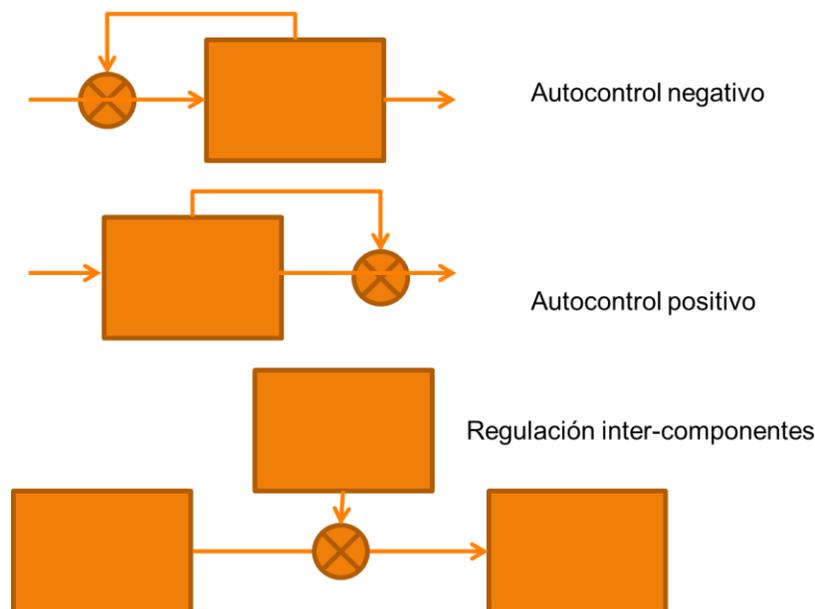
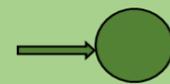
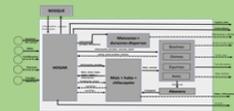


Figura 3. Diferentes tipos de relaciones entre componentes y flujos que afectan la estructura de un sistema

2.5. Función de un sistema

Los sistemas difieren en sus tipos de entradas, salidas y en el tipo de procesamientos, el cual está definido por su estructura. La organización de los componentes del sistema se determina por el propósito u objetivos de éste. Por lo tanto, la función de un sistema se define en términos de estos procesos. Ya se ha insistido en el hecho que si variamos la estructura de un sistema cambia su función. Por ejemplo, si el propósito de un sistema agropecuario es producir leche, por lo menos uno de sus componentes debería estar constituidos por vacas o cabras; si sustituimos el componente vacas o cabras por





gallinas, estamos cambiando la estructura y, por consiguiente, la función, por lo que el sistema ya no produciría leche, sino huevos.

La determinación o caracterización de la función de un sistema, puede hacerse a través de diferentes criterios, entre ellos: productividad, eficiencia, variabilidad y resiliencia.

Productividad

La productividad se refiere a la relación entre la cantidad de productos obtenida mediante un sistema productivo y los recursos empleados en su producción. En este sentido, la productividad es un indicador de la eficiencia productiva.

La productividad primaria en un sistema ecológico se define como la velocidad a la que es almacenada la energía por la actividad fotosintética o quimiosintética de organismos productores en forma de sustancias orgánicas susceptibles de ser consumidas como alimento (Odum, 1972).

La productividad bruta de un sistema es una medida de la salida de un sistema, muchas veces determinado a través de la variable tiempo y la unidad de producción, por ejemplo, número de pares de zapatos producidas por una fábrica (unidad) en una semana (tiempo), 12 t de maíz/ha/año. $PB = \text{Salidas}$. La productividad neta de un sistema es la cantidad de salidas, restando las entradas ($PN = \text{salidas} - \text{entradas}$)

Eficiencia

Eficiencia es la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función. La eficiencia es una medida que toma en cuenta la cantidad de entradas y salidas de un sistema. La eficiencia es igual a las salidas divididas entre las entradas (eficiencia = salidas/entradas). Por ejemplo, si 5 calorías entran a un sistema y salen 10, la eficiencia del sistema es de $10/5 = 2$, es decir por cada 5 calorías que entran al sistema salen 10. Para determinar la eficiencia es necesario que tanto las entradas como las salidas estén expresadas en la misma unidad de medida, sean estas calorías, unidades monetarias o cualquier otra.

Variabilidad

Es la propiedad de aquello que es variable. Este adjetivo, que procede del vocablo latino variabilis, refiere a lo que varía, cambia o se modifica. La variabilidad es un concepto que toma en cuenta la probabilidad en la cantidad de salidas.

Por ejemplo, si la fábrica "A" produce una salida que varía entre 5 y 10 carros al día y la fábrica "B" entre 2 y 13 carros diarios, aunque el promedio de salidas de dichas fábricas es de 7.5 carros por día, es obvio que la primera fábrica es menos variable en su función de producir carros y esto le da cierta ventaja con respecto a la fábrica "B".

Resiliencia

Resiliencia es el término empleado en ecología de comunidades y ecosistemas para señalar la capacidad de estos de absorber perturbaciones, manteniendo sus características de estructura, dinámica y funcionalidad prácticamente intactas; pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de esta. Por regla empírica



general, se ha observado que las comunidades o los ecosistemas más complejos —que poseen mayor número de interacciones entre sus partes—, suelen poseer resiliencias mayores, ya que existe una mayor cantidad de mecanismos autorreguladores (**ver figura 4**).

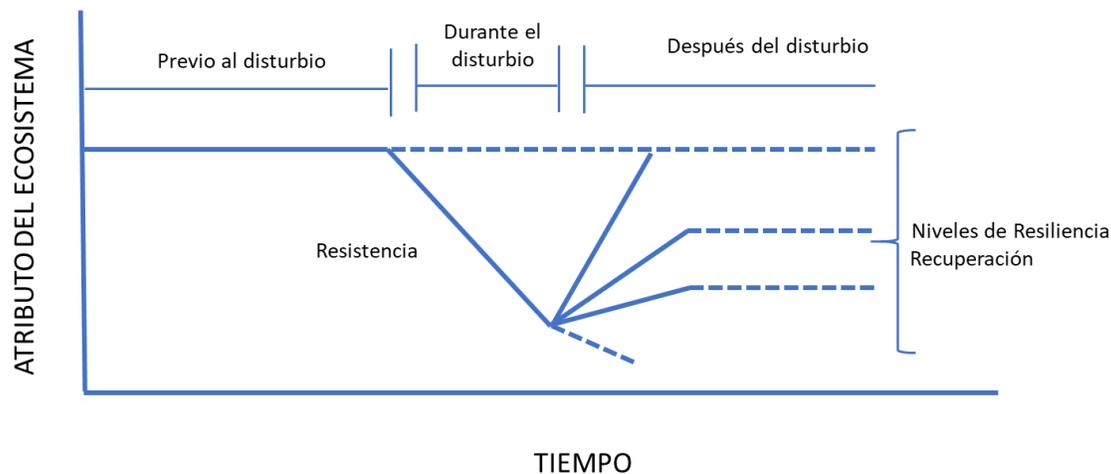


Figura 4. Niveles de resiliencia en un ecosistema.

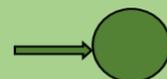
Las características de la función, tales como la productividad, eficiencia, variabilidad y resiliencia, son un resultado directo de las características de estructura de un sistema. Analizar un sistema no es más que relacionar la estructura con la función de ese sistema.

2.6. Tipos de sistemas

Por su naturaleza los sistemas pueden ser abiertos o cerrados.

Sistemas abiertos

Son los sistemas que dependen del ambiente exterior para las entradas y salidas. Los sistemas abiertos procesan las entradas para producir salidas. Es decir que si no tienen entradas no producen salidas. Este proceso lo realizan de forma más o menos fija, y la cantidad de salidas producidas se relaciona directamente con la cantidad de entradas aceptadas. Para continuar funcionando, los sistemas abiertos requieren constantemente de nuevas entradas. Un televisor puede ser un ejemplo de sistema abierto: si se corta una de las entradas deja de producir las salidas esperadas (**ver figura 5**).



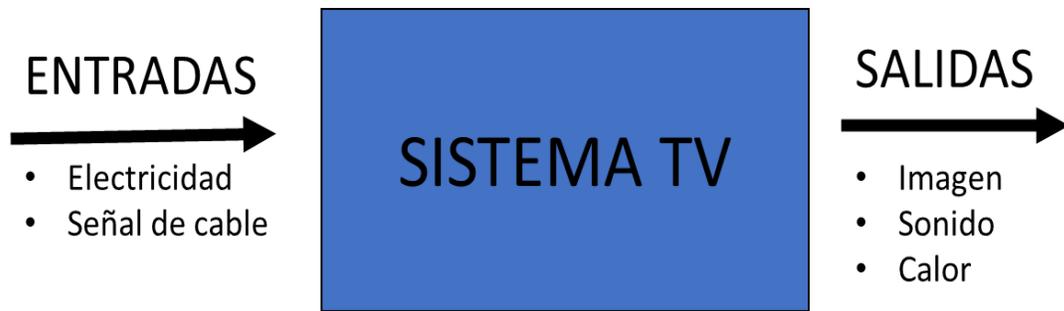
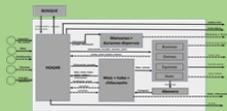


Figura 5. Un televisor como ejemplo de un sistema abierto.

Los sistemas abiertos por su estado transitorio pueden ser:

Sistemas en **estado transitorio positivo**, que corresponden a los sistemas que están en crecimiento y se caracterizan porque sus entradas son mayores que sus salidas.

Sistemas en **estado transitorio negativo**, que corresponden a los sistemas que se encuentran en una etapa decadente y que se caracterizan porque sus entradas son menores a las salidas que produce.

Sistemas en **estado estable**, son los que se encuentran en una situación equilibrada, es decir, que las cantidades de entradas y salidas del sistema son iguales (**ver figura 6**).

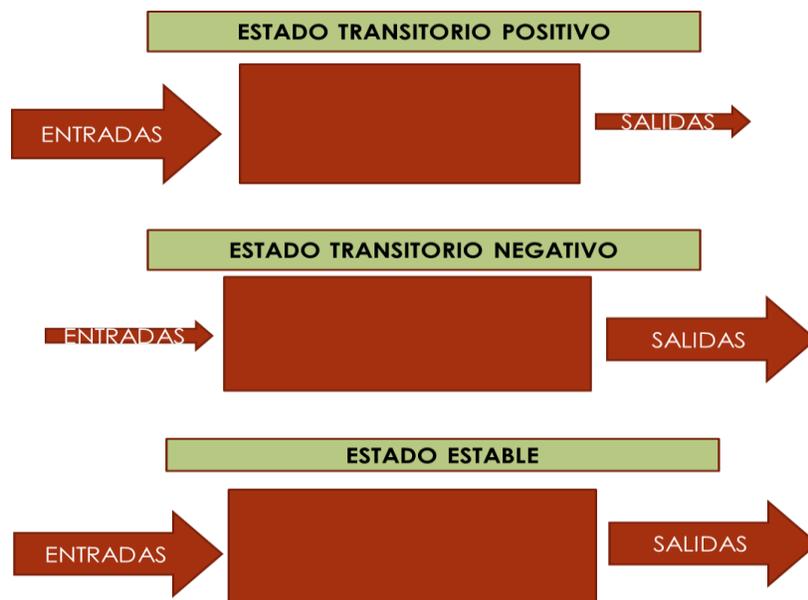
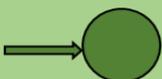
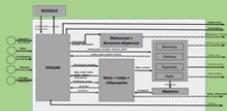


Figura 6. Los sistemas por su estado transitorio.





Sistemas cerrados

También llamados sistemas cibernéticos. Estos sistemas utilizan algún mecanismo de retroalimentación para su autorregulación. La idea básica de la retroalimentación consiste en que, una parte de la salida de un componente del sistema se utiliza para controlar una fracción de la entrada futura de otro componente del sistema. Los sistemas cibernéticos poseen generalmente un estado ideal o punto de partida, que consiste en el estado en el cual se apoya el sistema (Sutton & Harmon, 1976).

Un ejemplo de un sistema cibernético es de un calentador – termostato, cuyo punto de partida corresponde a la temperatura en que se fija el disco de ajuste. Cuando se rebasa el punto de partida, un mecanismo interno se activa, con lo que se reduce la entrada al sistema, restringiendo la tendencia a rebasar ese punto de partida. Lo mismo sucede a la inversa, cuando no se alcanza dicho punto, el mecanismo interno aumenta la entrada al sistema hasta que se alcanza nuevamente el punto de partida.

La retroalimentación negativa es la que determina el reajuste del punto de partida. La referencia negativa es que la retroalimentación detiene o invierte una tendencia de separación del punto de partida.

Los sistemas cibernéticos también pueden contar con retroalimentación positiva, la cual provoca una tendencia continua a aumentar la separación del punto de partida.

Pueden ejemplificarse las retroalimentaciones negativa y positiva, con lo que sucede con la temperatura del cuerpo humano, la cual se mantiene por un termostato muy complejo. La temperatura del cuerpo humano es de 36.5° C y una serie de mecanismos complejos de retroalimentación negativa mantiene la temperatura cercana a este punto de partida. Cuando la temperatura del cuerpo se eleva, estos mecanismos reducen la producción de calor y aumentan sus pérdidas a través de la exudación y radiación. A medida que la temperatura del cuerpo disminuye, éste responde aumentando la producción de calor y disminuyendo su pérdida; la exudación y la circulación superficial disminuyen, provocando que la piel se erice. Sin embargo, a temperaturas extremas, estos elementos del sistema cibernético de regulación de la temperatura corporal pueden ser insuficientes. A temperaturas más elevadas, el cuerpo resulta incapaz de perder calor a velocidad suficiente y entonces aparece la retroalimentación positiva. Los procesos metabólicos corporales se desarrollan más rápidamente, lo cual eleva aún más la temperatura, lo que, a su vez, acelera la velocidad metabólica que, nuevamente, hace aumentar más la temperatura del cuerpo. Este ciclo vicioso determina finalmente la muerte. Los mecanismos de retroalimentación negativa normales también fallan a temperaturas extremadamente bajas, dando lugar a la retroalimentación positiva, con lo que, a menor temperatura del cuerpo se reduce la velocidad del metabolismo y posteriormente la muerte (**Ver figura 7**).

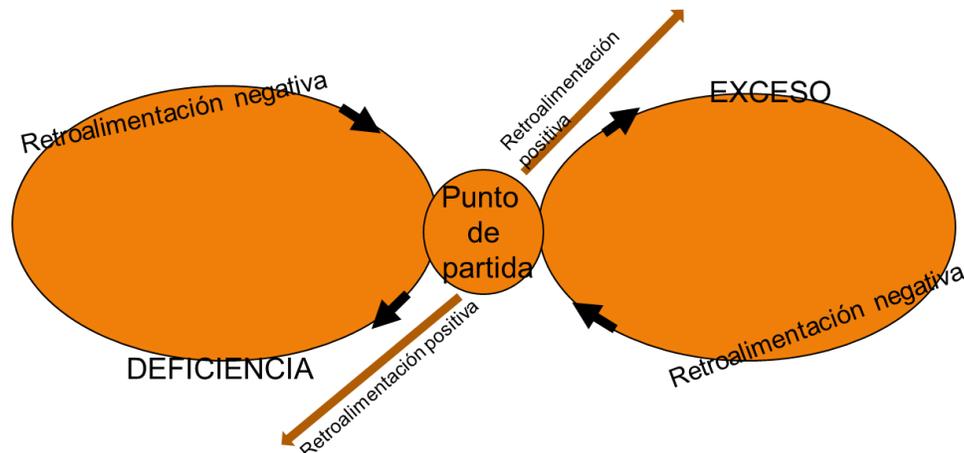


Figura 7. Modelo de un sistema cerrado mostrando la retroalimentación negativa y la retroalimentación positiva

La razón por la que se presenta la retroalimentación negativa en ciertos casos y la positiva en otros, se debe a que un sistema cibernético posee una placa homeostática, es decir, que el sistema tiene ciertos límites dentro de los cuales se presenta la retroalimentación negativa. Más allá de dichos límites, cuando la separación del punto de partida se hace demasiado grande, aparece la retroalimentación positiva.

2.7. Relación entre estructura y función

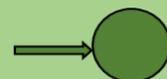
Las relaciones entre estructura y función que pueden darse en un sistema son las siguientes:

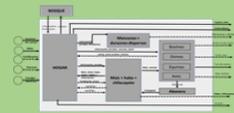
Relación entre retroalimentación y variabilidad

Lo que se esperaría es que los sistemas abiertos que poseen por lo menos un componente o subsistema cerrado son menos variables que los sistemas abiertos de cadena directa. Si vemos al cuerpo humano como un sistema abierto, tiene como componente un sistema cerrado que le permite autorregular su temperatura, lo cual genera que esta varíe muy poco, independientemente de donde se encuentre. Cosa contraria ocurre con los animales de sangre fría.

Relación entre complejidad y variabilidad, entre complejidad y resiliencia

La relación entre la complejidad del sistema y la variabilidad ha sido un tema muy discutido. Reconocer el nivel de complejidad de un sistema no es sencillo; esta complejidad no está dada solo por el número de componentes del sistema, sino principalmente por las interacciones que se dan entre sus componentes. Un sistema





puede tener muchos componentes, pero si sus relaciones son de cadena directa, la variabilidad puede ser muy alta y su resiliencia muy baja. Caso contrario ocurre con los sistemas abiertos, pero con subsistemas cerrados con mecanismos de retroalimentación: la variabilidad puede ser baja y la resiliencia alta. El caso de la agricultura convencional puede ser un ejemplo para el primer caso y los ecosistemas naturales para el segundo.

Relación entre auto reorganización y evolución

Muchos sistemas tienen características que los hacen cambiar rápidamente de un estado a otro (auto reorganización). Al modificarse el ambiente, un sistema con estas características puede sobrevivir al cambio. Por ejemplo, poblaciones de insectos con una alta diversidad genética, tienen mayor posibilidad de sobrevivir a cambios en el ambiente físico que aquellas poblaciones de insectos con una limitada diversidad genética. Los sistemas con auto reorganización pueden evolucionar, como es el caso de la resistencia de ciertos insectos a los insecticidas.

Relación entre evolución y organización jerárquica

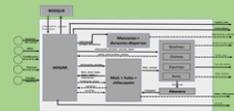
En el proceso de evolución de los sistemas existentes en el universo, han resultado muchos tipos de interacciones entre ellos. De la misma manera que los componentes de un sistema pueden tener interacciones de cadena directa, cadena cíclica y competencia, los sistemas también pueden formar conjuntos de sistemas. Las relaciones entre sistemas de este tipo forman una jerarquía de sistemas; los componentes de un sistema son sus subsistemas y los sistemas a su vez, son componentes de un sistema más grande: los suprasistemas (sistema que está formado por otros sistemas). Esto puede resumirse diciendo que un sistema nunca permanece aislado.

Un ejemplo de jerarquía de sistemas son los ecosistemas. Si vemos al ecosistema como un sistema mayor, es decir el suprasistema, éste a su vez se encuentra conformado por dos sistemas: el biótico y abiótico. El sistema biótico, por su parte, está constituido por poblaciones de plantas, herbívoros, carnívoros y microorganismos, que constituyen los subsistemas del sistema biótico. Por lo tanto, estamos hablando de tres niveles jerárquico: suprasistemas, sistemas y subsistemas.

2.8. Características de los sistemas

2.8.1. Propósito de los sistemas

Todos los sistemas tienen un propósito u objetivo: los elementos de los sistemas, como también sus relaciones, definen una distribución en ellos (es decir, la estructura del sistema) que trata siempre de alcanzar un objetivo (es decir, la función del sistema).



2.8.2. Sinergia

La sinergia, hace referencia a un fenómeno por el cual actúan en conjunto varios factores, o varias influencias, observándose así un efecto conjunto adicional del que hubiera podido esperarse operando independientemente, dado por la con-causalidad, a los efectos de cada uno. En estas situaciones, se crea un efecto extra debido a la acción conjunta o solapada, que ninguno de los sistemas hubiera podido generar en caso de accionar aisladamente.

Esto significa que el todo es mayor que la suma de sus partes. Los componentes del sistema valen más como una unidad (sistema) que, como una parte independiente, de allí la importancia de las interrelaciones entre los componentes del sistema.

Se dice que un objeto posee sinergia cuando el examen de una de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir la conducta del todo.

2.8.3. Entropía

Es la tendencia natural a la pérdida de orden en un sistema, a desgastarse o desintegrarse. En el área de termodinámica, entropía es la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para realizar trabajo y que, en consecuencia, se pierde (segunda ley de la termodinámica).

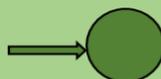
La formulación de Clausius establece que no existe ningún proceso espontáneo cuyo efecto neto sea únicamente la transferencia de calor de un cuerpo frío a uno caliente. El cubo de hielo se derrite al absorber parte del calor del agua más caliente, pero este fenómeno no es reversible de forma espontánea, o cuando dejamos caer una gota de tinta en un vaso con agua, la gota se difumina de forma espontánea hasta teñir todo el líquido y queda un color homogéneo (Sanz, 2021).

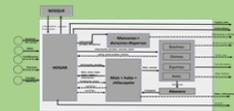
En este sentido, la entropía describe la irreversibilidad de los sistemas termodinámicos.

2.8.4. Homeostasis

La homeostasis es la capacidad del organismo para mantener una condición interna estable, constante, compensando los cambios en su entorno (límite homeostático) mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior, incluso frente a alteraciones o cambios impuestos por el entorno o el medio ambiente.

Se entiende como el conjunto de fenómenos de autorregulación que permiten el mantenimiento de una relativa constancia en la composición y propiedades del medio interno de un sistema.





2.9. Del enfoque reduccionista al enfoque de sistemas en la agricultura

Junto con el desarrollo de la ciencia moderna en los siglos XVI y XVII, se estableció una visión mecánica de la realidad, en el marco de la cual el mundo pasó a ser percibido mediante la metáfora de una máquina. El marco conceptual de Galileo y Descartes, consideraba una realidad objetiva gobernada por leyes matemáticas exactas, lo cual se complementó con la mecánica de Newton, para legitimar el mecanicismo y validar sus implicaciones: reduccionismo, determinismo, linealidad y mono causalidad. Junto con esta visión de mundo, se consolidó el pensamiento duro, donde los hechos cuantificables, capaces de ser traducidos al lenguaje matemático, pasaron a ser los únicos hechos relevantes. Con la Revolución Industrial, en la segunda mitad del siglo XVIII, esta visión de mundo se consolidó, y hasta hoy ha prevalecido sobre otras y ha influido en las más importantes decisiones de la humanidad en ese período (Machado, Martín, & Funes, 2009).

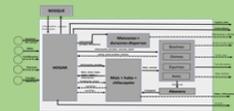
Es por lo que, desde el surgimiento de las ciencias agrícolas en el siglo XIX, sus métodos de estudio estuvieron influenciados por un enfoque atomístico, debido a la adopción del método reduccionista o mecanicista utilizado en las ciencias físicas y biológicas en aquel momento (sus unidades de estudio las constituían el átomo y la célula). Dicho enfoque se caracterizó por dividir un fenómeno en sus partes constitutivas, suponerlas independientes y considerar que la suma de estos estudios podía explicar el fenómeno como un todo; de este modo, los fenómenos se dividieron para su estudio en partes cada vez más pequeñas y cada una se asoció a una disciplina, dando lugar a una especialización extrema.

La hiper especialización impide ver tanto lo global (pues lo fragmenta en disciplinas), como lo esencial (pues lo disuelve). La cuestión es que los problemas esenciales nunca son disciplinarios y los problemas globales son cada vez más esenciales (Morin, 2000).

El enfoque reduccionista dominó las ciencias en general, hasta la década del cuarenta del siglo XX, y contribuyó, de manera significativa, al progreso científico-técnico de la humanidad. Sin embargo, este método enfrentó enormes dificultades para la explicación de fenómenos complejos, incluidos los de producción agropecuaria. Esta situación es aún más crítica cuando se trabaja con sistemas campesinos, donde ha resultado imposible comprender la conducta global sin considerar, de manera interrelacionada, los componentes constituyentes y sus complejas interacciones.

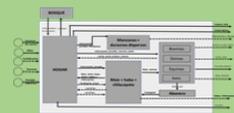
La aparición del enfoque de sistemas tiene su origen en la incapacidad manifiesta de la ciencia para tratar problemas complejos. Así, el enfoque de sistemas aparece para abordar el problema de la complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades que complementa el reduccionismo científico.

Los sistemas complejos son situaciones que se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada.



Una empresa agropecuaria es un sistema sociotécnico, compuesto de cierto número de subsistemas que se interrelacionan de diferentes formas y a distintos niveles de complejidad, y donde lo social y lo tecnológico tienen igualmente importancia. La empresa es la estructuración de las actividades humanas alrededor de distintas tecnologías, las cuales afectan el tipo de insumo requerido, la naturaleza de los procesos de transformación y los productos obtenidos. El subsistema social determina la efectividad y eficiencia de la utilización de la tecnología y está condicionado por el subsistema cultural; es allí donde se generan las interacciones entre las capacidades y las habilidades del individuo, sus valores, motivaciones y creencias, con las creencias, exigencias y metas de la organización.

Los agroecosistemas son sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimentos, fibras y otros productos y servicios. Son ecosistema en donde el hombre toma decisiones para favorecer el crecimiento de unos organismos sobre otros, en función de satisfacer las necesidades humanas. Las decisiones que se toman pueden favorecer el ecosistema o dañarlo, de manera que, en algún momento, uno u otro de sus componentes ponen un límite al crecimiento (placa homeostática). Es importante destacar que un agroecosistema tiene entradas y salidas; estas últimas están en dependencia de su capacidad de producir en función del flujo de energía y materiales que circulan; asimismo, los seres humanos son una parte inseparable del ecosistema, por lo que la satisfacción de sus necesidades también depende de su capacidad de producción.



3. BASES ECOLÓGICAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

En la naturaleza ocurren diferentes procesos que permiten que los ecosistemas naturales como bosques, estuarios y otros, funcionen con una alta eficiencia. En muchos sistemas agrícolas, especialmente de monocultivos, estas funciones han sido suprimidas o están muy disminuidas por los planes de manejo que el agricultor utiliza, por lo que estos sistemas pueden ser poco eficientes, con alta variabilidad y con poca resiliencia desde el punto de vista de la agricultura sostenible. Por ello, el propósito de este capítulo es el de demostrar como el enfoque de sistemas se aplica de una manera práctica a la ecología, pero, además, como la ecología es la base que sustenta una agricultura sostenible.

3.1. Ecología

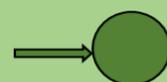
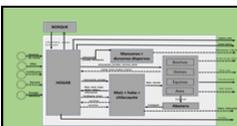
La ecología es la ciencia que estudia las interacciones entre los organismos vivos y su ambiente; se ha definido como el estudio de los ecosistemas. Los organismos vivos no existen de manera aislada: interactúan entre sí y sobre los componentes físicos y químicos del ambiente abiótico. Se denomina ecosistema a la unidad básica de la interacción entre organismos y ambiente, que resultan de las complejas relaciones existentes entre los componentes vivos e inanimados de un área dada. Cuando los componentes bióticos y los componentes abióticos actúan entre sí de forma regular y directa, se consideran sistemas. Los ecólogos tratan especialmente los sistemas poblacionales, los sistemas comunidades y los ecosistemas (Sutton & Harmon, 1976).

Los sistemas con componentes vivos tienen características diferentes que los sistemas con componentes físicos o abstractos, como los sistemas de información (Hart, 1985).

3.2. Niveles de organización y la jerarquía de los sistemas

Una manera de delimitar el área de enfoque de la ecología es considerar los niveles de organización de la biología. Los diferentes niveles de organización del espectro biológico han sido considerados por Odum (Odum, 1972) como sistemas biológicos. Cuando los componentes bióticos (organismos) y los componentes abióticos interactúan entre sí, a través de un intercambio de materia y energía, se produce un sistema biológico funcional.

La jerarquía de subsistemas dentro de un ecosistema se integra por los siguientes niveles: un ecosistema contiene componentes bióticos tales como poblaciones de plantas, animales y microorganismos, y componentes físicos como el agua, suelo y clima. Estos componentes interactúan para formar una estructura con una función que es un conjunto de procesos físicos y bióticos (Hart, 1985).





Si se separan los componentes bióticos de un ecosistema, estos forman un conjunto al que se denomina comunidad (conjunto de poblaciones de diferentes especies: plantas, animales y microorganismos). Si se separa una población de la comunidad de un ecosistema, esta población se puede estudiar como un sistema de organismos (individuos) del mismo grupo taxonómico (casi siempre de la misma especie). Cada organismo interactúa con otros para formar un conjunto definido como población (ver figura 8).

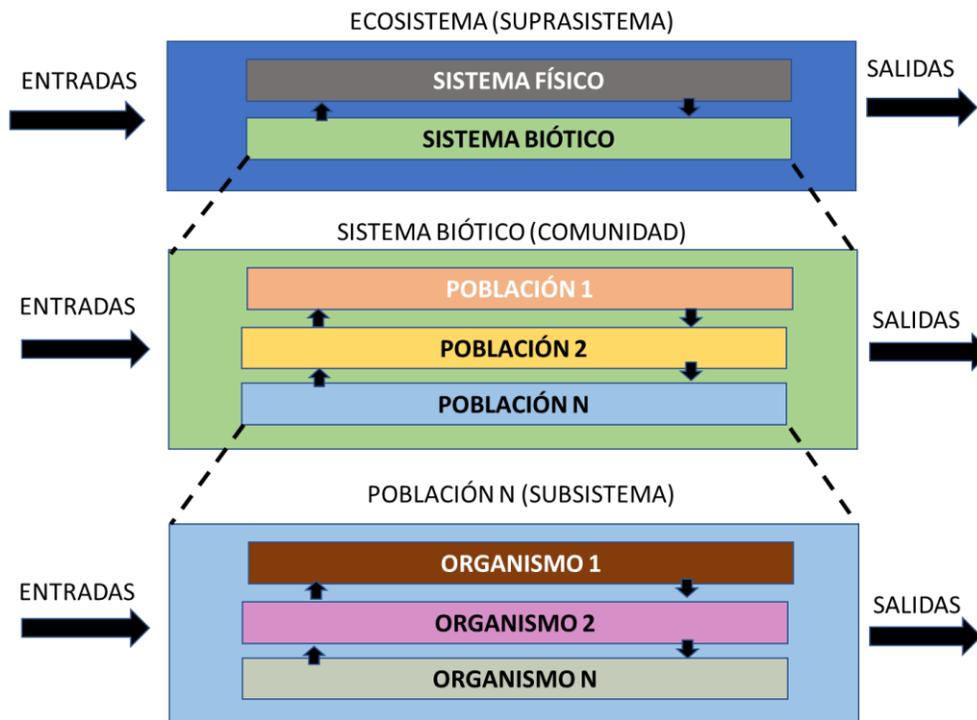
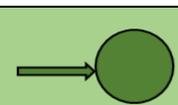
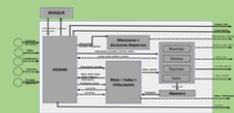


Figura 8. Tres niveles jerárquicos de un ecosistema (suprasistema, sistema y subsistemas) y sus interacciones

Odum (1972), propone que se consideren las áreas de estudio biológico como espectros constituidos por diferentes niveles de organización, cada uno de los cuales representa un tipo de sistema biológico. El estudio de los seres vivos exige considerar a éstos como una jerarquía organizada en niveles, cada uno con características diferentes al anterior, es decir, presentan diferente estructura y, por consiguiente, diferente función. Cada uno de estos niveles es un sistema diferente con complejidades e interacciones en donde aparecen propiedades emergentes que no se pueden explicar a partir de los componentes del nivel inferior, sencillamente porque se derivan de la interacción y no de los componentes individuales. Por lo tanto, cada uno de los componentes bióticos representa un nivel de organización con características y funciones propias.

Por ejemplo, la tasa de natalidad (que es una medida de cuantificación de la fecundación), se presenta a nivel de población, característica que no aparece en el nivel inferior (individuos), aunque si no existieran los individuos no se organizarían las poblaciones. Lo mismo ocurre con las relaciones simbióticas que son una característica





de los ecosistemas y ocurre por la interacción entre dos o más poblaciones, ya que a nivel de población no se dan relaciones simbióticas. Las interacciones de estructura y función celular son tan complejas como las que ocurren a nivel de las comunidades.

Cada nivel de organización (de izquierda a derecha) incluye un componente biótico que interactúa con un componente abiótico, a través de un intercambio de energía. Cada uno de los niveles que interactúan produce un sistema biológico funcional (**ver figura 9**). Como ya se indicó, parecería que los componentes pequeños y simples se presentan a la izquierda y que los grandes y complejos se presentan a la derecha, pero cada nivel tiene su propia estructura y funciones.

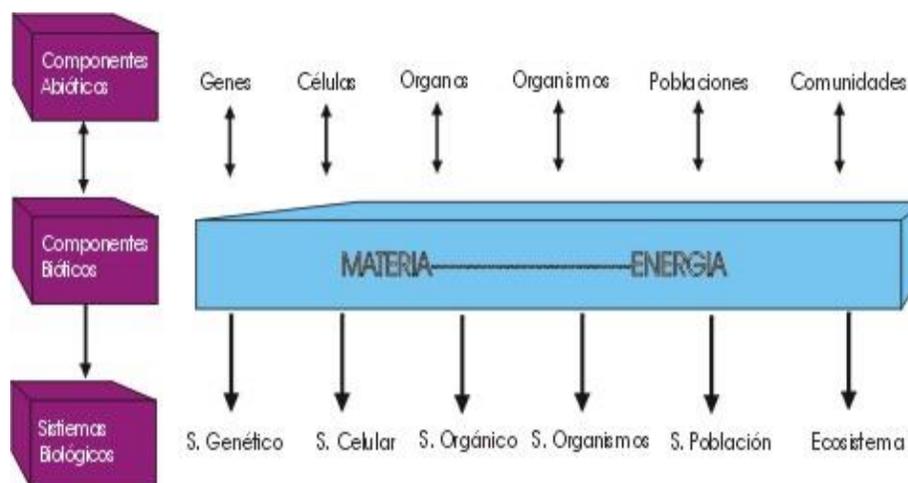


Figura 9. Niveles de organización de Odum (1971)

Los ecólogos estudian principalmente el lado derecho del espectro de organización, especialmente poblaciones, comunidades y ecosistemas.

Población

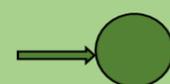
Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área específica. Por ejemplo, población de tilapias en un estanque, población de bovinos en un potrero, población de zompos en un zompopero.

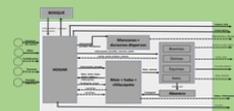
Comunidad

Toda población de organismos que existe e interactúa en un área determinada. La comunidad incluye a todos los componentes vivos de un área. Por ejemplo, una comunidad del bosque monte espinoso subtropical incluye poblaciones de limoncillo, guayacán, cactus, tunas, ixcanales, alacranes, lagartijas e iguanas, entre otras.

Ecosistema

La comunidad interactuando con el ambiente inanimado, que funciona por consiguiente como un sistema. Al componente biótico se le suma el componente abiótico, lo cual produce un sistema relativamente estable.





3.3. Ecosistemas

Un ecosistema es un sistema biológico constituido por una comunidad de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico donde se relacionan (biotopo). Se trata de una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat. Los ecosistemas suelen formar una serie de cadenas que muestran la interdependencia de los organismos dentro del sistema. También se puede definir como “la comunidad biológica de un lugar y de los factores físicos y químicos que constituyen el abiótico” (Holdridge, 2000). Se considera que los factores abióticos y bióticos están ligados por cadenas tróficas o sea el flujo de energía y nutrientes en los ecosistemas.

Los organismos vivos y su ambiente inerte están inseparablemente ligados y actúan recíprocamente entre sí. Cualquier unidad que incluya la totalidad de los organismos (una comunidad) de un área determinada que actúa en reciprocidad con el medio físico, de modo que una corriente de energía conduzca a una estructura trófica, una diversidad biótica y a ciclo de materiales (intercambio de materiales entre la parte viva y la inerte) claramente definidos dentro del sistema, es un sistema ecológico o ecosistema (Odum, 1972).

El componente biótico del ecosistema, desde el punto de vista trófico, tiene dos componentes, que por lo regular suelen estar parcialmente separados en el tiempo y el espacio: estos son el componente autótrofo, en el que predomina la fijación de la energía de la luz, el empleo de sustancias orgánicas simples y la construcción de sustancias complejas. Y un componente heterótrofo, constituido por organismos que no pueden producir su propio alimento, sino que se nutren de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal. En la cadena alimentaria, los heterótrofos son consumidores primarios, secundarios y terciarios, pero no productores (ver figura 10)

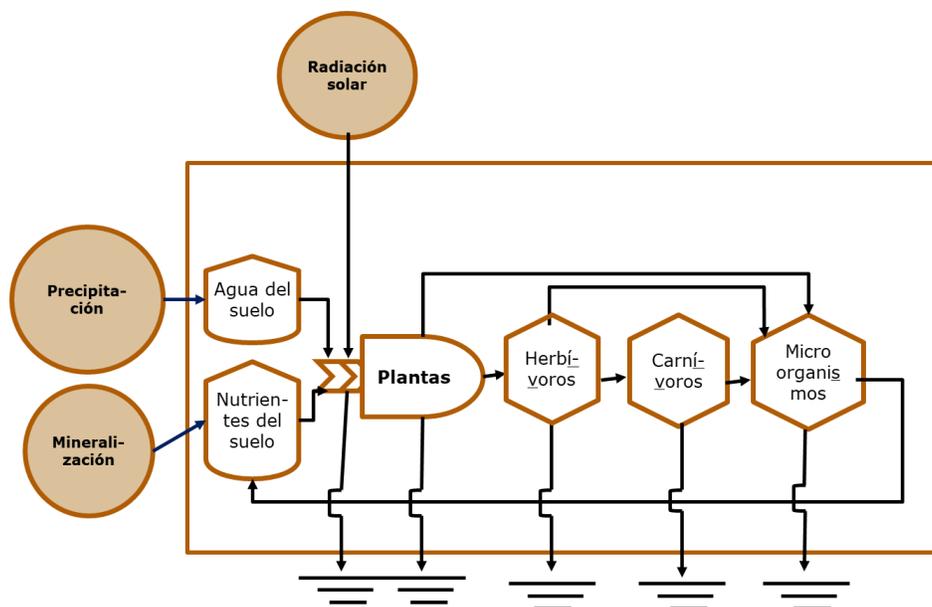
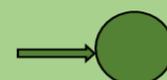
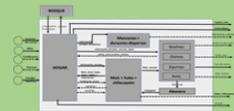


Figura 10. Componentes de un ecosistema (Hart, 1985)





3.4. La energía en los ecosistemas

La energía es la capacidad para producir trabajo. La energía interviene en cada elemento simple del universo; existe energía en todo lugar y en cualquier cosa, lo cual constituye uno de los conceptos fundamentales de la física (Sutton & Harmon, 1976).

La radiación solar es la fuente principal de energía en los ecosistemas. La energía entra al sistema por la fotosíntesis de las plantas; los herbívoros reciben su energía al consumir los tejidos de las plantas; los carnívoros, al consumir a otros animales y los microorganismos consumiendo restos de plantas y animales. En todos los eslabones de esta cadena de flujo de energía, un porcentaje de energía que entra al sistema se convierte en calor, incrementa la biomasa dentro del sistema o sale del sistema en forma de biomasa animal o vegetal. El flujo de energía en el ecosistema es en una dirección y no se recicla (ver figura 10) (Hart, 1985).

La radiación solar que atraviesa la atmósfera y que se absorbe en la superficie terrestre, se utiliza en diversos procesos, tales como: suministro de energía, conducción de ciclos atmosféricos principales y promoción de la fotosíntesis.

El comportamiento de la energía dentro del ecosistema está determinado también por las leyes de la termodinámica; estas indican las relaciones entre las diferentes formas de energía.

Primera ley: “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”.

Segunda Ley: “siempre que la energía se transforma, tiende a pasar de una forma más organizada y concentrada a otras menos organizada y más dispersa”.

La energía solar se irradia a la tierra, pero la atmósfera evita que parte de la radiación solar llegue hasta ella. Solamente alrededor del 50% de la luz del sol que llega a la parte superior de la atmósfera de la tierra, llega a su superficie. El calor procedente de la tierra se desprende constantemente al espacio exterior.

Desde el punto de vista energético, la tierra es un sistema abierto. Sus entradas son ondas electromagnéticas de longitud corta y las salidas ondas de longitud larga en forma de calor; sus componentes son atmósfera, hidrosfera, biosfera y litosfera (**ver figura 11**).

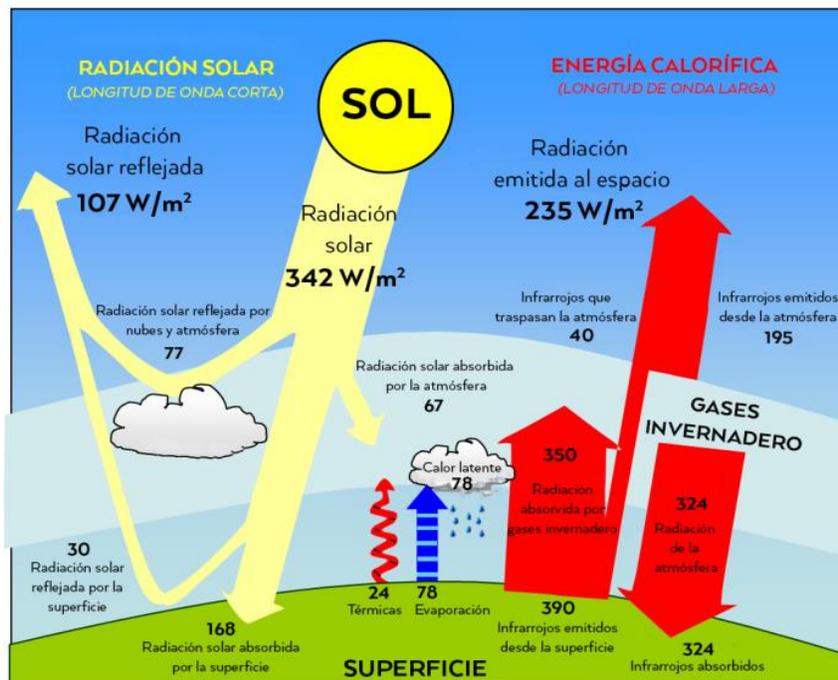


Figura 11. Entrada de energía a la superficie terrestre

(tomado de https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/436_balance-de-energia)

La energía solar se irradia en forma de ondas electromagnéticas, cuyas longitudes varían de 0.2 hasta 4.0 micrones (un micrón es igual 1/10,000 de un centímetro). Este espectro abarca desde la zona ultravioleta hasta la infrarroja. Aproximadamente la mitad de la energía solar se irradia en longitudes de onda correspondiente al espectro visible y puede ser captada por el ojo humano (0.39 a 0,76 micrones). La mayoría de las longitudes de onda corta pasan directamente a través de la parte superior de la atmósfera, con excepción de los rayos ultravioleta que son atrapados por la capa de ozono (ver figura 12).

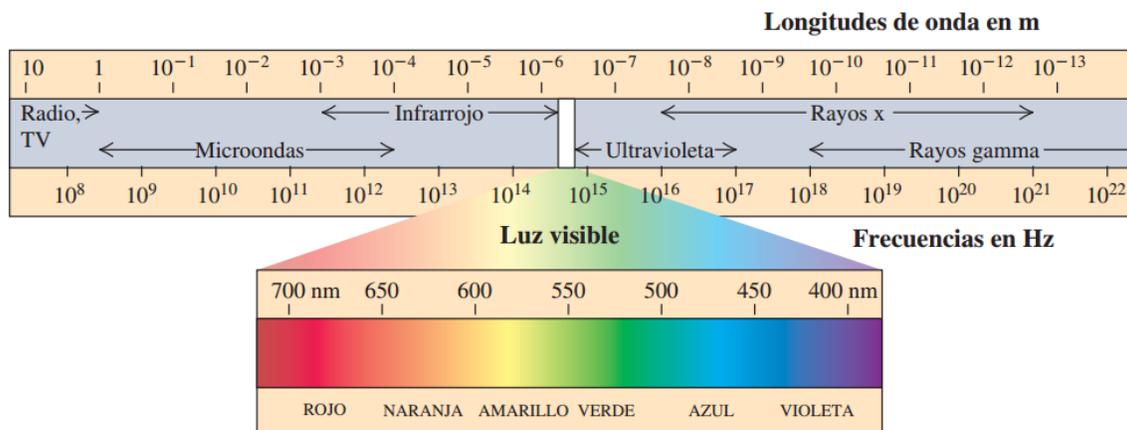
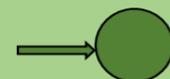
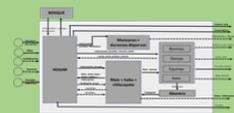


Figura 12. Espectro electromagnético

(Tomado de: <https://sites.google.com/site/ondaselecmag/espectro-electromagnetico>)





La radiación solar que atraviesa la atmósfera y se absorbe en la superficie terrestre, se utiliza en diversos procesos. Conduce los ciclos atmosféricos, funde el hielo, evapora el agua y genera vientos, ondas y corrientes, así mismo, suministra la energía para todos los organismos que habitan el planeta.

La mayor parte de la energía que llega a la tierra se refleja a la superficie y la tierra generalmente refleja radiaciones de longitud de onda larga (12 micrones) en forma de calor. La atmósfera retiene parte de las radiaciones calóricas, provocando el efecto invernadero.

3.5. La fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso metabólico por el que las plantas verdes convierten sustancias inorgánicas (dióxido de carbono y agua) en sustancias orgánicas (hidratos de carbono) desprendiendo oxígeno, y lo hacen aprovechando la energía de la luz solar. Además, es el principal proceso de nutrición de las plantas y de otros organismos dotados de clorofila. La fotosíntesis es importante porque constituye la única forma para los seres vivos de fijar significativamente la energía solar (Sutton & Harmon, 1976). La fotosíntesis es una representación de un sistema abierto (**ver figura 13**).

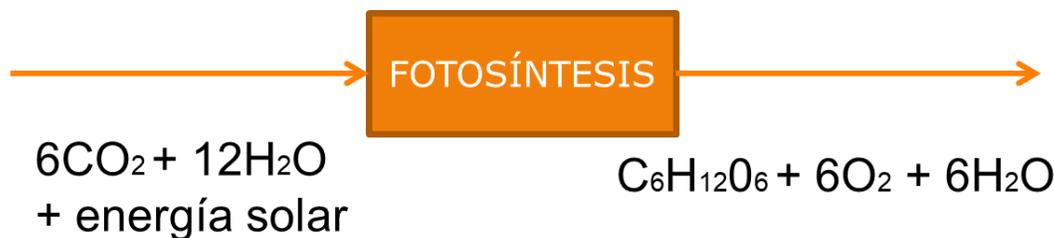
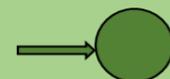


Figura 13. La fotosíntesis como sistema abierto.

La fotosíntesis como sistema abierto posee como componentes subsistemas cerrados, como el ciclo de Calvin, los que le proporcionan estabilidad (**ver figura 14**).

Los autótrofos almacenan energía química en moléculas de carbohidratos que generan ellos mismos. La mayoría de los autótrofos generan su propio "alimento" a través de la fotosíntesis, usando la energía del sol: La fotosíntesis ocurre en el cloroplasto (un orgánulo específico de las plantas) y las reacciones luminosas ocurren en las membranas tilacoides del cloroplasto. Las moléculas transportadoras de electrones se distribuyen en cadenas de transporte que producen ATP y NADPH, las cuales almacenan energía química de manera temporal. Las reacciones luminosas capturan energía de la luz del sol, cambiándolas por energía química que es almacenada en moléculas de NADPH y ATP. Las reacciones luminosas también liberan oxígeno como un producto de desecho. Las reacciones del ciclo de Calvin añaden carbono (a partir del dióxido de carbono de la atmósfera) a una simple molécula de 5 carbonos llamada RuBP. Las





reacciones del ciclo de Calvin usan energía química de la NADPH y del ATP que se produjo en las reacciones luminosas. El producto final del ciclo de Calvin es la glucosa.

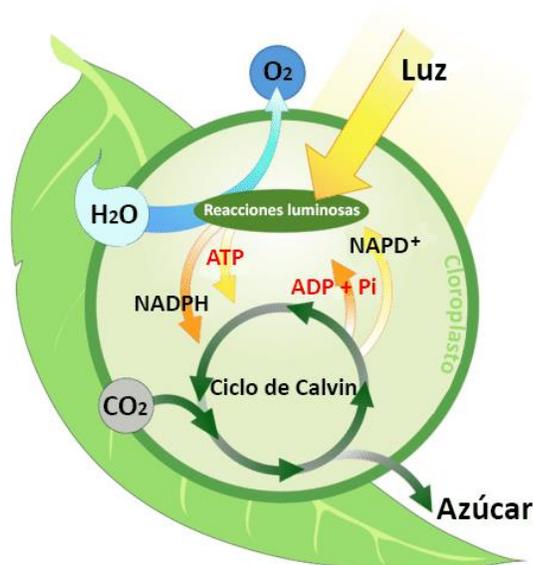


Figura 14. La fotosíntesis como sistema abierto y subsistemas cerrados, ciclo de Calvin y reacciones luminosas

(tomado de <https://www.ck12.org/book/ck-12-conceptos-biolog%C3%ADa/section/2.23/>)

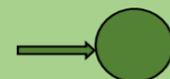
3.6. El geosistema

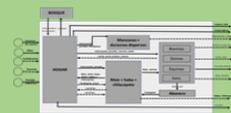
La tierra como un sistema abierto (geosistema) es considerado como una unidad ecológica interactiva. Está conformada por elementos bióticos (biosfera), elementos abióticos (litósfera, atmósfera, hidrósfera) y elementos antrópicos (el hombre y su ambiente), en la que se dan permanentes interacciones. Dentro de los componentes del sistema tierra se encuentran sistemas cerrados con mecanismos de retroalimentación negativa los cuales le dan estabilidad a este sistema, entre ellos el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos.

3.6.1. El ciclo del agua

Uno de los grandes ciclos de la tierra es el ciclo del agua (hidrológico). El agua se mueve constantemente desde la atmósfera a la tierra, a los mares y luego nuevamente a la atmósfera. Cuando el agua se mueve, modifica la superficie de la tierra: es un agente poderoso de los cambios geológicos (Sutton & Harmon, 1976).

El agua es indispensable para la existencia de la vida debido a que es un solvente universal. La mayor parte del tejido vivo se compone de agua, la cual actúa como el medio necesario para las reacciones químicas de las células del cuerpo.





El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua; a esto se le llama condensación. Las gotas se juntan y forman una nube, las que caen por su propio peso (precipitación). Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo; si es más cálida, caerán gotas de lluvia. Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son (**ver figura 15**):

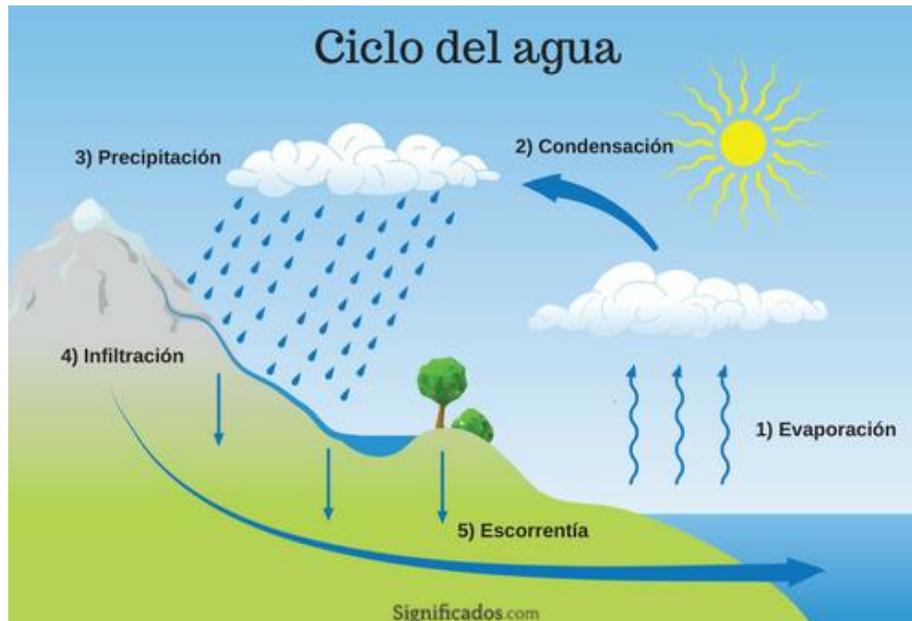


Figura 15. El ciclo del agua

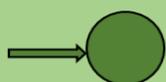
(tomado de <https://www.significados.com/ciclo-del-agua/>)

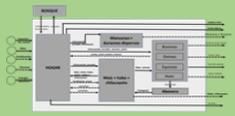
Evaporación: el agua se evapora en la superficie oceánica y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración de plantas y sudoración en animales.

Condensación: el agua en forma de vapor sube y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en gotas minúsculas.

Precipitación: se produce cuando las gotas de agua, que forman las nubes, se enfrían acelerando la condensación, uniendo las gotas de agua para formar gotas mayores que terminan por precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso. La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia).

Infiltración: ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del suelo y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, intersecan (es decir, cortan) la superficie del terreno.





Escorrentía: se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. Es el principal agente geológico de erosión y de transporte de sedimentos.

3.6.2. Los ciclos biogeoquímicos

Se denominan ciclos biogeoquímicos a la conexión y movimientos que existen entre los elementos vivos y los no vivos con el fin de que la energía fluya a través de los ecosistemas. La palabra biogeoquímico está compuesta por términos que derivan del griego: *bio* que significa "vida", y *geo*, que indica "tierra" y químicos porque se trata de elementos naturales. Por tanto, biogeoquímico es un término que señala los movimientos cíclicos de los elementos biológicos vitales para la vida.

Los organismos requieren de 30 a 40 elementos para su desarrollo normal. Como existe un suministro finito de cada uno, su continua disponibilidad depende de algún ciclo que permita el uso repetido de los elementos. Los ciclos biogeoquímicos hacen posible que estos elementos se encuentren disponibles para emplearse una y otra vez, transformándolos y recirculándolos a través de la atmósfera, hidrosfera, litosfera y la biosfera. Los más importantes son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo.

La característica más importante de un ciclo biogeoquímico, la constituye el hecho de que los componentes bióticos y abióticos aparezcan íntimamente entrelazados.

Los ciclos biogeoquímicos poseen las siguientes características (Sutton & Harmon, 1976): a) El movimiento del elemento nutriente desde el medio ambiente hasta el organismo y su retorno a éste. b) La inclusión de organismos biológicos (vegetales, animales y especialmente microorganismos). c) Un depósito geológico (atmósfera o litosfera). d) Un cambio químico.

Los ciclos biogeoquímicos pueden dividirse en dos tipos básicos: 1) ciclos de nutrientes gaseosos y 2) ciclos de nutrientes sedimentarios.

En los ciclos de nutrientes gaseosos, el depósito donde se colecta el nutriente corresponde a la atmósfera. Existe poca o ninguna pérdida del elemento durante el rápido proceso de recirculación. Los ciclos gaseosos son relativamente cerrados, por ejemplo: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (ver el ejemplo del ciclo del nitrógeno en la **figura 16**).

En los ciclos de nutrientes sedimentarios, el depósito del nutriente está representado por las rocas sedimentarias. Estos ciclos son más lentos y tienden a ejercer una influencia limitada sobre los organismos vivos. En el ciclo mayor, parte del elemento se desliza y se deposita finalmente en el mar. Por ejemplo, fósforo y azufre (ver el ejemplo del ciclo del carbono en la **figura 17**).

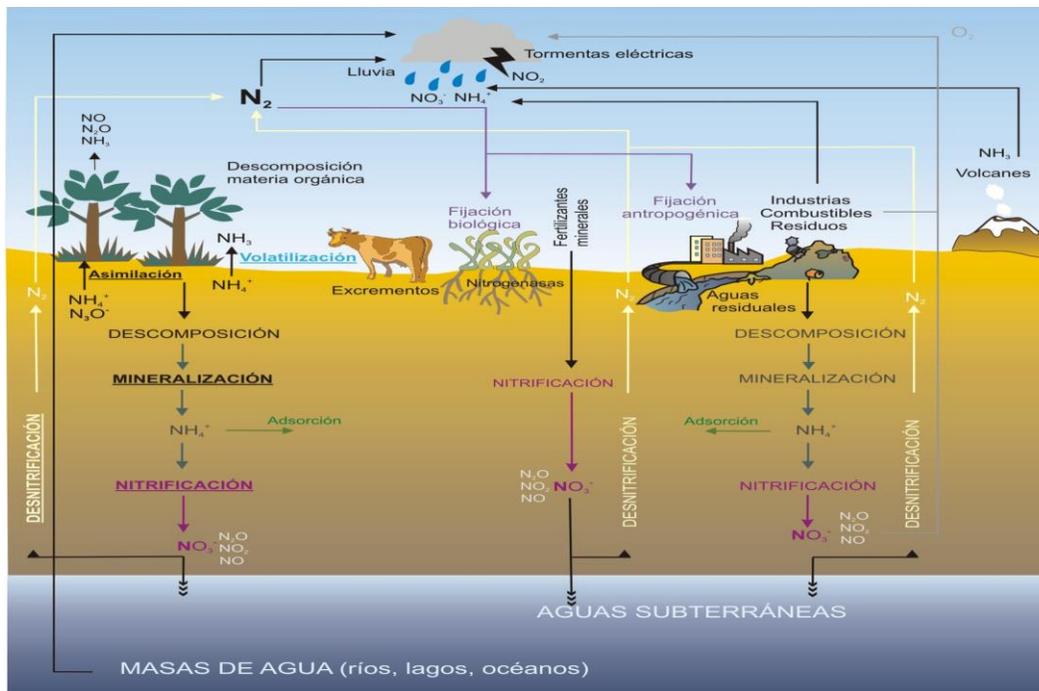
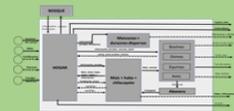


Figura 16. El ciclo del nitrógeno

(tomado de https://cienciaescolar.files.wordpress.com/2009/12/nitrogeno1_pequeno.jpg)

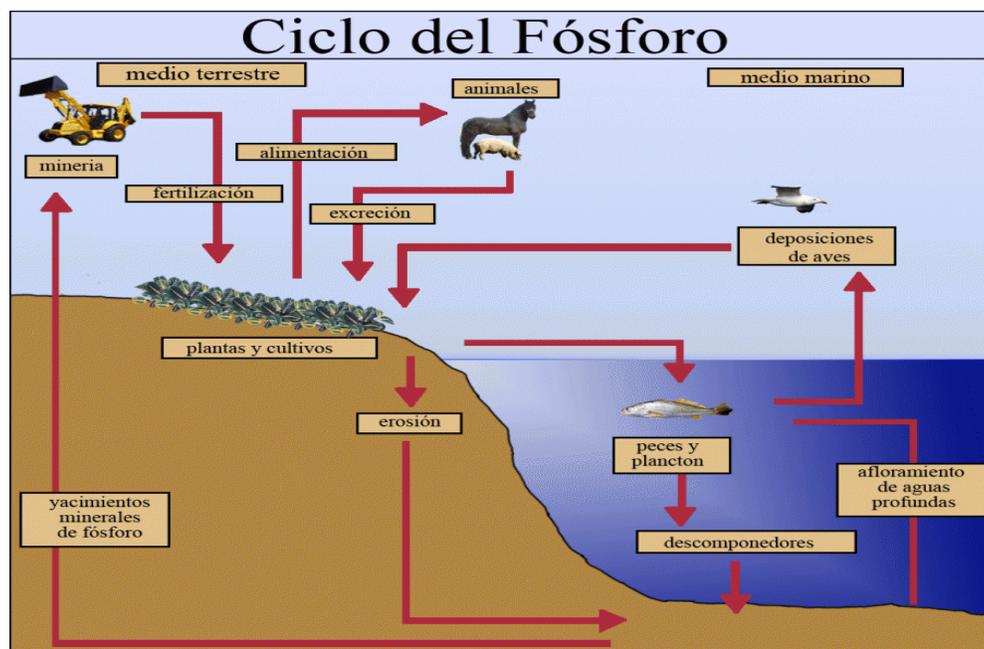
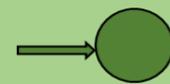
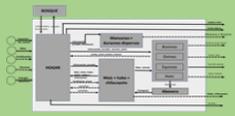


Figura 17. El ciclo del fósforo

(tomado de: <https://www.todamateria.com.br/ciclo-do-fosforo/>).





3.7. Estructura y función de los ecosistemas

Así como las poblaciones exhiben características que no están presentes en los organismos individuales (por ejemplo, tasa de natalidad), los ecosistemas tienen atributos que no se observan en las poblaciones individuales que lo componen (por ejemplo, simbiosis). Todos los ecosistemas son sistemas abiertos, dependen de la entrada de energía y también producen salidas de calor. Los ecosistemas también dependen de los ciclos biogeoquímicos, del agua y otros (Sutton & Harmon, 1976). Estos ciclos se convierten en los subsistemas cibernéticos del ecosistema, los cuales provocan que estos mantengan ciertas características, especialmente de estabilidad, poca variabilidad y alta resiliencia. Los ecosistemas, como todo sistema, también poseen ciertas características de estructura y función, los cuales son el resultado de los sistemas cibernéticos que actúan en ellos.

3.7.1. Estructura de los ecosistemas

Dentro de las principales características de estructura de un ecosistema se encuentran los biomas, las zonas de vida y las estratificaciones.

Biomás

Los biomas son comunidades que abarcan grandes extensiones geográficas y que exhiben asociaciones similares de plantas y animales, así como una estructura semejante. Existen diversas formas de clasificar a los biomas: una de ellas se basa en las especies vegetales dominantes (**ver figura 18**). El estudio de biomas ha permitido hacer una generalización, la cual establece que la diversidad de las especies alienta la estabilidad de los ecosistemas, ya que presentan relaciones alimenticias e interacciones entre poblaciones complejas.

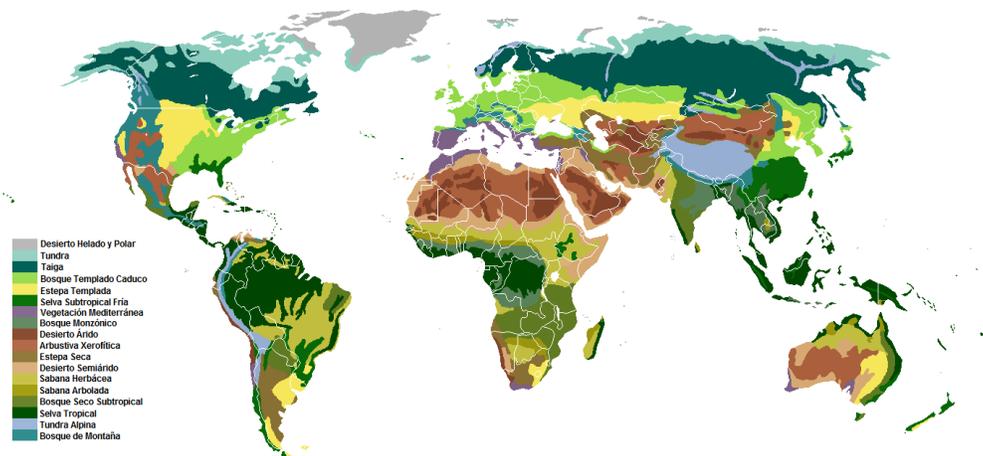
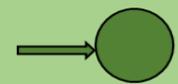


Figura 18. Biomás terrestres (Odum, 1972).

(Imagen tomada de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bioma#/media/Archivo:Vegetation-spanish.png>)





Un ejemplo de bioma es la Tundra, la cual se caracteriza por clima sumamente frío, pocas precipitaciones, fuertes vientos, suelo bastante pobre en nutrientes y una baja diversidad biológica. Muchos los llaman el desierto polar. La vegetación es de estructura sencilla y baja, donde las estaciones de crecimiento son cortas. El paisaje de la tundra es, en realidad, una capa de hielo y nieve que cubre la mayor parte del terreno, suelos y montes. En la tundra, la vegetación está compuesta por arbustos enanos, juncias y hierbas, musgos y líquenes (musgo del reno) (Odum, 1972). La fauna tiene la necesidad de protegerse del frío. Algunos animales desarrollan un denso pelaje y acumulan una gran cantidad de grasa subcutánea. Los animales característicos de la tundra ártica incluyen el caribú (reno), el buey almizclero, la liebre ártica, el zorro ártico, el búho nival, los lemmings y los osos polares.

Zonas de vida

Otra forma de definir la estructura de un ecosistema es a través de las zonas de vida, propuesta por el botánico y climatólogo estadounidense Leslie Holdridge (1907-99) (Holdridge, 2000). El sistema de Holdridge es un sistema biogeofísico y clasifica las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático. Fue desarrollado y publicado por vez primera en 1947 (con el título de *Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data*) y posteriormente actualizado en 1967 (*Life Zone Ecology*).

El sistema de zonas de vida de Holdridge se basa en los siguientes factores:

- La biotemperatura media anual (en escala logarítmica). En general, se estima que el crecimiento vegetativo de las plantas sucede en un rango de temperaturas entre los 0 °C y los 30 °C, y que las temperaturas por debajo de la de congelación, se toman como 0 °C, ya que las plantas se aletargan a esas temperaturas.
- La precipitación anual en mm (en escala logarítmica);
- La relación de la evapotranspiración potencial (EPT) -que es la relación entre la evapotranspiración y la precipitación media anual- es un índice de humedad que determina las provincias de humedad ("humidity provinces").

Las zonas biogeográficas se clasifican según los efectos biológicos de la temperatura y las precipitaciones en la vegetación, en el supuesto de que estos dos factores abióticos son los principales determinantes del tipo de vegetación que se encuentra en una zona. Holdridge utiliza 4 ejes (biotemperatura, precipitación, piso altitudinal y región latitudinal) para definir las llamadas 30 "provincias de humedad" (**ver figura 19**).

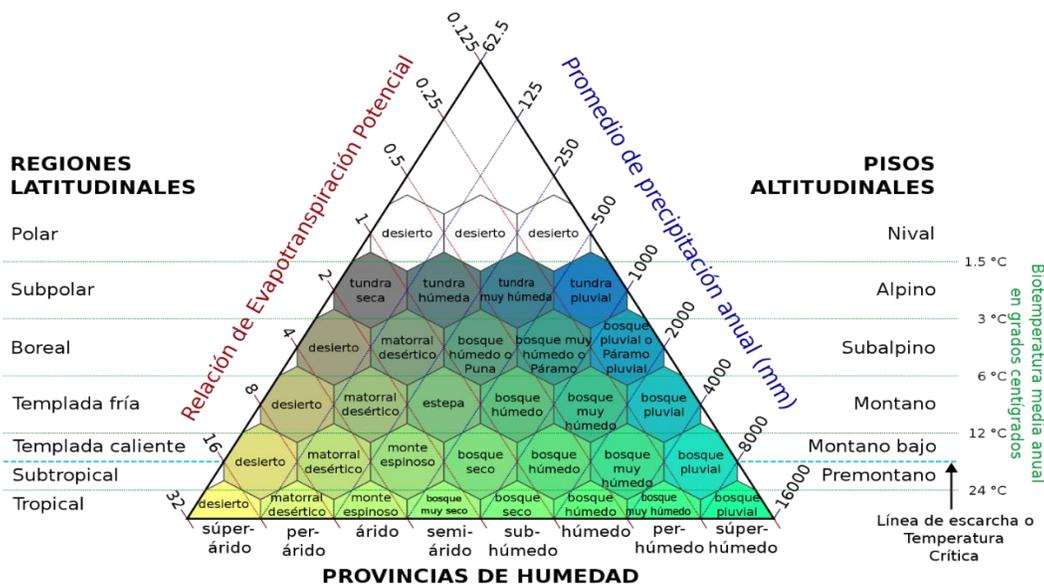
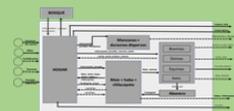


Figura 19. Sistema Holdridge para la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 2000). (tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_clasificaci%C3%B3n_de_zonas_de_vida_de_Holdridge#/media/Archivo:Zonas_de_vida_de_Holdridge.svg)

Estratificación

La estratificación de los ecosistemas se refiere a la separación entre organismos en el espacio o bien en el tiempo. Un ecosistema puede estratificarse en el espacio ya sea verticalmente (en capas), o bien, horizontalmente, en círculos concéntricos

Estratificación vertical

Dentro de la estratificación vertical su puede identificar un estrato superior el cual recibe radiación solar directa y, un estrato regenerativo inferior en donde se acumula la materia orgánica, el cual es dominado por organismos reductores (Sutton & Harmon, 1976). El estrato superior de un ecosistema bosque puede dividirse verticalmente en varias capas, de acuerdo con las diferentes alturas de su vegetación (**ver figura 20**).

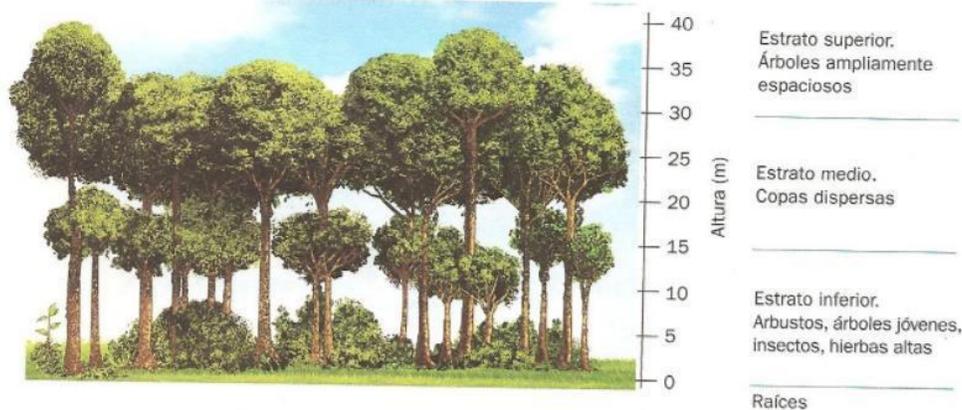
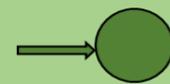
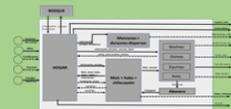


Figura 20. Estratificación vertical de un ecosistema bosque (imagen tomada de: <http://ecofatimayanet.blogspot.com/2017/05/tipos-de-estratificacion-ecologica.html>)





Estratificación horizontal

La estratificación horizontal es otra forma de estructura de un ecosistema. Los cambios horizontales en las comunidades no empiezan y terminan de forma abrupta. Las comunidades se mezclan entre sí de manera que es difícil determinar dónde empieza una y donde termina otra. Las áreas de transición donde se mezclan dos grandes comunidades bióticas se denomina ecotono (**ver figura 21**).

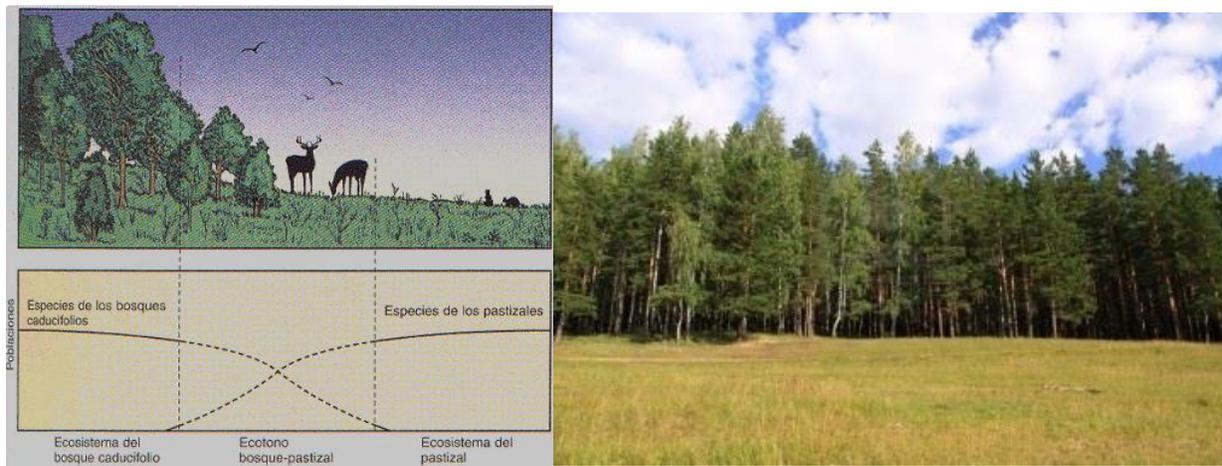


Figura 21. Estratificación horizontal de un ecosistema

(imagen tomada de: <http://permaculturahicetnunc.blogspot.com/2014/12/ecotono.html> y <https://www.lifeder.com/ecotono/>)

Estratificación temporal

- Ritmos diarios:

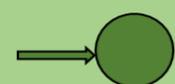
La mayor parte de las actividades de las comunidades tienen carácter periódico y están sincronizadas con las influencias físicas tales como la duración del día y de la noche (fotoperiodo). La mayoría de las plantas y los animales coordinan sus actividades dentro del fotoperiodo de 24 horas representado por el día y la noche. La fotosíntesis es un ejemplo de la periodicidad diaria.

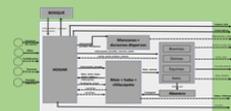
- Ritmos lunares:

Son los periodos que corresponden a los ciclos lunares que se originan por la traslación de la luna alrededor de la tierra. Los ciclos lunares influyen significativamente sobre muchos de los procesos que ocurren en la tierra, por ejemplo, las mareas. Los ritmos lunares hacen variar la fuerza gravitatoria que la luna ejerce sobre la tierra y que influye en la savia de las plantas afectando a la fotosíntesis y la germinación de las semillas, en la medida que estos ritmos lunares influyen para la savia ascienda o descienda desde las raíces hasta la zona superior de las plantas.

- Ritmos estacionales:

Son los ritmos que corresponden a las estaciones del año, producto de la traslación de la tierra alrededor del sol. Las actividades estacionales incluyen la etapa de crecimiento,





floración y el letargo de las plantas (**ver figura 22**), el apareamiento, la migración y la hibernación de los animales. Por ejemplo, los árboles caducifolios botan sus hojas en otoño; durante el invierno entran en un período de dormancia; en la primavera empieza el período de brotación y floración y, en el verano, la fructificación.

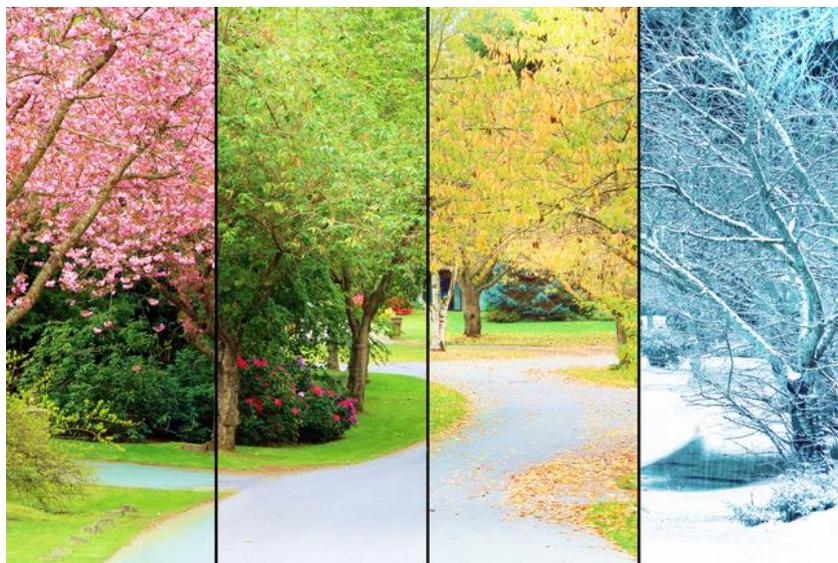


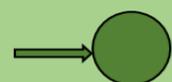
Figura 22. Estratificación temporal estacional.

(Imagen tomada de: <https://www.caracteristicass.de/estaciones-del-ano/>)

3.7.2. Función de los ecosistemas

La función de un ecosistema puede determinarse a través del proceso de sucesión ecológica.

La sucesión ecológica es el proceso mediante el cual los ecosistemas cambian con el tiempo. Este cambio es el resultado de las interacciones complejas de los factores bióticos y abióticos. Las especies pioneras modifican la estratificación del ecosistema, haciéndolo menos favorable para su propia descendencia y más adecuada para la entrada de alguna nueva especie. Al paso del tiempo, las nuevas especies se vuelven dominantes y modifican su ambiente de tal forma que suprimen las actividades de las especies existentes y se prepara la entrada de una nueva especie. Este proceso de reemplazo gradual y continuo se mantiene hasta que se desarrolla un ecosistema estable y relativamente complejo. La etapa final de una sucesión ecológica se denomina clímax la cual se caracteriza por un alta variabilidad y resiliencia (**ver figura 23**).



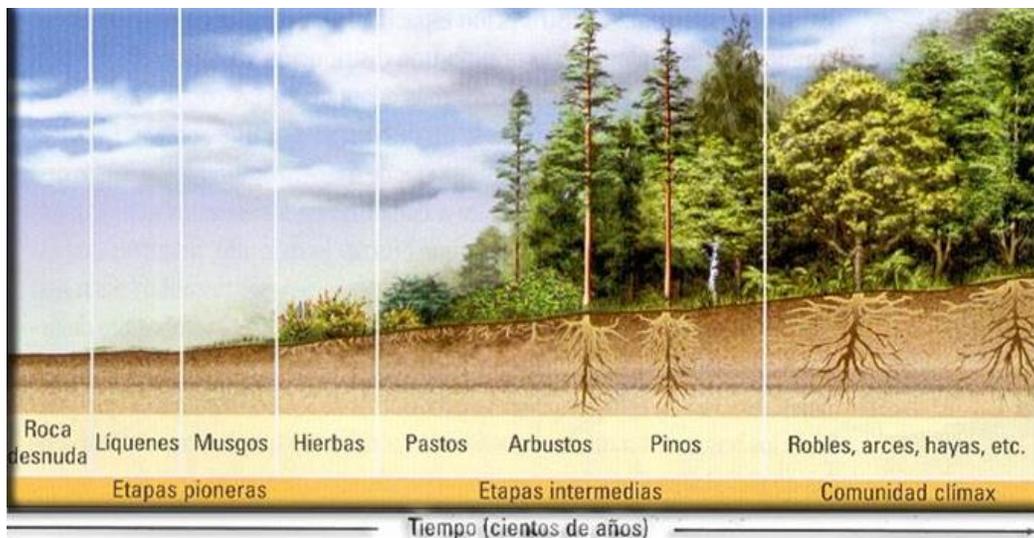
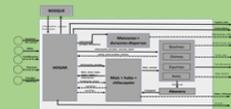


Figura 23. Proceso de sucesión ecológica

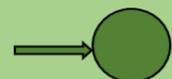
(Imagen tomada de: <https://www.biologiasur.org/index.php/teoria/biosfera/dinamica-del-ecosistema>)

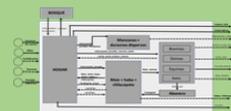
Una sucesión ecológica puede definirse en función de tres parámetros (**Odum**, 1963):

1. Es un proceso ordenado de crecimiento de una comunidad, lo bastante direccional como para poder considerarlo predecible.
2. Es el resultado de la modificación del entorno físico por parte de la comunidad. Esto significa que la comunidad controla el proceso de sucesión, aunque el entorno físico determine los patrones, el ritmo de los cambios y a menudo establezca los límites del crecimiento.
3. La sucesión culmina en un ecosistema estable, en el cual se mantiene un máximo de biomasa (o contenido de mucha información) y de relaciones de simbiosis entre los organismos por unidad de flujo energético disponible.

Odum (1972) desarrolló un modelo el cual indica las tendencias que pueden esperarse cuando los ecosistemas cambian de una etapa inmadura a una clímax, la agricultura en monocultivo es un ejemplo de una etapa inicial (**ver tabla 1**).

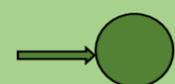
La sucesión como proceso a corto plazo es básicamente la misma *estrategia* de desarrollo evolutivo a largo plazo que se da en la biosfera, es decir, aumento de control sobre el entorno físico, o bien homeostasis con el mismo en el sentido de alcanzar un máximo de protección frente a posibles perturbaciones. La estrategia de *máxima protección* (entendida como el mantenimiento del mayor número posible de estructuras vivas complejas) a menudo entra en conflicto con el objetivo humano de *máxima producción*. Llegar a reconocer la base ecológica de este conflicto es, posiblemente, el primer paso para el establecimiento de una agricultura sostenible.

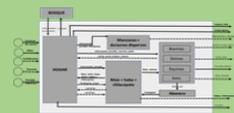




Atributos	Etapa inicial	Etapa clímax
Energía de la comunidad		
Producción bruta (fotosíntesis)/Respiración	> 1	Tiende a 1
Producción bruta/Biomasa	Alta	Baja
Producción neta de la comunidad	Alta	Baja
Relaciones alimenticias	Simple, lineal	Compleja, en forma de red
Pérdida de energía	Alta	Baja
Ciclos		
Biomasa total	Poca	Mucha
Nutrientes inorgánicos	Del exterior	Del ecosistema
Diversidad bioquímica	Baja	Alta
Ciclo de minerales	Abierto	Cerrado
Velocidad de intercambio de nutrientes (entre organismos y ambiente)	Rápida	Lenta
Papel del detritus en la regeneración de nutrientes	Sin importancia	Importante
Conservación de los nutrientes	Pobre	Buena
Poblaciones		
Especialización de nicho	Pocos nichos	Muchos nichos
Tamaño de los organismos	Pequeño	Grande
Ciclos vitales de los organismos	Corto, simple	Largo, complejo
Relaciones simbióticas	Sin desarrollo	desarrolladas
Presión a la selección natural	Selección según r (rapidez)	Selección según K (retroalimentación)
Ecosistemas		
Diversidad de especies: Variedad	Poca	Mucha
Diversidad de especies: Uniformidad	Baja	Alta
Objetivo de la producción de biomasa	Cantidad	Calidad
Estratificación	Simple	Compleja
Resiliencia	Pobre	Buena
Entropía	Alta	Baja
Información	Poca	Mucha

Tabla 1. Tendencias que aparecen en el desarrollo de ecosistemas (Odum, 1972)





4. LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS

De acuerdo con FAO (FAO, 2001), los sistemas agrícolas se definen como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. Según el alcance del análisis, un sistema agrícola puede abarcar unas docenas o a muchos millones de familias.

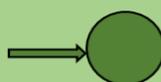
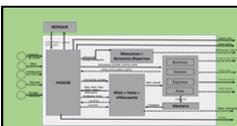
La clasificación de los sistemas agrícolas de las regiones en desarrollo se ha fundado en los siguientes criterios:

- Recursos naturales básicos disponibles, lo que incluye el agua, las tierras, las zonas de pastoreo y de bosques; el clima, del cual la altura es un elemento determinante; el paisaje, comprendida la pendiente; la dimensión de la finca, el régimen y la organización de la tenencia de la tierra; y,
- La pauta dominante de las actividades agrícolas y de los medios de sustento de las familias, comprendidos los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, la cacería y la recolección, la elaboración y las actividades externas a la finca agrícola; y también las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción y la integración de los cultivos, el ganado y otras actividades.

Hart (1985) menciona que los sistemas agrícolas son un subconjunto de los sistemas ecológicos, porque presentan por lo menos un componente vivo, y se diferencia en que poseen un propósito (función). Respecto al propósito de un sistema agrícola es de indicar que éste está definido por el plan de manejo del agricultor. También hay que reconocer que los ecosistemas naturales, aunque no responden a un plan de manejo, se les reconocen funciones como la de proveer servicios ambientales.

Hart (1985) elabora un modelo donde propone un marco conceptual basado en sistemas agrícolas jerárquicos, en el cual interactúan para formar los procesos de producción agropecuaria, los que se relacionan de manera horizontal y vertical (las relaciones verticales determinan la jerarquía de los sistemas). Propone que la región como el suprasistema es un área geográfica con componentes físicos, bióticos y socioeconómicos con límites definidos a base de criterios ecológicos. En este modelo identifica tres componentes: a) los sistemas finca; b) los centros de mercadeo, crédito e información y c) los sistemas no agropecuarios.

El modelo de Hart (1985) se modifica en función de los sectores económicos, ya que estos facilitan el análisis y estudio de la producción económica, pues permiten clasificar actividades similares que compiten entre sí o se complementan. Los componentes del sistema región forman una estructura de jerarquía horizontal (**ver figura 24**).





- Sector primario o sistema productor
Envuelven labores o actividades enfocadas en la extracción de recursos provenientes del medio natural. Incluye actividades agrícolas, mineras, ganadería, pesca, silvicultura y caza. Los productos del sector primario son usualmente usados como factores de producción en procesos agroindustriales, pero también pueden ser bienes finales para los consumidores.
- Sector secundario o sistema transformador
Incluyen a empresas y trabajos que transforman materias primas en productos terminados, agregando valor. De él hace parte el sector industrial, tanto la industria ligera como la pesada. Algunos productos del sector secundario son calzado, electrónica, muebles, productos de aseo y belleza, plásticos, alimentos procesados, ropa, automóviles, etc. Para el caso de la agroindustria, los productos procesados pueden ser, por ejemplo, la transformación de la caña de azúcar en azúcar, la del maíz en harina, la palma africana en aceite, etc.
- Sector terciario o sistema de servicios
Este sector engloba no la producción de bienes, sino la prestación de servicios. Son consideradas como partes blandas de la economía o bienes intangibles. Pueden ser servicios privados o públicos como educación, salud, banca, transporte, comunicaciones, entretenimiento, comercio, servicios legales, etc. Es el sector que más emplea personas, en especial en los países más desarrollados.

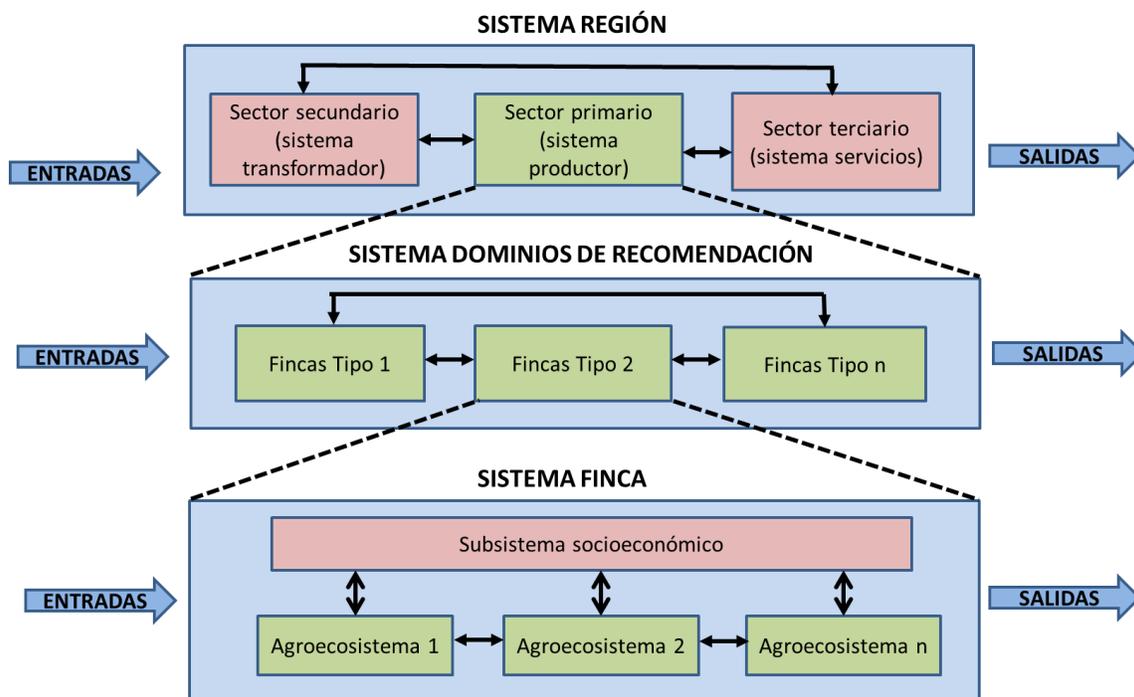
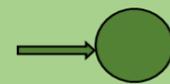


Figura 24. Jerarquía de los sistemas agrícolas conformada por una región, dominios de recomendación y fincas (modificado del modelo de Hart, 1985).





4.1. Sistema región

Como ya se indicó, la estructura de un sistema está determinado por el número, tipo y el arreglo de los componentes, lo cual define una función característica. Por lo tanto, en la función de un sistema región ocurren procesos y flujos físicos, bióticos y socioeconómicos.

Los componentes físicos dentro de una región, interactúan y forman procesos de flujos de energía (radiación solar), agua (precipitación pluvial, ríos superficiales y mantos acuáticos) y suelo que entra y sale por procesos de erosión. Las entradas al sistema región pueden incluir radiación solar, precipitación, ríos y suelo erosionado, y como salidas radiación, evaporación, ríos, suelo erosionando y la extracción de minerales no renovables.

También en la región hay diferentes arreglos espaciales y cronológicos de componentes bióticos que están conformados por plantas y animales. Se pueden identificar ecosistemas naturales, silvicultura, producción animal y agricultura. La agricultura puede tener un efecto sobre los ecosistemas naturales al avanzar la frontera agrícola.

Los procesos socioeconómicos se dividen en primarios, secundarios y terciarios. Los procesos económicos incluyen flujos de dinero, materiales, energía e información, los cuales entran y salen del sistema (ver figura 25).

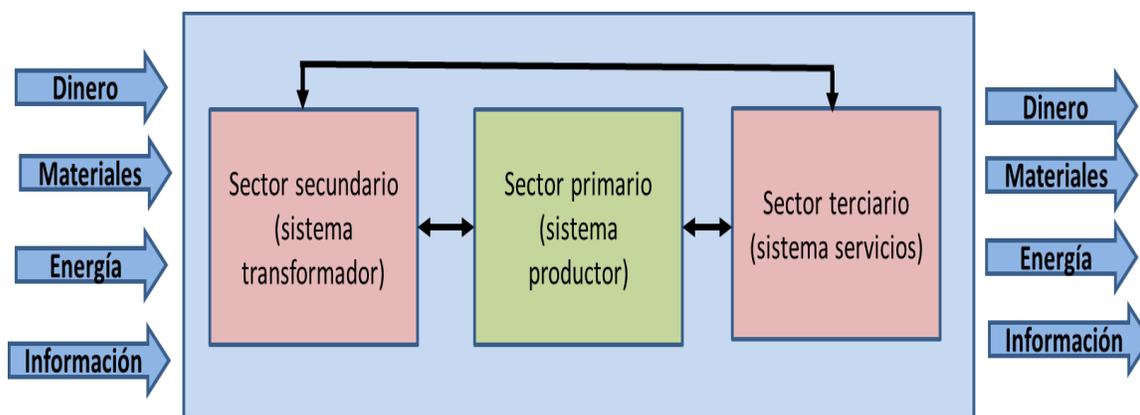
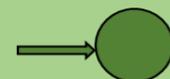


Figura 25. Flujos de dinero, materiales, energía e información que entran y salen del sistema región.

4.2. Sistema dominios de recomendación

En una región, no todas las fincas poseen las mismas características de estructura y función. Los procesos de producción varían por las potencialidades, limitaciones, problemas y circunstancias del sistema finca. La propuesta del modelo de Hart (1985) se modifica, de tal manera que el subsiguiente nivel jerárquico esté conformado por





los dominios de recomendación previo al sistema finca. En el sector primario se le dará mayor énfasis a los dominios de recomendación, ya que en él se encuentran agrupados los sistemas agrícolas (en el capítulo 5 se desarrolla el procedimiento para la identificación de dominios de recomendación).

Las entradas y salidas a este sistema siguen siendo dinero, materiales, energía e información (**ver figura 26**)

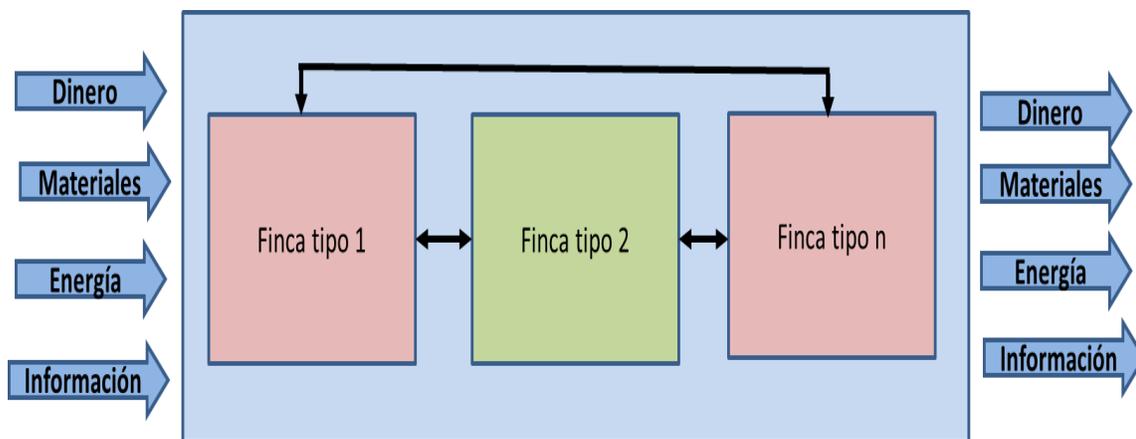


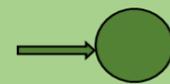
Figura 26. Flujos de dinero, materiales, energía e información que entran y salen del sistema dominios de recomendación.

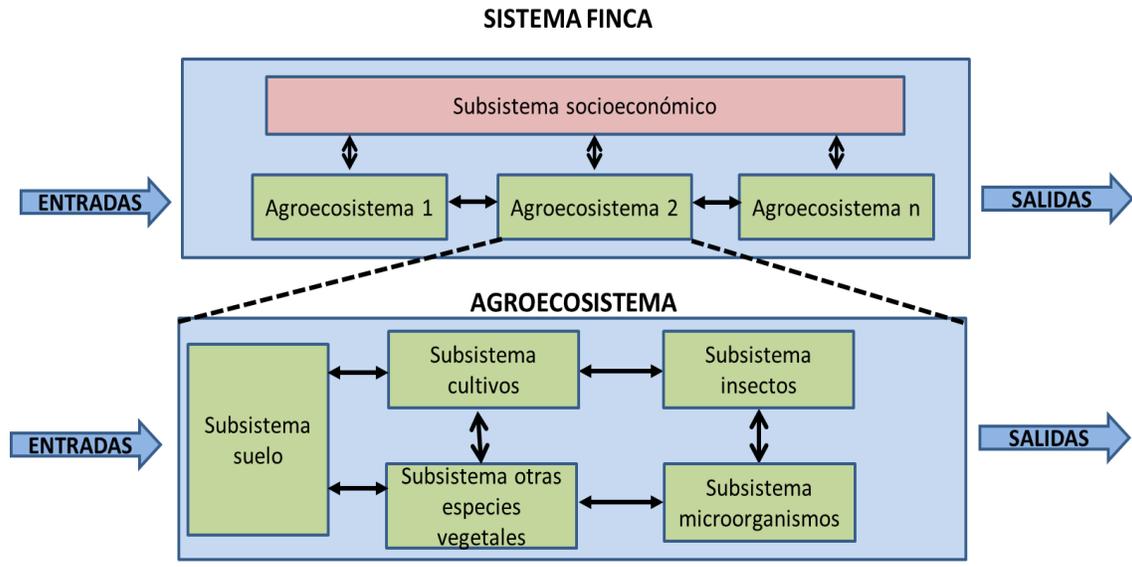
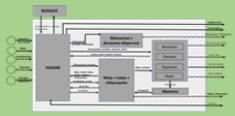
4.3. Sistema finca

Una finca es un sistema agrícola. Es un conjunto de componentes que funcionan como una unidad de producción dentro de un dominio de recomendación en una región. Como cualquier sistema, un sistema finca tiene características de estructura y función.

La finca como unidad de producción está generalmente asociada con la parcela de tierra manejada por una familia, grupos familiares que manejan una sola parcela, casos de una familia con más de una parcela que no colindan o casos de fincas agroindustriales (Hart, 1985). La definición de los límites de una finca como un sistema no es tan sencilla, por lo que deben utilizarse los criterios descritos anteriormente, tales como: el tipo de interacción entre los componentes y el nivel de control sobre las entradas y salidas.

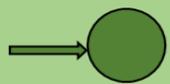
Los componentes del sistema finca son el socioeconómico (donde se encuentra el agricultor y su familia) y los agroecosistemas. Los componentes del agroecosistema son a su vez los subsistemas suelo, cultivo (monocultivo o en asocio), otras especies vegetales (como las malezas), insectos (tanto benéficos como perjudiciales) y microorganismos (**ver figura 27**).

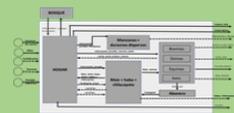




Ing. Agr. Héctor Alvarado Quiroa PhD

Figura 27. Componentes del sistema finca y de los agroecosistemas.





5. LOS DOMINIOS DE RECOMENDACIÓN

Las fincas, como cualquier otro organismo, se pueden agrupar en conjuntos según su similitud. Los agrónomos se refieren a ellas como pequeñas o grandes, de subsistencia o comerciales y, según su especialización, como agrícolas, ganaderas o mixtas. Pero estas descripciones no guardan relación con ningún sistema aceptado de clasificación. Los sistemas de finca se han categorizado, pero no han sido sistemáticamente clasificados.

Uno de los grandes desafíos que enfrentan los investigadores y extensionistas agrícolas a la hora de fomentar el desarrollo agrario sostenible, es diseñar programas que se ajusten a las condiciones de los productores. No hay sistemas agrícolas iguales, tampoco existen dos campesinos cuyas circunstancias sean idénticas y, por consiguiente, tengan necesidades tecnológicas exactamente iguales.

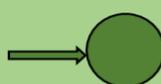
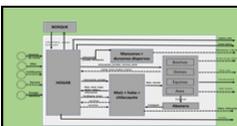
Las características de los sistemas campesinos se explican por medio de innumerables variables que actúan conjuntamente y no por su forma unitaria, lo cual permite clasificar y agrupar los agroecosistemas atendiendo a su realidad. Una propuesta de agrupar agricultores es a través de los dominios de recomendación.

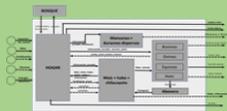
El término "dominio de recomendación", fue introducido por primera vez en el manual de Economía del CIMMYT sobre el uso de presupuestos parciales para el análisis económico de datos agronómicos (Harrington & Tripp, 1984).

Como ya se mencionó, no todas las fincas poseen las mismas características de estructura y función. Los procesos de producción de un sistema finca varían de una a otra por sus potencialidades, limitaciones, problemas y circunstancias.

5.1. Algunas definiciones

- **Recomendación:** una solución propuesta para grupos de agricultores, basados en sus potencialidades, limitaciones, problemas y circunstancias. Es una descripción de uno o varios elementos nuevos en una tecnología de producción, por ejemplo, una variedad mejorada, una práctica diferente o un cambio en la fecha de una práctica agronómica, entre otras.
- **Dominio de recomendación:** grupo de agricultores cuyas circunstancias son suficientemente similares, de tal manera que todos son elegibles para la misma recomendación (Harrington & Tripp, 1984). Un grupo de agricultores más o menos homogéneo, con circunstancias similares y para los cuales pueden hacerse, aproximadamente, las mismas recomendaciones.





- **Circunstancias de los agricultores:** se usan para identificar dominios de recomendación. Se les define como todos aquellos factores que afectan las decisiones de los agricultores con respecto al uso de una tecnología de cultivo.
- **Problema:** es el resultado de una restricción que evita que los agricultores alcancen sus objetivos.
- **Oportunidad:** combinación de circunstancias favorables o promisorias que dan la pertinencia de mejorar o solucionar un problema del sistema agrícola.
- **Finca típica:** son las fincas con la misma moda o promedio que puede agruparse en el mismo dominio de recomendación.

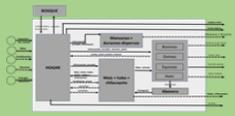
5.2. Justificación para agrupar agricultores

Se tienen que agrupar agricultores cuando se piensa en realizar investigación o extensión rural. Lo anterior debido a que no se cuentan con los recursos suficientes como para tener un programa específico para cada agricultor (no es factible llevar a cabo un experimento en cada finca y producir recomendaciones ajustadas a cada sitio) y, en el otro extremo, no se podrá desarrollar un programa agrícola relevante para todos los agricultores de un país. Por ello, se debe pactar entre estos dos extremos y planificar programas sobresalientes para grupos de agricultores. La razón de agrupar agricultores es señalar las similitudes intragrupo y diferencias dentro y entre grupos, con el propósito de incrementar la productividad, la eficiencia y la resiliencia y, reducir la variabilidad, por medio del establecimiento de programas de investigación y transferencia de tecnología a través de la generación de recomendaciones.

Para la identificación de dominios de recomendación, es importante la selección de variables o criterios para el éxito del proyecto; para ello, deben de considerarse tanto factores socioeconómicos como agroclimáticos. Esta agrupación puede hacerse desde el diagnóstico regional. Los agricultores pueden ser reagrupados las veces que sea necesario, basados en nueva información provenientes de los procesos de extensión e investigación. Los recursos subexplotados (por ejemplo, tierra o mano de obra) pueden ser visualizados como oportunidades que no son soluciones a un problema sentido, pero que dan la opción de mejorar la productividad y bienestar del agricultor. Estas oportunidades pueden considerarse como criterio para agrupar agricultores.

5.3. Variables usadas para agrupar agricultores

Debido a que las familias campesinas varían de una a otra, se deben distinguir las variables en las cuales varían, así como la forma en que se relacionan estas variables con los problemas que tienen y con la utilidad de la solución a estos problemas.



Para ello, algunos institutos de investigación dividen a los países en zonas agroecológicas y desarrollan prácticas y tecnologías apropiadas para cada zona. La forma tradicional de agrupar agricultores generalmente incluye una zonificación geográfica, usando una o más variables, tales como: precipitación pluvial anual, número de meses de lluvia, capacidad productiva del suelo, zonas eco climáticas.

Con el criterio anterior, los proyectos de desarrollo rural se han extendido a grandes zonas, pero al evaluarse las recomendaciones, solo una minoría de agricultores han adoptado las tecnologías propuestas, por lo que, agrupar a los agricultores de acuerdo con las características físicas de un área geográfica, generalmente no es suficiente para identificar a los grupos. Grupos diferentes dentro de una misma zona, podrán requerir programas de investigación diferentes.

Para agrupar agricultores y que las recomendaciones que se brinden sean aceptadas, estos deben agruparse a través de los siguientes criterios: la similitud de sus problemas y la expectativa de respuesta a las soluciones para sus problemas de producción. Los agricultores de similares circunstancias frecuentemente tienen características similares en objetivos, recursos, restricciones, estrategias y prácticas agronómicas.

A veces, una sola variable puede ser la que determine en mayor medida la identificación de un dominio de recomendación (variable principal), y se termina de definir con otras variables, por ejemplo, las características climáticas pueden ser la variable principal y complementarse con variables secundarias tales como tamaño de la finca, tipo de cultivos, etc. Lo que es importante recalcar, es que entre más variables se utilicen para la agrupación de fincas, los dominios de recomendación pueden ser más homogéneos.

Ejemplos de variables que pueden ser de utilidad para identificar dominios de recomendación:

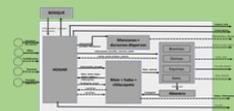
1. Circunstancias naturales

a. Clima

- Variación de temperatura
- Riesgo a heladas
- Acumulación de horas frío para frutales caducifolios
- Régimen de lluvia
- Períodos de sequía durante el periodo lluvioso (canícula)
- Riesgo a granizo
- Radiación solar
- Humedad relativa

b. Suelo

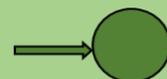
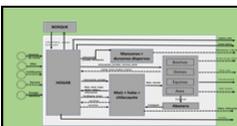
- Textura
- Profundidad
- Pendiente
- pH

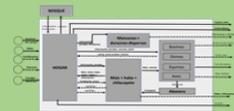


- Salinidad
 - Drenaje
- c. Cultivos
- Cultivos sembrados
 - Incidencia de enfermedades
 - Incidencia de insectos
- d. Ganado
- Especies criadas
 - Raza
 - Enfermedades
- 2. Circunstancias socioeconómicas**
- a. Disponibilidad de mano de obra
- Composición familiar por sexo y edad
 - Acceso de mano de obra familiar
 - Acceso de mano de obra contratada
 - Oportunidades de trabajo fuera de la finca
- b. Tierra
- Tamaño de la finca
 - Tenencia de la tierra
- c. Capital
- Capital propio
 - Acceso al crédito
 - Acceso al riego
 - Acceso a insumos
 - Acceso al mercado
- d. Otros
- Preparación de suelo mecanizado o animal
 - Prácticas culturales
 - Preferencias alimentarias y dieta
 - Situación nutricional
 - Costumbres y obligaciones comunales

3. Presencia institucional

La presencia de instituciones que desarrollen investigación u ofrezcan asesoría agrícola a un grupo de fincas, puede ser otra variable para la identificación de dominios de recomendación. Es posible que un agricultor que recibe asesoría técnica posea una finca con mayor productividad y eficiencia, que un agricultor que no la reciba.





5.4. Aspectos que considerar en los dominios de recomendación

a. La naturaleza dinámica de la definición de dominios de recomendación

Ya que la definición de dominios de recomendación se usa a lo largo del proceso de investigación, la forma de definir a los grupos podrá modificarse de acuerdo con la tarea que se desea realizar (**ver tabla 2**)

Etapa de la investigación	Uso de la agrupación de los agricultores
Análisis de las circunstancias del agricultor	Definir grupos con circunstancias similares
Identificación de problemas prioritarios	Especificar cuales agricultores tienen los mismos problemas de producción
Selección de recomendaciones posibles	Identificar la recomendación apropiada para cada grupo en particular de agricultores
Desarrollo y validación de recomendaciones	Adecuar las recomendaciones a las necesidades y circunstancias de los diversos grupos de agricultores

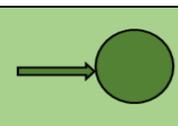
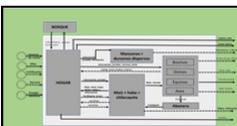
Tabla 2. Como agrupar agricultores de acuerdo con la etapa del proceso de investigación

b. Diferencias fundamentales entre definir dominios de recomendación y definir zonas agroecológicas

La diferencia estriba en que los grupos de agricultores son definidos por sus circunstancias, prácticas agronómicas, problemas y soluciones, mientras que las zonas agroecológicas se definen por las características físicas y biológicas de áreas geográficas. Por supuesto que las circunstancias y prácticas de los agricultores están determinadas por las condiciones físicas y naturales. Si embargo, es importante recordar que son las personas, no las características físicas o biológicas, las que deciden si de adopta o no, una tecnología dada. De esta manera, la definición de dominios de recomendación obliga al investigador a preguntarse continuamente ¿para quién estamos investigando.

c. Dos grupos de agricultores pueden estar entremezclados entre sí, en una misma zona

Por ejemplo, agricultores de ingresos altos y bajos, pueden encontrarse en todas las aldeas de la zona particular con suelos arcillosos. Otro caso puede ser que las recomendaciones para la producción de hortalizas solo tengan relevancia para agricultores de sexo femenino, ya que los hombres no cultivan hortalizas.

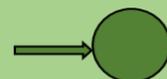


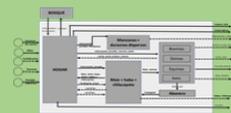


5.5. Equipos interdisciplinarios en los procesos de investigación y extensión agrícola.

Una característica clave de la investigación y extensión en sistemas de finca, es su naturaleza interdisciplinaria. El término interdisciplinario involucra interacciones frecuentes entre aquellos profesionales de diversas disciplinas que realizan tareas comunes y que resultan con mejores resultados que si hubiesen trabajado de manera independiente, debido a la interacción que se da entre los investigadores que tienen un objetivo en común. La interdisciplinariedad es un campo de estudio que cruza los límites tradicionales entre varias disciplinas académicas, o entre varias escuelas de pensamiento, por el surgimiento de nuevas necesidades o del desarrollo de nuevos enfoques teóricos o técnicos. Este enfoque es totalmente opuesto al de multidisciplinariedad, la cual propone un trabajo separado para cada disciplina.

El enfoque interdisciplinario se debe a que las actividades del agricultor son interdisciplinarias. Por ejemplo, el mejoramiento de plantas se realiza a través de un fitogenetista; la crianza de animales requiere el apoyo de un zootecnista; el uso eficiente de sus limitados recursos y la evaluación de la rentabilidad y factibilidad de las mejoras propuestas requiere el concurso de un economista; o de un sociólogo/antropólogo para analizar el contexto social dentro del cual opera la familia campesina y evalúa la aceptabilidad de las recomendaciones propuestas.





6. LA FINCA COMO SISTEMA

De acuerdo con Hart (1985) una finca es un sistema agrícola, ya que está constituida por un conjunto de componentes que funcionan como una unidad de producción agropecuaria dentro de una región. Como cualquier sistema, la finca también tiene características de estructura y función. Por lo tanto, una finca puede considerarse como un subsistema de un dominio de recomendación. Las otras fincas del dominio de recomendación también forman parte del proceso agrícola regional y, por tener relaciones horizontales entre ellas, pertenecen al mismo nivel jerárquico.

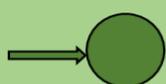
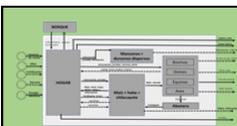
Una finca es un sistema sociotécnico, compuesto de cierto número de subsistemas que se interrelacionan de diferentes formas y a distintos niveles de complejidad, y donde lo social y lo tecnológico tienen igual importancia. La finca como sistema es la estructuración de las actividades humanas alrededor de distintas tecnologías, las cuales afectan el tipo de insumo requerido, la naturaleza de los procesos de transformación y los productos agropecuarios obtenidos, es decir, la función de la finca.

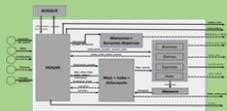
6.1. Los límites del sistema finca

Como ya se mencionó, la finca como una unidad está generalmente asociada con la parcela de tierra que maneja un agricultor y su familia, pero existen casos de grupos familiares que viven y trabajan en una sola parcela, casos de familias con más de una parcela que no colindan o casos de fincas que cuentan con procesos agroindustriales (Hart, 1985), como los trapiches para la elaboración de panela.

La definición de los límites de una finca como un sistema a veces no es tan sencilla, por lo que deben utilizarse los criterios descritos anteriormente como lo son: el tipo de interacción entre los componentes (directas e indirectas) y el nivel de control sobre las entradas y salidas de los componentes. Por ejemplo, un agricultor puede tener dos parcelas que no colindan, una ubicada en la boca costa con cultivos de café y la otra en el Valle de Quetzaltenango sembrada con melocotón, ¿Estas dos parcelas pertenecen al mismo sistema o son dos sistemas diferentes? Para definirlo es importante entonces considerar los criterios indicados. ¿Cuáles son las interacciones entre la parcela de café y la de melocotón? ¿son interacciones directas o indirectas? ¿Cuál es el nivel de control que el agricultor tiene sobre las entradas y salidas de la parcela de café a la de melocotón o viceversa?

También puede darse el caso que un agricultor posee dos parcelas relativamente cerca una de la otra con los mismos cultivos, para la cuales utiliza el mismo plan de manejo y las interacciones son directas entre ellas, por consiguiente, pueden pertenecer al mismo sistema. Otro ejemplo es un agricultor que tiene una parcela propia y una parcela alquilada, a la cual no le invierte recursos (por ejemplo, para la conservación de suelos o en un sistema de riego), por lo que pueden considerarse como dos sistemas diferentes.





Otro ejemplo puede ser el caso de una finca de caña de azúcar y el trapiche para el procesamiento de la caña para la obtención de panela, el cual se encuentra en otra parcela.

Hay fincas que tienen una interacción muy fuerte con los procesos económicos de la región, como lo son las fincas comerciales o las agroexportadoras y otras con muy poca interacción, como las fincas de subsistencia (Hart, 1985).

6.2. Estructura del sistema finca

La estructura del sistema finca, como cualquier sistema, está afectada por el número, el tipo y la interacción entre sus componentes. De acuerdo con Hart (1985) los componentes de una finca, al igual que los ecosistemas, son de tipo físico (por ejemplo, suelo y agua), bióticos (por ejemplo, poblaciones de cultivos, poblaciones de microorganismos y poblaciones de insectos, entre otros) y socioeconómicos (donde se encuentra el agricultor y su familia, con sus procesos sociales y culturales, compra y venta de productos, su casa, la bodega con insumos e implementos agrícolas). Estos componentes interactúan y por consiguiente tienen características de estructura y función, los cuales pueden ser definidos como los subsistemas del sistema finca (ver figura 28).

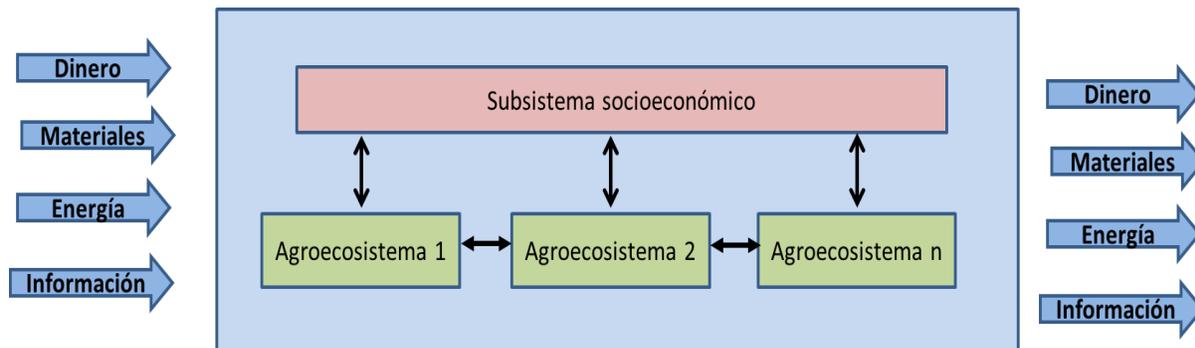
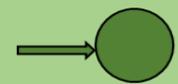
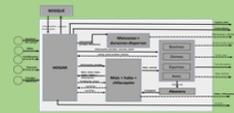


Figura 28. Sistema finca y sus subsistemas.

Los tipos de estructura de sistemas finca, también pueden servir de criterios para identificar dominios de recomendación:

- El tamaño de la finca
- El número de agroecosistemas
- El tipo de agroecosistemas (animal o cultivos, policultivos o monocultivos)
- La riqueza de los agroecosistemas (se refiere al número de agroecosistemas en la finca),
- La interacción de los agroecosistemas, la cual puede ser directa o indirecta. La directa ocurre cuando una salida de un agroecosistema es una entrada a otro, por ejemplo, el pasto producido en un agroecosistema potrero alimenta al agroecosistema bovino. La interacción indirecta ocurre cuando la relación que se da entre dos agroecosistemas es de competencia.





6.2.1. Subsistema socioeconómico

El subsistema socioeconómico de una finca es el componente que controla los procesos agrícolas dentro de esta (Hart, 1985), es decir, es de donde surge el plan de manejo de la unidad productiva. En este componente se encuentra el agricultor y su familia, con sus procesos sociales y culturales. Aquí también se decide la compra y venta de productos agropecuarios y agro insumos. En el aspecto físico, se puede ubicar la vivienda de la familia, la bodega con insumos e implementos agrícolas, entre otros. El componente humano es indudablemente lo más importante de este subsistema.

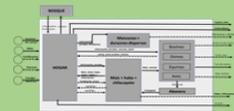
El subsistema social determina la efectividad y eficiencia de la utilización de la tecnología y está condicionado por el subsistema cultural; es allí donde se generan las interacciones entre las capacidades y las habilidades del agricultor, sus valores, motivaciones y creencias (Machado, Martín, & Funes, 2009). Una empresa agropecuaria (por ejemplo, una finca, una cooperativa agrícola o una granja) se asienta en un ecosistema, en donde los agricultores toman las decisiones que afectan tanto a las personas que trabajan o viven en ella, como a sus componentes naturales. Estas decisiones van a beneficiar o a perjudicar la eficiencia del sistema finca, así como al ecosistema en donde esta se ubica, en función del nivel de conocimientos y conciencia ambiental que se posea.

6.2.2. Agroecosistemas

Los agroecosistemas son sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimentos, fibras, otros productos y servicios. Es un ecosistema donde el hombre toma decisiones para favorecer el crecimiento de unos organismos sobre otros, en función de satisfacer sus necesidades humanas. Las decisiones que se toman pueden favorecer el ecosistema o dañarlo, de manera que, en algún momento, uno u otro de sus componentes ponen un límite al crecimiento, según lo establece la ley de Liebig (Machado, Martín, & Funes, 2009). Es importante destacar que un agroecosistema tiene entradas y salidas; estas últimas dependen de su capacidad de producir, en función del flujo de energía y materiales que circulan; asimismo, los seres humanos son una parte inseparable del ecosistema, por lo que la satisfacción de sus necesidades también depende de su capacidad de producción.

Los agroecosistemas de la finca son las parcelas de tierra en donde se realizan las actividades para producir los cultivos. Los componentes de esta unidad son las poblaciones de cultivos, malezas, insectos, microorganismos, entre otros y el ambiente físico (suelo y agua) que interactúa con esta comunidad biótica (Hart, 1985).

Los componentes de un agroecosistema interactúan no solo en el espacio (por ejemplo, la competencia por nutrientes), sino también en el tiempo (por ejemplo, al cosecharse un cultivo, aunque ya no esté presente, puede afectar al siguiente cultivo que se siembre).



Hart (1985) menciona que al visitar una finca no es fácil identificar los agroecosistemas sin saber la distribución cronológica de las poblaciones de cultivos que interactúan dentro de ella, si se considera que los componentes que interactúan en el espacio (por ejemplo, cultivos intercalados o en asocio) y el tiempo (por ejemplo, rotación de cultivos) forman parte del mismo agroecosistema o pertenecen a otro.

6.3. Función del sistema finca

En los sistemas, la función siempre se define en términos de procesos, es decir, el proceso de recibir entradas para producir salidas. Como cualquier sistema, la estructura de una finca afecta la función del sistema. Los procesos que ocurren dentro de esta 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 o muy poco intercambio (compra y venta) de materiales y energía.

También hay flujos de materiales, energía e información entre el subsistema socioeconómico 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 a la finca). Del subsistema socioeconómico sale información y entra al agroecosistema en forma de un plan de manejo (Hart, 1985) (**ver figura 29**).

Para estimar la función de un sistema finca, pueden utilizarse los mismos criterios descritos en el capítulo uno: productividad (bruta y neta), eficiencia, variabilidad y resiliencia. Para ello es importante llevar registros de los costos de producción del sistema finca.

Normalmente, para determinar la función del sistema finca y por fines prácticos, se considera el año calendario, es decir, se debe llevar el registro de los costos de producción realizados durante este período, tales como el registro de labores realizadas, el registro de insumos, la compra y depreciación de equipo, la construcción de instalaciones (por ejemplo, bodegas, invernaderos, sistemas de riego), el destino de la producción y el pago a terceros, entre otros.

Para el caso de la determinación de la función de un agroecosistema en particular, este debe realizarse por ciclo de cultivo y no por año calendario.

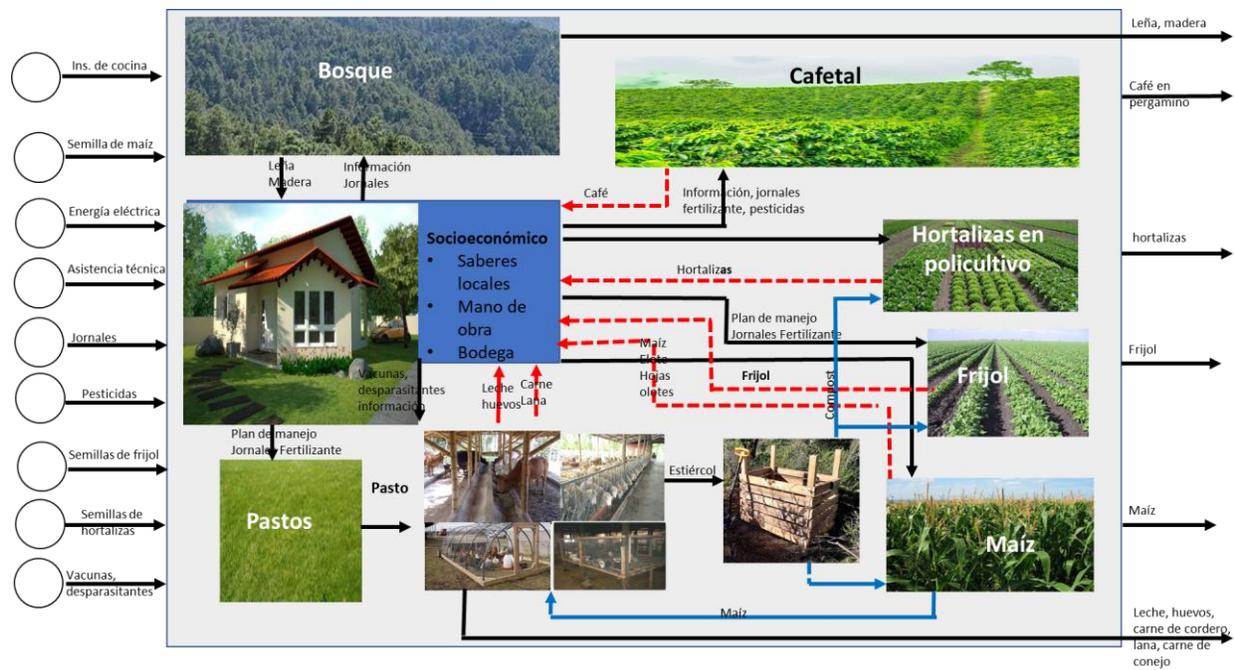
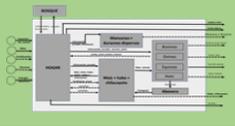
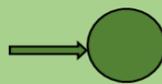
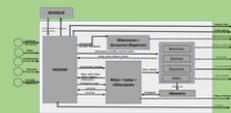


Figura 29. Modelo cualitativo de un sistema finca hipotético.

Para la determinación de la variabilidad, debe contarse con los registros de por lo menos cinco años y, para estimar la resiliencia, el registro de cinco años antes de la perturbación y cinco años después de que ha ocurrido ésta (en el anexo uno se presenta un ejemplo del registro para determinar los costos de producción y, en el anexo dos, un ejemplo para estimar la función de un sistema finca y de un agroecosistema).

En general, los agroecosistemas más diversificados -que suelen coincidir con los manejados según técnicas de agricultura orgánica y tradicional- presentan mayor ventaja en lo relacionado a procesos ecológicos asociados con una mayor diversidad, que aquellos altamente simplificados, como los sistemas agrícolas convencionales y en particular los monocultivos





7. LOS AGROECOSISTEMAS

Como ya se mencionó, los agroecosistemas son sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimentos, fibras, otros productos y servicios. Es un ecosistema donde el hombre toma decisiones para favorecer el crecimiento de unos organismos sobre otros, en función de satisfacer sus necesidades humanas. Las decisiones que se toman pueden favorecer el ecosistema o dañarlo, de manera que, en algún momento, uno u otro de sus componentes ponen un límite al crecimiento, según lo establece la mencionada ley de Liebig (Machado, Martín, & Funes, 2009).

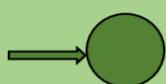
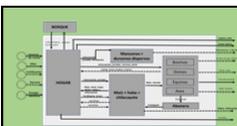
La estructura y el funcionamiento de los agroecosistemas pueden ser muy simples o complejas, y dependen del número y tipo de componentes y del arreglo entre ellos. Este es el caso de un sistema integrado, donde coexisten muchas especies, o de un sistema especializado o convencional de monocultivo. No obstante, el funcionamiento de un agroecosistema no está condicionado solo por la suma de sus componentes, sino por la forma en que estos se interrelacionan, lo que determina sus propiedades particulares y, por consiguiente, es lo que le confiere sus características productivas.

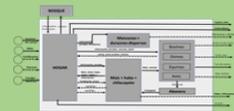
Los agroecosistemas constituyen las unidades de producción dentro del sistema finca, como lo son las fincas en el sistema región. Las salidas de los agroecosistemas (productos agropecuarios) son importantes, no solo para la finca, sino también para la región a la que pertenece esta y, posiblemente, en última instancia al país, ya que son las generadoras de alimentos, fibras y otros productos (Hart, 1985) que se comercializan dentro del país o que se exportan, lo cual genera el ingreso de divisas.

Es importante destacar que un agroecosistema tiene entradas y salidas; estas últimas están en dependencia de su capacidad de producir y en función del flujo de energía y materiales que circulan. Asimismo, los seres humanos son una parte inseparable del ecosistema, por lo que la satisfacción de sus necesidades también depende de su capacidad de producción (FAO, 2001).

Un agroecosistema es un ecosistema que cuenta por lo menos con una población de utilidad agrícola. Recordemos que un ecosistema incluye una comunidad biótica y un ambiente físico con el que esta comunidad interactúa. La comunidad incluye poblaciones de plantas y animales en los agroecosistemas. Algunas de las poblaciones tienen un valor agrícola (Hart, 1985).

La principal diferencia entre los agroecosistemas y los ecosistemas poco intervenidos se basa en su dependencia de la gestión humana para asegurar su funcionamiento: producción, fertilidad, ciclo del agua, relaciones entre animales y plantas, mantenimiento de la calidad de los suelos, etc. Esto les confiere características propias y originales: agrobiodiversidad, regulación cultural, infraestructuras y paisaje agrario. Es decir que, los agroecosistemas difieren de los ecosistemas naturales en que su desempeño está





regulado por la intervención del hombre. Esta intervención está dada por el plan de manejo del agricultor, considerando las circunstancias, los problemas y las oportunidades.

Hart (1985) también hace esta diferencia entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales, pero recalca que todos los conceptos ecológicos tales como flujo de energía, los ciclos de nutrientes y materiales, así como las interacciones entre poblaciones, por ejemplo, relaciones de competencia, depredación, parasitismo, comensalismo y neutralismo, son aplicables en su estudio.

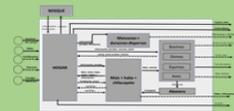
Es importante comprender que los principios ecológicos son el sustento de los agroecosistemas con una alta eficiencia, una baja variabilidad y una alta resiliencia. El papel de la diversidad biológica de los agroecosistemas resulta de gran interés para el establecimiento de sistemas agrícolas sostenibles, como componentes para lograr una mayor estabilidad de los rendimientos y la seguridad alimentaria de los productores.

7.1. Interacciones biológicas en los agroecosistemas

Las características de una población, es decir sus variaciones en el espacio y en el tiempo, están determinadas por sus propiedades biológicas. Dentro de las propiedades biológicas encontramos sus preferencias de hábitat, su modo de reproducción, su modo y capacidad de aprovechar los recursos disponibles, entre otras. Estos factores, en correlación con las particularidades del medio donde la población reside (factores extrínsecos), determinarán el potencial con el cual, por ejemplo, una plaga puede desarrollarse en nuestro cultivo (Paleologos, Iermanó, Blandi, & Sarandón, 2017).

La densidad de una población no es constante y depende de sus niveles de natalidad, mortalidad y dispersión. El diseño del agroecosistema puede tender a disminuir la densidad de las poblaciones de plagas y/o favorecer el aumento de sus enemigos naturales. Por ejemplo, manejando el grado de diversidad dentro de un cultivo se puede favorecer o no las condiciones para las poblaciones de plagas. Así, un sistema de policultivos resulta menos atractivo para las plagas por la dificultad que este representante al momento de encontrar su alimento, resultando en una disminución de la inmigración de las plagas y un aumento de la emigración de estas hacia sistemas más favorables. Por el contrario, en un monocultivo, donde el alimento está ampliamente expuesto, las poblaciones de plagas van inevitablemente a inmigrar hacia este sistema. Otros aspectos como las barreras de vegetación o la presencia de ambientes seminaturales cercanos pueden disminuir el ingreso de las plagas a nuestro cultivo, y favorecer la inmigración de la fauna benéfica.

Por lo tanto, entender los componentes que forman parte de los agroecosistemas y las relaciones entre éstos es un aspecto fundamental para lograr diseñar y manejar agroecosistemas de manera sustentable. Desde el enfoque reduccionista predominante en la agricultura convencional, los sistemas agrícolas se han visualizado como unos



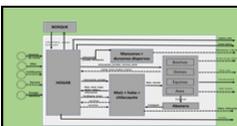
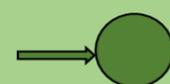
pocos componentes aislados (cultivo, maleza, plaga, enfermedad), los que sólo mostraban interacciones negativas entre ellos (competencia, depredación, parasitismo, etc.). Sin embargo, en las comunidades presentes en los agroecosistemas, existen interacciones tanto negativas como positivas, las que podemos potenciar o disminuir en función al objetivo productivo (**ver tabla 3**).

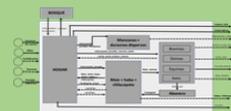
INTERACCIÓN	INTERACCIÓN POBLACIÓN A/B	EFECTO DE LA INTERACCIÓN
Neutralismo	0/0	Ninguna población se beneficia o perjudica
Competencia	-/-	Ambas poblaciones se perjudican
Amensalismo	-/0	Población A se perjudica, la B no sale afectada ni beneficiada
Parasitismo	+/-	Población A resulta beneficiada, población B perjudicada
Depredación	+/-	Población A sale beneficiada, población B perjudicada
Comensalismo	+/0	Población A resulta beneficiada, la B no sale afectada ni beneficiada
Proto cooperación	+/+	Las dos poblaciones salen beneficiadas
Mutualismo	+/+	Las dos poblaciones salen beneficiadas
Simbiosis	+/+	Las dos poblaciones salen beneficiadas

Tabla 3. Interacciones biológicas entre poblaciones

La **competencia** constituye una de las interacciones más importantes en los agroecosistemas. Es una interacción que resulta negativa para ambas poblaciones que intervienen y ocurre cuando dos especies que crecen juntas (por ejemplo, un cultivo y la maleza, o dos cultivos) tienen requerimientos ambientales similares y, por lo tanto, utilizan recursos que no se encuentran en una cantidad que permita satisfacer las necesidades de ambos. Es decir, la existencia de la competencia no se sustenta en el hecho de que dos especies se encuentren compartiendo el mismo hábitat, sino que es producto de la ocurrencia de dos condiciones: nichos similares entre las especies intervinientes y recursos escasos.

La intensidad de la competencia estará estrictamente determinada por el grado de superposición (a mayor similitud, mayor superposición) de los nichos de las poblaciones intervinientes. Ante un recurso escaso, habrá una mayor probabilidad de que las especies compitan cuántas más dimensiones del nicho compartan entre ellas. Considerando que las características morfológicas y fisiológicas de las especies se encuentran directamente relacionadas con sus requerimientos, podemos predecir una





posible competencia entre un cultivo y la maleza o entre dos especies de cultivo (policultivo) en función a sus similitudes estructurales o funcionales. Esto, aporta una herramienta muy importante para el manejo de los agroecosistemas y, especialmente, para el manejo de esta interacción (Paleologos, Iermanó, Blandi, & Sarandón, 2017).

La **competencia intraespecífica**, es aquella que ocurre entre individuos de la misma especie. En los agroecosistemas, es la competencia que trata de evitarse con el manejo de la densidad de siembra o el número de cabezas de ganado por hectárea. Si se incrementa la densidad de individuos, la competencia intraespecífica puede ser tan fuerte que el rendimiento por superficie puede verse seriamente perjudicado.

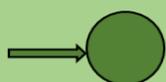
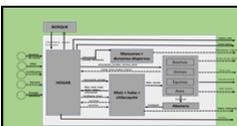
La **competencia interespecífica** es aquella que ocurre entre dos poblaciones diferentes. Este es el caso de la competencia entre los cultivos y las malezas o la que pueda ocurrir en agroecosistemas en asocio. El resultado es una reducción en la fertilidad, el crecimiento y la supervivencia de una o ambas especies. La mayor o menor habilidad para competir que posea una especie dependerá de la otra especie interviniente, de las condiciones ambientales y del factor por el cual se compete.

7.2. Límites de los agroecosistemas

Para la definición de los límites de los agroecosistemas, deben seguirse los criterios ya definidos. Para este caso, un criterio muy útil es el control que el agricultor tiene sobre las salidas hacia el agroecosistema, incluyendo los materiales, la energía e información a través del plan de manejo, y el control de las salidas del agroecosistema hacia el componente socioeconómico. Por ejemplo, en una finca con un agroecosistema en asocio de maíz más frijol y otro con cultivo de manzana, los planes de manejo y los insumos son diferentes para cada uno de ellos, por lo tanto, son dos agroecosistemas diferentes. Así también las salidas de estos agroecosistemas hacia el componente socioeconómico son diferentes: del primero las salidas son maíz en grano, elotes y frijol y del otro las frutas de manzana.

7.3. Estructura de los agroecosistemas

La estructura de un agroecosistema está compuesta por los componentes bióticos, entre ellos los cultivos, que constituyen el componente al que se busca favorecer en su crecimiento por tener un valor agrícola, además de otras especies vegetales (como las malezas), insectos (tanto los benéficos como los perjudiciales) y microorganismos. Y como componente abiótico el suelo, que sirve de almacén de agua y nutrientes para los cultivos y las otras especies vegetales. De acuerdo con Hart (1985) estos componentes se pueden dividir en subconjuntos que funcionan como una unidad y, por lo tanto, se pueden denominar subsistemas del agroecosistema (**ver figura 30**).



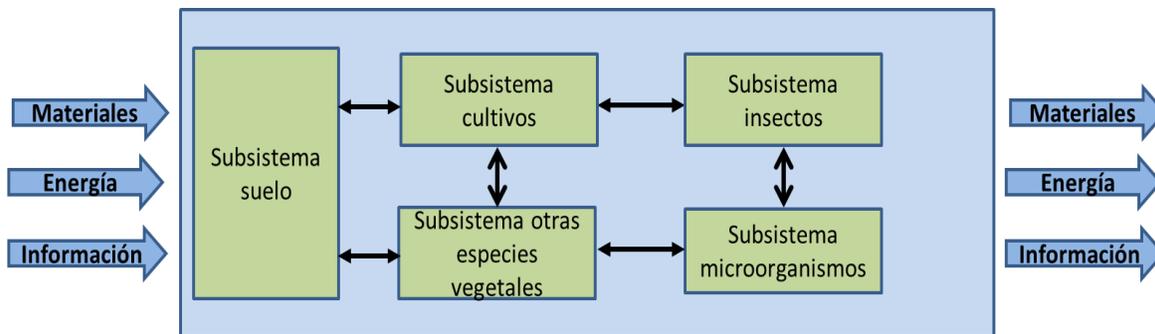


Figura 30. Un agroecosistema con sus componentes.

Los componentes del agroecosistema interactúan y forman arreglos en el tiempo y en el espacio. Hart (1985) define estos arreglos de la siguiente manera (ver figura 31):

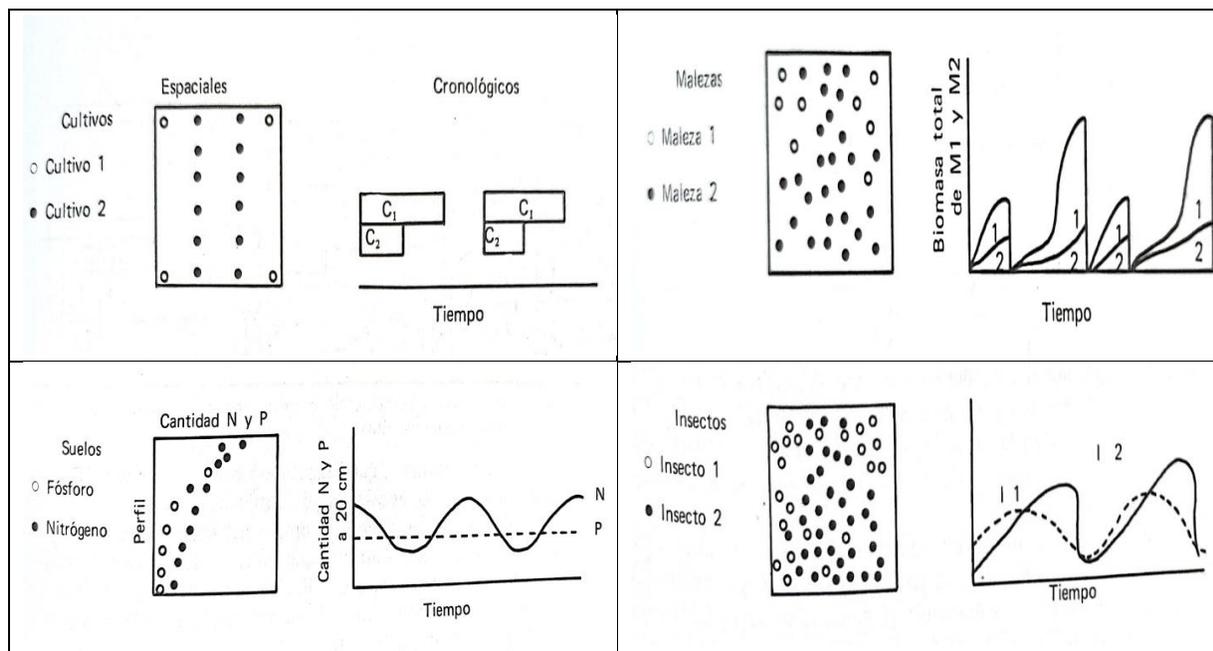
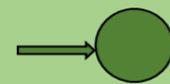
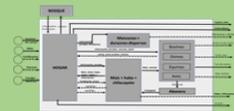


Figura 31. Arreglos cronológicos y espaciales de un agroecosistema (tomado de Hart 1985)

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 la población del cultivo en el tiempo y en el espacio.

Arreglos de malezas: Las malezas de un agroecosistema también se distribuyen en el espacio y en el tiempo. Durante un periodo de tiempo determinado, es posible identificar el cambio entre los tipos de malezas dentro del agroecosistema, por ejemplo, al principio pueden ser gramíneas y luego de hoja ancha. También se puede determinar su ubicación espacial.





Distribución de insectos y microorganismos: los insectos y microorganismos también pueden tener una secuencia cronológica y un arreglo espacial en un momento dado en el agroecosistema.

Arreglo del suelo: los nutrientes y el agua que integran el subsistema suelo de un agroecosistema, también tienen una distribución en el tiempo y en el espacio. La disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas generan un arreglo cronológico y la ubicación de ellos en el suelo, ya sea vertical u horizontal, definen su arreglo espacial.

7.4. Función de los agroecosistemas

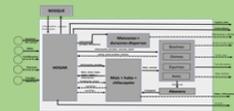
Como cualquier sistema, la estructura del agroecosistema afecta su función. Los flujos de materiales, de energía y de información, que entran y salen del agroecosistema, así como las interacciones entre sus componentes dan como resultado el desempeño dinámico del agroecosistema (es de notar que dentro de estos flujos ya no se incluye el dinero).

Para estimar la función de un agroecosistema, pueden utilizarse los mismos criterios descritos para el sistema finca: productividad (bruta y neta), eficiencia, variabilidad y resiliencia. Para ello es importante llevar registros socioeconómicos de la finca, como ya se indicó. Para el caso de la determinación de la función de un agroecosistema en particular, esta debe realizarse por ciclo de cultivo y no por año calendario.

Al final, la función de la finca es el comportamiento de cada uno de sus agroecosistemas. La importancia de la determinación de la función de cada agroecosistema de la finca estriba en el hecho que se pueden identificar cuáles son los agroecosistemas más o menos eficientes.

Para el caso de los agroecosistemas con poca eficiencia, hay que recordar que, si variamos la estructura del sistema, cambiamos su función. Por ejemplo, en un agroecosistema pecuario que está conformado por un componente bovino de raza criolla para la producción de leche, si cambiamos este componente por una raza mejorada, como la raza Holstein, estamos cambiando su estructura y por consiguiente su función. Es posible que este cambio de estructura lo convierta en un agroecosistema con mayor eficiencia.

Es importante recordar que los objetivos del agricultor al manejar un agroecosistema siempre están relacionados con el subsistema de cultivo de interés. Para ello, toma una serie de decisiones como, por ejemplo, realizar la preparación del suelo, la especie y variedad a cultivar, establecer la fecha de siembra, el arreglo espacial, las distintas prácticas agronómicas (raleo, podas, fertilización, disminución de la competencia de las malezas, etc.) y, por último, la cosecha de la biomasa con valor agrícola.



Este conjunto de decisiones para llevar a cabo cada una de estas actividades, es el resultado del plan de manejo. Para ello el agricultor considera el ambiente en el que se ubica la finca en general o el agroecosistema en particular, la disponibilidad y el uso de los recursos, las principales restricciones que enfrenta (del ambiente y de los recursos) y la estrategia que considera para solventar cada una de las restricciones. En función de lo anterior, toma sus decisiones considerando sus objetivos o prioridades, las circunstancias naturales y las circunstancias socioeconómicas (este aspecto se ampliará en el capítulo 9, modelación de sistemas finca).

7.4.1. Subsistema suelo

Los procesos que ocurren en el suelo de un agroecosistema constituyen la base de muchos otros procesos asociados con cultivos, otras especies vegetales, insectos y microorganismos. Los procesos hídricos, químicos y bióticos del suelo interactúan entre sí y forman una unidad que puede ser denominada subsistema suelo (Hart, 1985).

El agua y los nutrientes entran al agroecosistema por medio del subsistema suelos. Este subsistema funciona como almacén de estas entradas, que llegan procedentes del ambiente.

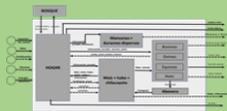
La estructura de un sistema suelo está relacionada con las características de sus componentes, como los elementos químicos, la textura y el contenido de materia orgánica. Estos componentes tienen una distribución espacial y cronológica.

Este arreglo espacial y cronológico de los componentes del suelo afecta su función. El arreglo que observamos cuando se describe su perfil, es el resultado de la génesis del suelo, el cual es una característica de su función.

7.4.2. Subsistema de cultivos

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

Un sistema de cultivos es un arreglo espacial y cronológico de poblaciones de cultivos que interactúan y actúan como una unidad. Por consiguiente, también posee límites espaciales y cronológicos (la discusión de este subsistema se ampliará en el siguiente capítulo).



7.4.3. Subsistema otras especies vegetales

Las malezas en los agroecosistemas representan plantas sin valor económico o que crecen fuera de lugar, interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo. Esto indica que las malezas representan uno de los problemas severos en los agroecosistemas, ya que su acción invasora facilita su competencia con los cultivos, a la vez que pueden comportarse como hospederas de plagas y enfermedades. Por tal razón, se deben implementar modelos de manejo que disminuyan su interferencia con el cultivo y, de esta forma, evitar un incremento considerable en los costos de producción. La intensidad de la competencia estará estrictamente determinada por el grado de superposición (a mayor similitud, mayor superposición) de los nichos de las poblaciones intervinientes.

Sin embargo, no todas las especies vegetales no sembradas por el hombre funcionan como malezas; muchas de ellas parecen jugar dentro del agroecosistema, un papel mucho más importante de lo que hasta hoy se conoce. Un ejemplo demostrado radica en el hecho de que muchas de ellas se desarrollan en áreas sometidas a barbecho y sirven para prevenir la erosión del suelo y reciclar sus nutrientes y minerales. También se ha asegurado que ellas sirven de reservorio de organismos benéficos para el control general de plagas; por ello, el concepto de *maleza* es relativo y antropocéntrico, por lo que se le define mejor como otras especies vegetales.

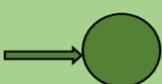
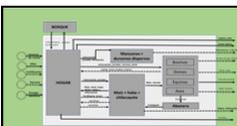
La estructura de un sistema de otras especies vegetales está asociada con las características botánicas de los diferentes componentes del sistema y el arreglo espacial y cronológico de las poblaciones.

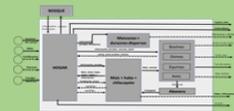
Las características de función del subsistema de otras especies vegetales, se determina usando criterios ecológicos, por lo que hay pocas diferencias entre la función del sistema de otras especies vegetales y la del subsistema de cultivos.

7.4.4. Subsistema insectos

Hart (1985) indica que, en el agroecosistema, uno de los subsistemas que más perjudica los objetivos del agricultor es el subsistema de insectos, ya que compite con el hombre por las salidas del subsistema cultivos. Es por ello por lo que, cuando observan su presencia en el cultivo, reaccionan con la intención de eliminarlos. Esta reacción es simplista y ha contribuido al establecimiento del círculo vicioso de los plaguicidas como única opción para el control de las plagas, con efectos secundarios bien conocidos. Sin embargo, la diversidad de especies de insectos y las funciones que estos cumplen en los agroecosistemas son generalmente desconocidas por los agricultores.

Han sido muchas décadas en las que la producción agrícola, en casi todo el mundo, se vio influenciada por el enfoque unilateral de la producción a gran escala en monocultivo, como paradigma de eficiencia productiva, en detrimento de los recursos naturales que





garantizan la fertilidad sostenible de los agroecosistemas: la biodiversidad, la calidad del suelo y del agua

Sin embargo, en los agroecosistemas existe una enorme diversidad de especies de insectos (no todos perjudiciales) y de las funciones que desempeñan como parte del ecosistema, ya que hay evidencias que muestran que los insectos aportan muchos beneficios.

Los insectos tienen roles diversos en los ecosistemas. Unos son fitófagos, otros polinizadores, detritívoros, necrófagos, coprófagos, micófagos o florícolas, entre otras funciones. Muchas especies se relacionan entre sí mediante cadenas tróficas complejas, como es el caso de los parasitoides, predadores e hiperparásitos, que se alimentan y viven en poblaciones de fitófagos; también son interesantes los que transmiten patógenos a las plantas y otros organismos, así como los que cuidan y trasladan a otros insectos, entre muchos hábitos más que son menos perceptibles y no han sido suficientemente estudiados.

De esta diversidad de insectos en los agroecosistemas se ha llegado a conocer que, de los fitófagos, solo una ínfima parte (menos del 3%) se manifiestan como plagas, mientras que los restantes son regulados naturalmente por entomófagos y entomopatógenos, entre otros factores naturales. Por ello, es importante que el agricultor conozca que no todos los insectos presentes en sus cultivos son plagas.

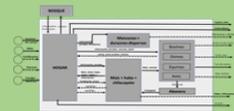
La estructura del subsistema insectos puede ser considerada en relación con las características de los componentes del subsistema y el arreglo espacial y cronológico de estos componentes. Los componentes del subsistema son las poblaciones de las diferentes especies de insectos del agroecosistema. Estas poblaciones tienen características propias de las especies consideradas individualmente, y características propias de las poblaciones consideradas como unidad (Hart, 1985).

En el arreglo espacial debe considerarse la movilidad de los insectos. La distribución de los insectos da un arreglo espacial del subsistema, es su distribución en el suelo, sobre el suelo y diferentes estratos del follaje u órganos de la planta. El arreglo cronológico está referido a los insectos de poblaciones estables y poblaciones fluctuantes.

Las características de función del subsistema insectos, incluyen alimentación (herbívoros, carnívoros y omnívoros), movimiento (colonización, migración y dispersión) y reproducción (ciclo de vida y el paso de un estado a otro).

7.4.5. Subsistema microorganismos

El subsistema microorganismos en los agroecosistemas, no está conformado solamente por organismos parásitos. Existen microorganismos que desempeñan un papel primordial en los agroecosistemas, ya que son esenciales como mecanismo de protección frente a organismos fitopatógenos, así como por promover el desarrollo



vegetal, entre otras funciones, como, por ejemplo, los *Rizobios*, que son bacterias fijadoras de nitrógeno que se encuentran en simbiosis con las leguminosas.

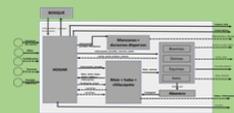
El conocimiento que tenemos hoy en día sobre la estructura de las comunidades microbianas que integran estos agroecosistemas, a nivel de composición, distribución y función, es muy escaso, pero suficiente como para poner de manifiesto su importancia. Así pues, la estructura de la comunidad microbiana de un ecosistema se puede considerar el indicador biológico más sensible del estado de este, puesto que reacciona de manera rápida y reproducible en respuesta a los impactos antropogénicos realizados sobre él.

También la actividad microbiana de la rizosfera es, en gran medida, responsable del funcionamiento del ecosistema y de la fertilidad de los suelos agrícolas. Entre los microorganismos benéficos del suelo, tanto los hongos formadores de micorrizas arbusculares como las bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento (constituyentes claves de la zona rizosférica) contribuyen a mejorar el desarrollo y la nutrición de la planta, así como a incrementar la tolerancia de los cultivos frente a determinadas situaciones de estrés de tipo biótico o abiótico. La integración de estos microorganismos en los sistemas garantiza la sostenibilidad, contribuyendo a optimizar la calidad y la salud del suelo, limitar el aporte de nutrientes e incrementar los rendimientos.

La estructura del subsistema microorganismos está asociada a las características estructurales de los componentes individuales y al arreglo espacial y cronológico. Como componentes, pueden agruparse en hongos, bacterias, nemátodos, virus, micoplasmas, espiroplasmas y rickettsias.

El arreglo espacial está dado por la localización de los microorganismos en el agroecosistema: en el cultivo, en plantas hospedadoras, en la rizosfera, etc. En cuanto al arreglo cronológico de microorganismos patógenos, este está influenciado por la fase vegetativa del cultivo y el ciclo reproductivo del patógeno (de ciclo simple y de ciclo múltiple).

Las características de función están relacionadas con los procesos fisiológicos de los componentes individuales como población, el proceso de diseminación, el ciclo reproductivo del microorganismo y la interacción con el subsistema de insectos y con los factores ambientales.



8. EL SUBSISTEMA CULTIVOS

El subsistema de cultivos de un agroecosistema está formado por componentes que son poblaciones de una o más especies de cultivos y que interactúan en el tiempo y 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 económico y con límites definidos.

El subsistema cultivos es la unidad que recibe directamente la mayor atención del agricultor entre los diferentes subsistemas del agroecosistema. El agricultor, en su plan de manejo, realiza actividades dirigidas a los suelos, a otras especies vegetales, a los insectos y a los microorganismos, todas las cuales están encaminadas a lograr una mejor eficiencia del cultivo.

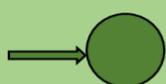
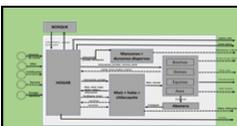
8.1. Determinación de límites del subsistema cultivos

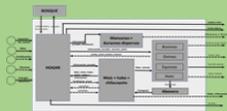
Como un sistema de cultivos es un arreglo espacial, sus límites son relativamente fáciles de definir. El criterio para definirlos es la existencia o no existencia de competencia dentro del terreno de cultivo en el espacio. Las poblaciones de plantas que presentan competencia intraespecífica son componentes del mismo sistema cultivos y, por consiguiente, las poblaciones que no poseen competencia intraespecífica no son componentes del mismo sistema. Por ejemplo, una población de maíz sembrada en el mismo espacio manifiesta competencia intraespecífica.

¿Pero qué pasa con los cultivos en asocio? Por ejemplo, la siembra de maíz y frijol en asocio, es decir los dos cultivos en la misma parcela. En este caso van a ocurrir los dos tipos de competencia: competencia intraespecífica entre la población de maíz, competencia intraespecífica entre la población de frijol y competencia interespecífica entre las poblaciones de maíz y frijol.

La definición de los límites cronológicos del subsistema cultivos son más difíciles de definir. Hart (1985) afirma que todos los cultivos sembrados en secuencia en una misma parcela son componentes de un mismo sistema porque existe algún nivel de interacción entre ellos, aunque pasen varios años entre un cultivo y otro. Por ejemplo, la hernia de las coles (*Plasmodiophora brassicae*) es una enfermedad que ataca a las raíces de las crucíferas, tales como el repollo, la coliflor, el brócoli y la col de Bruselas. Una vez en el suelo, las esporas de *Plasmodiophora brassicae* pueden sobrevivir más de diez años, infectando cualquier crucífera posterior que se cultive en la rotación.

Hart (1985) también propone que, por fines prácticos, es necesario fijar límites cronológicos que sean más restringidos a un subsistema de cultivos. Por ejemplo, si un sistema de cultivos incluye la siembra consecutiva de maíz-maíz-maíz, los límites cronológicos del sistema es el tiempo de la repetición, es decir, de la siembra de una





población de maíz a la siembra de la otra población de maíz. Si el sistema es maíz-frijol-maíz-frijol, el límite cronológico será el tiempo entre la primera y la segunda siembra de maíz, o entre la primera y segunda siembra de frijol, este sistema puede conceptualizarse como una rotación maíz-frijol o frijol-maíz, todo depende de dónde es más práctico fijar el límite.

En zonas donde las siembras son de temporal, es decir que solo se siembra durante la época de lluvia, se puede fijar el límite utilizando el periodo de tiempo entre las épocas secas, o sea el ciclo agrícola.

8.2. Estructura del subsistema cultivos

Los componentes del subsistema cultivos son las poblaciones de cultivos que interactúan para formar el subsistema. Recordemos que la competencia intraespecífica, es aquella que ocurre entre individuos de la misma especie. En el subsistema cultivos, es este tipo de competencia la que trata de evitarse con el manejo de la densidad. Si se incrementa la densidad de individuos, la competencia intraespecífica puede ser tan fuerte que el rendimiento por superficie se verá seriamente perjudicado.

Por lo tanto, la estructura total del sistema es afectada por la población total del cultivo, el número de especies (competencia interespecífica cuando son cultivos en asocio) y su diversidad. Ciertas características de los cultivos como altura de planta, volumen de raíces y área foliar, son ejemplos de las características estructurales que influyen en la población óptima total y el arreglo espacial y cronológico del sistema (Hart, 1985).

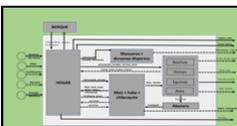
8.2.1. Arreglos espaciales

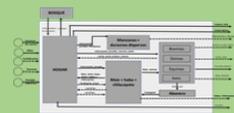
Los arreglos espaciales son distribuciones de poblaciones de especies agrícolas en el espacio, es decir, en una parcela de cultivo. Un arreglo espacial puede incluir una especie de cultivo, por ejemplo, maíz en monocultivo, o dos especies sembradas en la misma parcela, por ejemplo, la asociación de maíz y frijol.

Hart (1985) identifica los siguientes tipos de asociaciones (**ver figura 32**):

Cultivos en bordes: un cultivo sembrado como borde alrededor de otro cultivo. En la zona productora de papa de Quetzaltenango, es común ver como cultivo borde, plantas de sauco (del género *Sambucus*), alrededor del cultivo de papa.

Cultivo en franjas: dos o más surcos de un cultivo sembrado entre dos o más surcos de otro cultivo. En Almolonga es frecuente la siembra de diversas hortalizas en franjas, por ejemplo, surcos de cebolla, en medio de surcos de lechuga.





Cultivo intercalado: uno o más surcos de un cultivo se siembran en la calle, entre los surcos de otro cultivo, o en el mismo surco que el otro, pero no en la misma postura. Por ejemplo, cultivo de chilacayote (*Cucurbita ficifolia*) en las calles de maíz.

Cultivos en la misma postura: Dos cultivos sembrados en la misma postura, por ejemplo, el sistema maíz y frijol o, a veces, habas en el altiplano de Guatemala. Se siembra 3 o 5 granos de maíz y 2 o 3 granos de frijol de crecimiento indeterminado en la misma postura.

Cultivo al voleo: dos cultivos sembrados juntos. En alimentación de ovejas es común ver la siembra de avena y vicia sembradas al voleo.

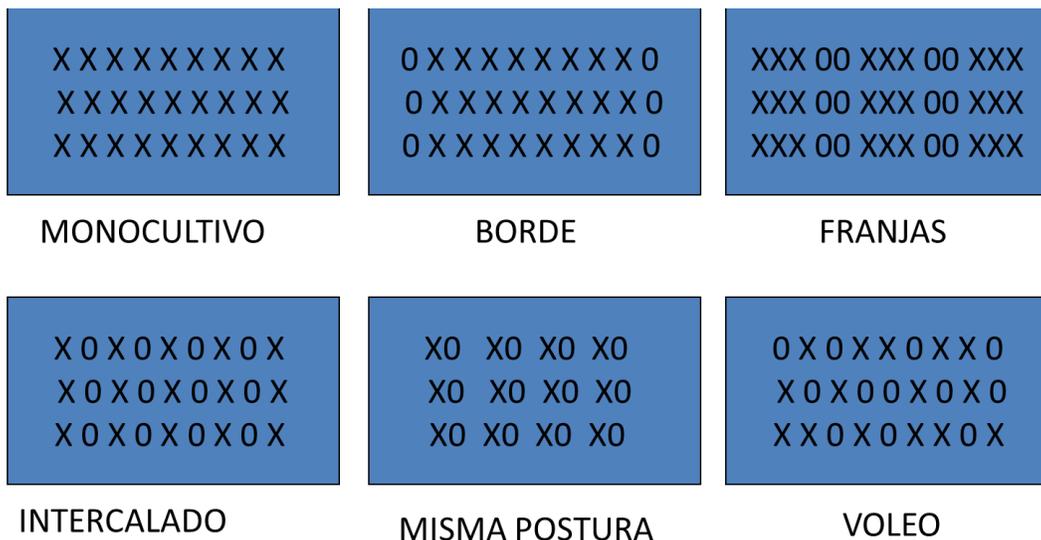
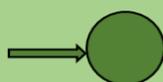


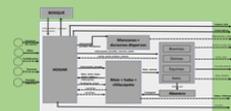
Figura 32. Arreglos espaciales con sistemas de cultivos en asocio (Hart 1985)

8.2.2. 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 estos. Es posible que se produzcan diferentes niveles de interacción entre los cultivos en el tiempo. Hart (1985) identifica dos tipos importantes de interacción cronológica: indirecta, cuando los cultivos no compiten directamente y el efecto de un cultivo sobre otro es por intermedio de otro subsistema del agroecosistema y, directa, cuando los cultivos están asociados en el tiempo (ver figura 33).

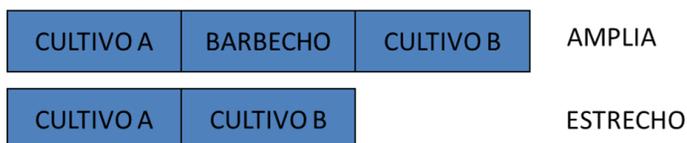
- Interacción indirecta amplia: cuando entre la cosecha de un cultivo y la siembra de otro hay una época de barbecho o un periodo sin siembra.
- Interacción indirecta estrecha: cuando un cultivo es sembrado inmediatamente después de la cosecha de otro, por ejemplo, maíz de primera y ajonjolí en segunda en la costa sur.
- Interacción directa en relevo: un cultivo es sembrado entre la siembra y la cosecha de otro y cosechado después de la cosecha del primero.





- Interacción directa cosecha escalonada: dos cultivos son sembrados al mismo tiempo, pero se cosechan en diferente época.
- Interacción directa siembra escalonada: dos cultivos cosechados al mismo tiempo, pero sembrados en diferente época.
- Interacción directa siembra y cosecha escalonada: un cultivo es sembrado después de la siembra de otro y cosechado antes de la cosecha del otro.
- Interacción directa encajada: dos cultivos sembrados y cosechados al mismo tiempo.

INTERACCIÓN INDIRECTA



INTERACCIÓN DIRECTA (ASOCIACIÓN)

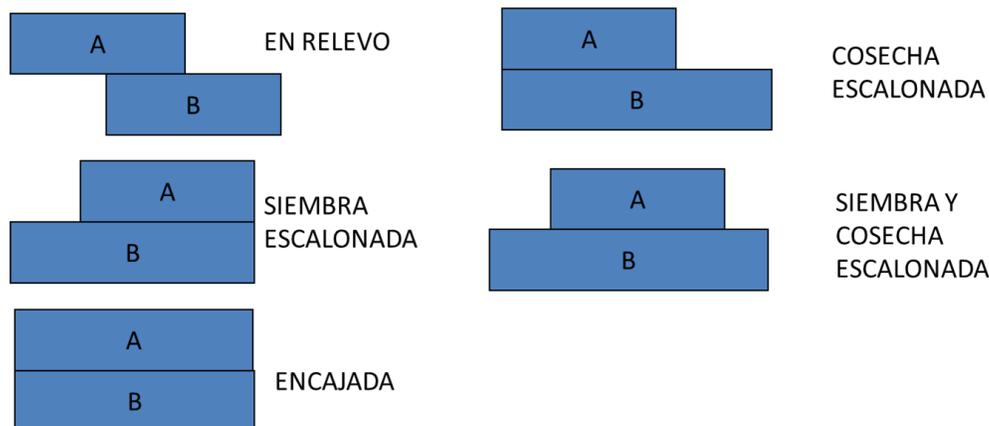
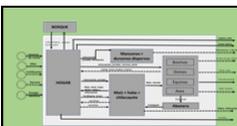
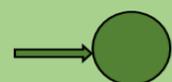


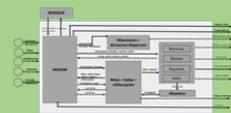
Figura 33. Ejemplo de diferentes arreglos cronológicos con sistemas de cultivos en asocio (Hart 1985)

8.3. Función del subsistema cultivos

Un arreglo de cultivos utiliza entradas de nutrientes y agua que son las salidas del sistema suelos. Otra entrada es la radiación la que, por medio de procesos fisiológicos, produce biomasa vegetal. Las salidas de un subsistema de cultivos es la biomasa de los cultivos.

Como todo sistema, al subsistema cultivos también se le puede estimar la función. En este caso, uno de los fenómenos más estudiados en agronomía es la relación entre la estructura de un sistema de cultivos y su función. Para ello es necesario definir algunos índices que describen el desempeño (función) del sistema de cultivos. Uno de estos índices es el uso equivalente de terreno.





Uso equivalente del terreno

Se puede definir UET como la cantidad de tierra necesaria para producir en monocultivo, tanto como puede producirse en una hectárea de policultivos (Ebel, Pozas Cárdenas, Soria Miranda, & Cruz González, 2017). Estimar si dos sistemas en monocultivo (por ejemplo, maíz y frijol sembrados por separado) se obtiene un mayor desempeño que si estos se sembraran en asocio (por ejemplo, maíz más frijol) o a la inversa, es una estimación muy importante para brindar recomendaciones al sistema finca.

El Uso Equivalente de Terreno (UET) provee una medida de rendimientos alcanzados al cultivar dos o más plantaciones de una forma intercalada, comparando estos resultados con los mismos cultivos, pero sembrados individualmente en un área determinada, en forma de monocultivo. El uso equivalente de tierra, como también se le conoce, es la sumatoria de dividir, para cada cultivo, el rendimiento del policultivo sobre el rendimiento del monocultivo de mayor valor económico. El resultado de esta ecuación no son valores reales de rendimiento, sino que son valores proporcionales que determinan el nivel de interferencia de cultivos intercalados en un tipo de sistema de producción de cultivos.

$$\text{UET} = \frac{\text{Rendimiento cultivo A en asocio}}{\text{Rendimiento cultivo A en monocultivo}} + \frac{\text{Rendimiento cultivo B en asocio}}{\text{Rendimiento cultivo B en monocultivo}}$$

Interpretación: si el UET = 1, significa que el uso equivalente de la tierra es la misma si los cultivos se sembraran por separado que en asocio. Si el UET < 1, el uso equivalente de la tierra es más eficiente sembrando los cultivos por separado y, si el UET > 1, se aprovecha de una mejor manera la tierra sembrando en asocio.

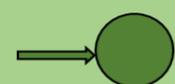
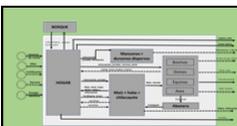
A continuación, se presenta un ejemplo de cómo calcular el UET usando datos de una finca de subsistencia del cantón Paxtocá, Totoncapán:

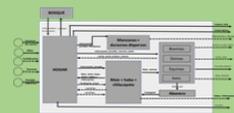
- Rendimiento de maíz en monocultivo: 6 quintales por cuerda
- Rendimiento de frijol en monocultivo: 2.4 quintales por cuerda
- Rendimiento de maíz en asocio con frijol: 4 quintales por cuerda
- Rendimiento de frijol en asocio con maíz: 1.95 quintales por cuerda

$$\text{UET} = \frac{\text{Rendimiento maíz en asocio}}{\text{Rendimiento maíz en monocultivo}} + \frac{\text{Rendimiento frijol en asocio}}{\text{Rendimiento frijol en monocultivo}}$$

$$\text{UET} = \frac{4 \text{ qq/cuerda}}{6 \text{ qq/cuerda}} + \frac{1.95 \text{ qq/cuerda}}{2.40 \text{ qq/cuerda}} = 0.67 + 0.81 = 1.48$$

Interpretación: si sembráramos el maíz y el frijol de manera separada, necesitaríamos 0.48 cuerdas más para producir los mismos rendimientos que si sembráramos en asocio.





9. MODELACIÓN DE FINCAS

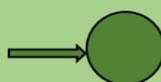
Un modelo es la representación simplificada de un sistema, donde se describen las variables dependientes e independientes de interés, características y restricciones mediante símbolos, diagramas y ecuaciones. Pueden ser descriptivos o de simulación, en los primeros únicamente se representan los componentes del sistema, mientras que en los segundos se imita el funcionamiento del sistema y se obtienen resultados predictivos, en forma de datos numéricos o gráficos. En el ámbito científico, los modelos se han empleado en diferentes disciplinas, logrando mejorar el conocimiento de las características y el funcionamiento de los sistemas o elementos evaluados; conociendo mejor el problema se ha mejorado en el planteamiento y fundamentación de hipótesis de investigación. Por otro lado, para el manejo y planificación de los sistemas, el uso de modelos permite una representación anticipada de la administración y uso de los componentes y recursos, así como la adición, sustracción o modificación de interacciones y relaciones (Martínez, y otros, 2011).

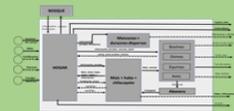
Por las ventajas del modelaje en la exploración de sistemas, y por la importancia de la agricultura en el desarrollo de la humanidad y el uso de los recursos naturales, se ha implementado el uso de modelos para su representación, estudio y planeación, en aras de obtener una producción optimizada, eficiente y sustentable. No obstante, la agricultura constituye una actividad con múltiples implicaciones: biológicas, económicas, sociales, culturales, humanas, políticas y de mercado; por lo que obtener modelos que logren abarcarlas, representarlas y relacionarlas totalmente como sistema, es una tarea difícil de conseguir, pero con gran importancia para complementar los esfuerzos realizados en diferentes campos para lograr el desarrollo de la agricultura.

Un modelo puede ser una representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto, sistema, proceso, actividad o pensamiento; destaca las características que el modelador considera más importantes del fenómeno en cuestión, por lo que se emplea para analizar exhaustivamente cada una de sus relaciones e interacciones, y con base en su análisis, predecir posibles escenarios futuros para dicho fenómeno. Así, un modelo puede describirse como una representación simplificada de un sistema real, y es en esencia, una descripción de entidades y la relación entre ellas.

Los modelos que se presentan deben realizarse en función de los dominios de recomendación que se han identificado en el sistema región. Aunque los ejemplos que se dan hacen referencia a un agricultor o sistema finca en particular, debe interpretarse que el sistema finca representa a un dominio de recomendación.

Los modelos por su propósito se pueden clasificar en (Martínez, y otros, 2011):





Descriptivos: Describe las características del fenómeno en cuestión; emplea la observación sistemática y participante, encuestas, entrevistas, estudios etnográficos, entre otros.

Explicativos: Busca conocer las causas que originan un fenómeno. Llega a generalizaciones extensibles más allá de los sujetos analizados. Se basa en obtener muestras representativas de los sujetos, usa diseños experimentales para el control del experimento y el análisis de datos.

Predictivos: Se basa en datos anteriores y en técnicas específicas como regresión múltiple, procesos etnográficos, procesos estocásticos, simulación o análisis causal.

9.1. Análisis del sistema finca

El análisis de cualquier sistema empieza con su descripción. Esta descripción puede ser expresada a través de un diagrama o una ecuación matemática, lo que constituye el modelo del sistema. Por lo tanto, un modelo es también un conjunto de hipótesis sobre la estructura y función del sistema. Esta hipótesis, como cualquier otra, se puede evaluar por medio de la experimentación.

Los pasos principales en el análisis de un sistema finca son: la elaboración del modelo, la validación del modelo y su utilización, incluyendo simulaciones. La elaboración del modelo, la validación y la utilización no son procesos separados. El primer modelo de un sistema puede ser solo cualitativo, pero al cuantificarse las relaciones entre los componentes del sistema, se ha iniciado el proceso de validación. Es muy probable que el modelo cuantitativo, elaborado después de medir y cuantificar las entradas, salidas y función de los subsistemas del sistema real, puedan ser muy diferentes al modelo cualitativo original.

9.2. Definición del sistema finca

La modelación en un sistema finca implica la descripción de sus componentes, las interacciones entre ellos, sus entradas, sus salidas, los límites y el comportamiento humano. La modelación de estas circunstancias debe ser diseñado por el investigador, extensionistas y agricultores en formas conjunta, para que el análisis sea más realista.

La definición de la finca debe incluir información del subsistema socioeconómico, tal como la composición familiar por edad y sexo, el ambiente social, el ambiente cultural, el ambiente económico, la tenencia de la tierra y la disponibilidad y uso de recursos. Además, las condiciones climáticas y las edáficas, así como las potencialidades y restricciones del sistema finca.



9.3. Elaboración del modelo estructural cualitativo

El modelo estructural cualitativo enfoca los niveles de interacción e integración entre los componentes: socioeconómicos y agroecosistemas, además de las actividades que se desarrollan fuera de la finca. El modelo estructural es importante para orientar el trabajo de un equipo interdisciplinario de investigación y extensión.

Usando la información obtenida durante el proceso de definición de la finca, el próximo paso es elaborar un diagrama (modelo) que ordene esta información (ver figura 34, modelo estructural cualitativo de una finca hipotética del cantón Paxtocá, Tonicapán).

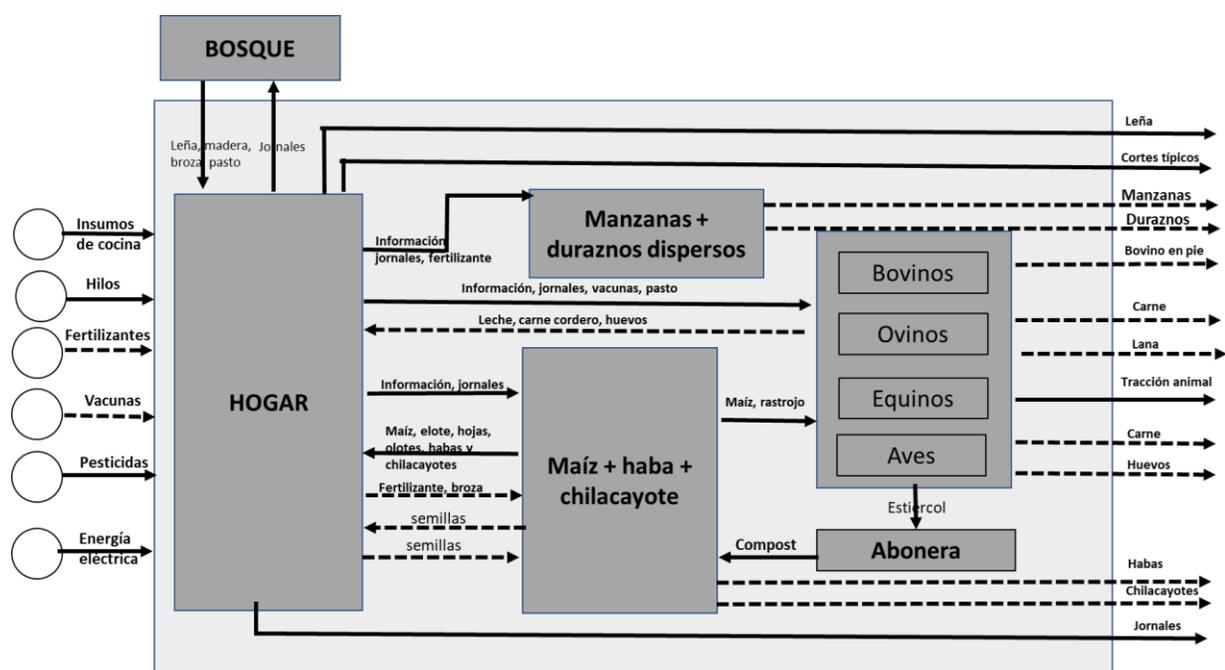
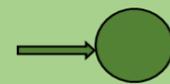
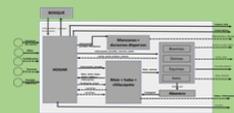


Figura 34. Modelo cualitativo de una finca hipotética del cantón Paxtocá, Tonicapán

En este modelo estructural cualitativo del sistema finca Paxtocá, se pueden identificar, además del componente socioeconómico, tres agroecosistemas: la asociación maíz + haba + chilacayote, los frutales (manzanas y duraznos con árboles dispersos) y el agroecosistema pecuario (constituido por bovinos, ovinos, equinos y aves). Pueden identificarse cuales son las entradas al sistema finca, las salidas y los flujos que se presentan entre el subsistema socioeconómico y los agroecosistemas.

Cabe resaltar de este modelo, un elemento como lo es el bosque. La interpretación que se hace es que el bosque no forma parte del sistema finca, ya que se identifica fuera de él (puede ser un bosque comunal que no pertenece a la finca, pero que le brinda bienes importantes al sistema como lo son leña, madera, broza y pastos. De hecho, las salidas





de la finca son precisamente leña y madera, las cuales le generan ingresos importantes al agricultor).

Otro elemento es el hecho de la venta de jornales de trabajo del agricultor, lo que constituye otra salida del sistema. A pesar de ser un sistema finca con muy pocas entradas, produce salidas debido a las relaciones de retroalimentación negativa que se da entre los agroecosistemas.

9.4. Elaboración del modelo cuantitativo

El modelo cuantitativo describe y resume la realidad de los componentes de un sistema finca, sus interacciones y sus relaciones fuera de la finca, pero en forma cuantitativa.

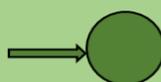
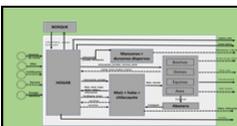
Al cuantificar los flujos en el modelo estructural cualitativo, este se convierte en un modelo estructural cuantitativo. Este modelo se realiza en base a los registros agro-socioeconómicos (**ver ejemplo de formato en el anexo 1**) que se llevan para cada uno de los componentes del sistema finca. En los registros agro-socioeconómicos de la finca, se anotan todas las actividades que se implementen en cada uno de los sistemas, tanto dentro como fuera de la finca. Para ello se utilizan formularios, que se van llenando conforme se realiza cada una de las actividades a través del ciclo del o de los cultivos.

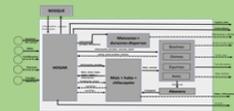
La cuantificación del modelo es también el primer paso para empezar el proceso de validación, porque al buscar información cuantitativa, se usa el modelo cualitativo como marco conceptual del sistema finca. Recordemos que la función de un sistema está relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas.

Los flujos en el modelo estructural deben cuantificarse indicando la unidad de medida, por ejemplo, 10 litros de leche, 4 cargas de leña, 5 cartones de huevos, 1 quintal de fertilizante y su respectivo valor monetario. Con esta información se puede estimar la función, no solo del sistema finca en su conjunto, sino la función de cada uno de los agroecosistemas que lo conforman (**ver figura 35**).

Con la información del modelo estructural cuantitativo se puede estimar la función de la finca (**ver tabla 4**), la que resulta, para nuestro ejemplo que, la producción bruta (salidas del sistema) es de Q 21,239.00, la producción neta (salidas del sistema restándoles las entradas) es de Q 43,176.00 y la eficiencia (salidas dividido dentro de las entradas) es de 3.03; es decir que por cada quetzal que entra, se producen Q 3.03 de salida.

Como ya se había indicado, la función del sistema finca puede realizarse a través de estimar la producción bruta, la producción neta y la eficiencia, y se utilizan como referencia todas las actividades realizadas durante el año calendario. Para estimar la función de uno de los agroecosistemas de la finca, debe utilizarse como referencia el ciclo del cultivo. Por ejemplo, si se cultivan dos ciclos de papa durante el año, debe estimarse la función para cada uno de los ciclos.





resiliencia, lo ideal es tener datos económicos de por lo menos tres años antes de la perturbación y tres años después de ella.

9.5. Elaboración del modelo de proceso

El modelo de proceso sirve para desarrollar y analizar los conocimientos de cada una de las estrategias de manejo utilizadas por el agricultor en su sistema finca. Este modelo resalta la forma en la cual el agricultor define el plan de manejo de su finca.

Los agricultores, en la formulación del plan de manejo de la finca, ya sea que este esté escrito o no, lo primero que hacen es definir sus objetivos y prioridades. Por lo tanto, durante la formulación del modelo de proceso, el primer paso es identificar cuáles son los objetivos y prioridades del agricultor.

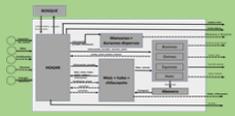
Para los agricultores de subsistencia, la primera prioridad es el abastecimiento estable de alimentos preferidos durante el año y, hasta cierto punto para ellos, no es importante el dinero en efectivo. Ya que no producen excedentes de producción, una de las estrategias utilizadas por el agricultor para obtener dinero en efectivo es la venta de su fuerza de trabajo u otras actividades no agrícolas dentro de la finca, como lo son la fabricación de artesanías. Normalmente, este grupo de agricultores no está dispuesto a afrontar riesgos, por lo que realizar algún cambio en sus estrategias de manejo, resulta sumamente difícil.

Caso contrario ocurre con los agricultores excedentarios y comerciales. De lo que produce cada agroecosistema, muy poco o nada es consumido por el subsistema socioeconómico. En este caso la prioridad es la venta de la producción agropecuaria para la obtención de dinero en efectivo.

Una vez identificados los objetivos y prioridades del agricultor, el siguiente paso consiste en analizar las condiciones en las cuales se ubica el sistema finca, es decir, ¿Cómo influye el ambiente en la forma en la cual el agricultor administra su finca? El ambiente incluye un análisis de los aspectos climáticos, edáficos, el ambiente social (tenencia de la tierra, la composición familiar), el ambiente económico (disponibilidad de capital, acceso a insumos, acceso al mercado, acceso al crédito) y el ambiente institucional (¿las instituciones dedicadas al desarrollo rural y su efectividad influyen significativamente en el plan de manejo del agricultor?).

El siguiente análisis que debe realizarse en el modelo de decisiones es la disponibilidad de recursos con que cuenta el agricultor, aunque no solo la disponibilidad, sino también como están utilizando estos recursos en la actualidad. Por ejemplo, puede contar con una fuente de agua, pero no la utiliza para riego; este es un recurso potencial sin uso actual.

Recordemos que un problema es el resultado de una restricción la cual evita que los agricultores alcancen sus objetivos. Por consiguiente, el otro análisis que se realiza en el modelo de proceso es identificar las restricciones que enfrenta el agricultor, tanto del ambiente como de los recursos.



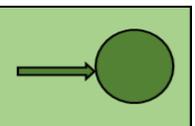
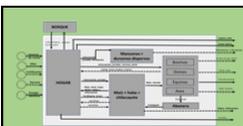
Al final del anterior proceso, se concluye identificando cada una de las estrategias de manejo del agricultor. En esta parte del análisis, se responde a la pregunta: ¿Cómo los agricultores usan sus recursos para alcanzar sus prioridades en el medio ambiente en el cual se desarrollan y dadas las restricciones que enfrentan?

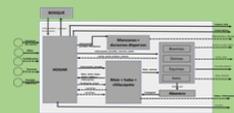
Para cada restricción, el agricultor cuenta con por lo menos una estrategia. Por ejemplo, para un agricultor de subsistencia o, inclusive, para pequeños excedentarios, si el recurso capital es una restricción y debido a ello no puede comprar semilla mejorada de maíz, una estrategia que el agricultor define es seleccionar su propia semilla para el siguiente ciclo del cultivo. Otro ejemplo, si una restricción es del clima, como el riesgo a heladas, una estrategia de agricultores excedentarios o comerciales de tomate es la construcción de invernaderos.

El modelo de proceso es explicativo, ya que busca conocer las causas que originan un fenómeno y puede resumirse en una matriz, como la que se presenta en la **tabla 5**.

Objetivos y prioridades del agricultor	Ambiente	Disponibilidad y uso de recursos	Restricciones	Estrategias de manejo del Agricultor.
<p>¿Cuál es la prioridad del agricultor?</p> <p>a. ¿La primera prioridad del agricultor es el abastecimiento estable de alimentos preferidos durante todo el año?</p> <p>b. ¿Hasta qué punto es importante el dinero en efectivo para el agricultor?</p> <p>c. ¿Qué grado de riesgo están dispuestos a afrontar los agricultores?</p> <p>d. ¿Cuáles son las opciones?: Invertir en la producción o gastar para consumo.</p>	<p>¿Cómo influye el ambiente en la forma en la cual el agricultor administra su finca?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente climático • Ambiente edáfico • Ambiente social (tenencia de la tierra, composición hogareña, división por sexo de las tareas, etc.) • Ambiente económico (mercados, acceso al crédito, insumos, etc.) • Ambiente institucional (instituciones dedicadas al desarrollo rural y su efectividad. 	<p>¿Cuáles son los recursos disponibles y cómo se usan en la actualidad?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tierra • Trabajo • Capital 	<p>¿Cuáles son las principales restricciones que enfrenta el agricultor?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Del ambiente • De los recursos 	<p>Esto es una síntesis de la información: ¿Cómo los agricultores usan sus <u>recursos</u> para alcanzar sus <u>prioridades en el medio ambiente</u> en el cual se desarrollan y dadas las <u>restricciones</u> que enfrenta?</p> <p>Para cada una de las restricciones el agricultor cuenta con por lo menos una estrategia.</p> <p>a. Cuáles son los agroecosistemas seleccionados, con qué grado de importancia y por qué?</p> <p>b. Qué practicas agronómicas se emplean y por qué?</p> <p>c. Cómo se comparan estas con las prácticas recomendadas.</p> <p>d. Porqué el agricultor no sigue las prácticas recomendadas.</p> <p>e. Cómo minimiza el agricultor los riesgos que enfrenta.</p>

Tabla 5. Modelo de proceso, matriz para consolidar la información de los objetivos del agricultor, el ambiente en el que se desarrolla su sistema finca, la disponibilidad y uso de recursos, las restricciones y las estrategias de manejo.





9.6. Elaboración del modelo de decisiones

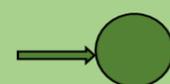
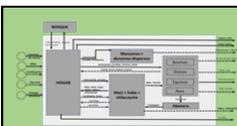
El modelo de decisiones se utiliza para evaluar en forma cualitativa, cada una de las decisiones o estrategias que el agricultor implementa, originadas por las restricciones que enfrenta. Esta evaluación se realiza considerando que el agricultor implemente cada una de las estrategias o decisiones en función de sus circunstancias naturales, circunstancias socioeconómicas o ambas. Por ejemplo, una estrategia del agricultor es seleccionar su propia semilla de maíz para el siguiente ciclo del cultivo. El sustenta esta estrategia (decisión) por circunstancias económicas, ya que no cuenta con los recursos económicos

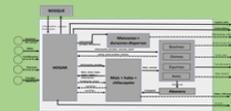
para la compra de semilla mejorada; por circunstancias culturales, ya que es la semilla que ha heredado de sus padres por lo que es un patrimonio familiar; y, por circunstancias naturales, ya que el ciclo de maíz se adapta a las condiciones climáticas del lugar.

Este modelo también sirve para realizar un análisis conjunto entre agricultores, extensionistas e investigadores, sobre las ventajas y desventajas de cada una de las estrategias elegidas por el agricultor. El criterio es que, si la estrategia tiene más ventajas que desventajas puede continuarse con la estrategia; caso contrario, si la estrategia presenta más desventajas que ventajas, debe analizarse un cambio de tecnología o, inclusive, la investigación de una nueva.

Para el ejemplo de la selección que el agricultor hace de su propia semilla de maíz, las decisiones por circunstancias económicas, socioculturales y naturales son válidas, pero una desventaja identificada son los bajos rendimientos en comparación a variedades mejoradas generadas para esas condiciones agroclimáticas. Por ello, un cambio de tecnología puede ser la utilización del método de selección masal en el cultivo de maíz, para pequeños agricultores. Si con este cambio de tecnología persisten los bajos rendimientos, se analizaría la opción de realizar diseños experimentales con variedades mejoradas para evaluar su adaptabilidad a ese dominio de recomendación o, inclusive, la generación de una nueva variedad para ese dominio de recomendación.

El modelo de decisiones también puede elaborarse a través de una matriz en donde se identifican: los objetivos y prioridades del agricultor, la estrategia que se está evaluando, la decisión que toma el agricultor en función de circunstancias socioeconómicas, circunstancias naturales o ambas y, el análisis que realicen los agricultores, extensionistas e investigadores sobre las ventajas o desventajas de la estrategia (**ver tabla 6**, como ejemplo del modelo de decisiones).





Objetivos y prioridades del agricultor	Estrategias	Decisiones por circunstancias naturales	Decisiones por circunstancias socioeconómicas	Ventajas de la estrategia.	Desventajas de la estrategia
Abastecer de maíz a su familia durante todo el año	Selección de su propia semilla de maíz	El ciclo de maíz se adapta a las condiciones climáticas del lugar, especialmente a la entrada y salida del invierno y al período de canícula.	No cuenta con los recursos económicos para la compra de semilla mejorada. Semilla que ha heredado de sus padres por lo que es un patrimonio familiar	Se adapta a las condiciones climáticas del lugar	Bajo rendimiento

Tabla 6. Modelo de decisiones, matriz para realizar la evaluación de las estrategias del agricultor. Ejemplo de análisis.

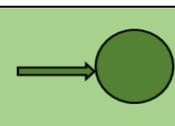
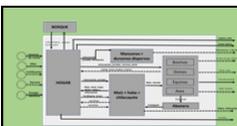
9.7. Elaboración del modelo de causas y problemas

La elaboración del modelo de causas y problemas se realiza a través del enfoque del marco lógico, el cual es una herramienta analítica empleada en la planificación de proyectos y orientada mediante objetivos (Ortegon, Pacheco, & Prieto, 2015).

Esta herramienta puede utilizarse para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos de investigación, asistencia técnica y desarrollo rural. El marco lógico es una herramienta que resume las características principales de un proyecto: diseño e identificación (¿cuál es el problema?), definición (¿qué debemos hacer?), valoración (¿cómo debemos hacerlo?), la ejecución y supervisión (¿lo estamos haciendo bien?) y evaluación (¿lo hemos logrado?).

Para asegurar un buen análisis es necesario, en primer lugar, conocer el problema. Esto es, identificarlo plenamente para poder proponer alternativas de solución que respondan a esas características. Para ello pueden utilizarse las restricciones que se han identificado en el modelo de procesos: de este listado de restricciones es importante identificar el problema central.

Posteriormente, hay que definir los efectos más importantes del problema en cuestión; de esta forma se analiza y verifica su importancia. Se trata, en otras palabras, de tener una idea del orden y gravedad de las consecuencias que tiene el problema detectado, lo cual justifica la búsqueda de soluciones. De acuerdo con lo que se presenta en la figura 35, a partir del problema central, hacia arriba, se identifican los efectos de este.





A partir del problema central, hacia abajo, se identifican y se sigue la secuencia de todas las causas que pueden originar el problema. Es muy importante tratar de determinar el encadenamiento que tienen estas causas. En particular, es necesario tratar de llegar a las causas primarias e independientes entre sí que, se piensa, están originando el problema. Mientras más raíces se puedan detectar en el árbol de causas, más cerca se estará de las posibles soluciones que se deben identificar para superar la condición restrictiva que se ha detectado (ver un ejemplo de modelo de causas y problemas en la figura 36).

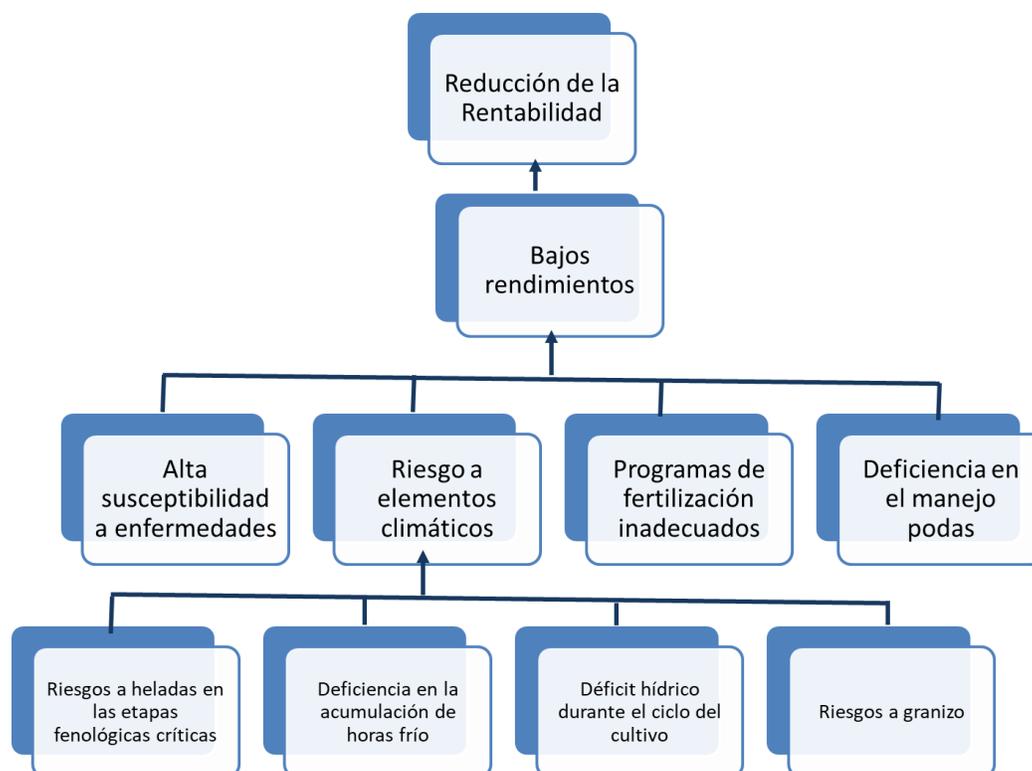
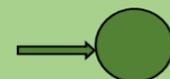
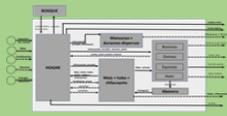


Figura 36. Ejemplo de árbol de problemas en frutales caducifolios

Después de la elaboración del árbol de problemas, este debe transformarse en el árbol de objetivos. Este proceso consiste en cambiar todas las condiciones negativas del árbol de problemas a condiciones positivas que, se estime, son deseadas y viables de ser alcanzadas. Al hacer esto, todas las que eran causas en el árbol de problemas, se transforman en medios en el árbol de objetivos; los que eran efectos se transforman en fines y lo que era el problema central se convierte en el objetivo central o propósito del proyecto (ver figura 37)

En la definición de los niveles de objetivos en el marco lógico, debe tenerse especial cuidado al pasar de la especificación de los componentes al propósito del proyecto. La definición del propósito del proyecto se debe hacer en términos hipotéticos; es algo que debe ocurrir, es un resultado esperado. De acuerdo con el enfoque del marco lógico, el “propósito es la hipótesis central del proyecto”. De este modo, el propósito debe





entenderse como un resultado no controlable por el ejecutor. Es, en definitiva, lo que debería ocurrir como resultado directo de utilizar los componentes.

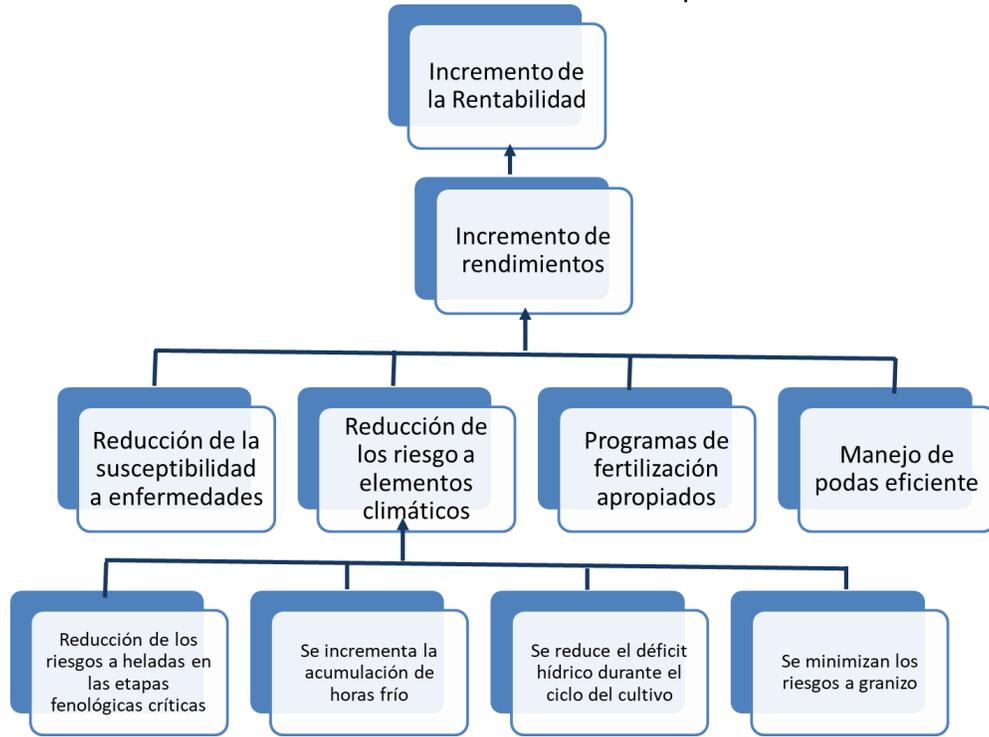
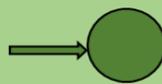
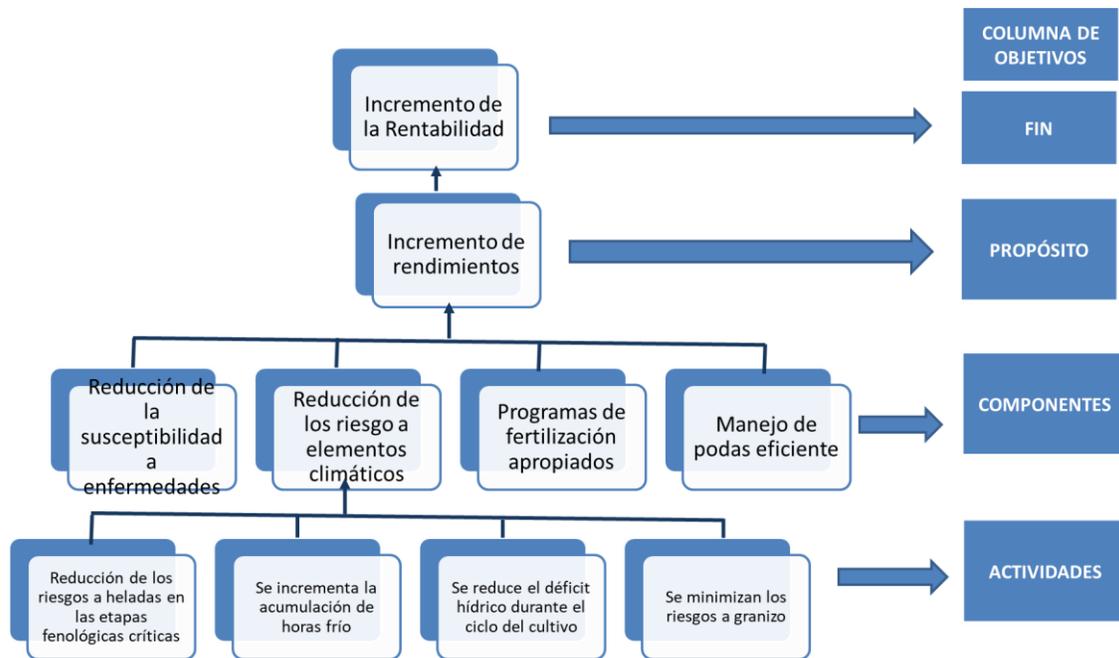


Figura 37. Ejemplo de árbol de objetivos en frutales caducifolios

Los objetivos de la intervención se redactan a nivel de fin, propósito y componentes y, de igual manera, se precisan las actividades del proyecto (ver figura 38).



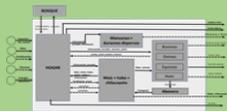


Figura 38. Ejemplo de árbol de objetivos en frutales caducifolios y su relación con la columna de objetivos.

El proceso concluye con la elaboración de la matriz del marco lógico (ver tabla 7).

RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES	FUENTES DE VERIFICACION
OBJETIVO GENERAL	Cómo se puede medir: el logro del objetivo general	Por medio de que se puede medir: el logro del objetivo general
OBJETIVO ESPECÍFICO 1	el logro del objetivo específico	El logro del objetivo específico
RESULTADOS	el logro de los resultados	El logro de los resultados
ACTIVIDADES	el logro de las actividades	El logro de las actividades

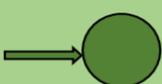
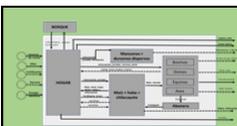
Tabla 7. Matriz del marco lógico.

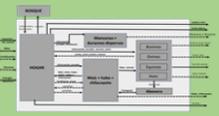
9.8. Validación y modificación del modelo

La validación es un proceso de comparación de un modelo con la realidad (sistema real). La **validación** verifica la precisión de la representación del **modelo** del sistema real. La **validación del modelo** se define como "justificación de que un **modelo** dentro de su dominio de aplicabilidad posee un rango de precisión satisfactorio consistente con la aplicación prevista 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 cualitativo es un conjunto de hipótesis relacionadas con la estructura del sistema finca (cuáles son los agroecosistemas, cuáles son sus interacciones, que flujos entran y cuales salen).

Con la información socioeconómica, se puede validar la función de la finca al convertir el modelo estructural cualitativo en cuantitativo.





9.9. Simulación

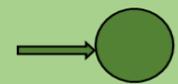
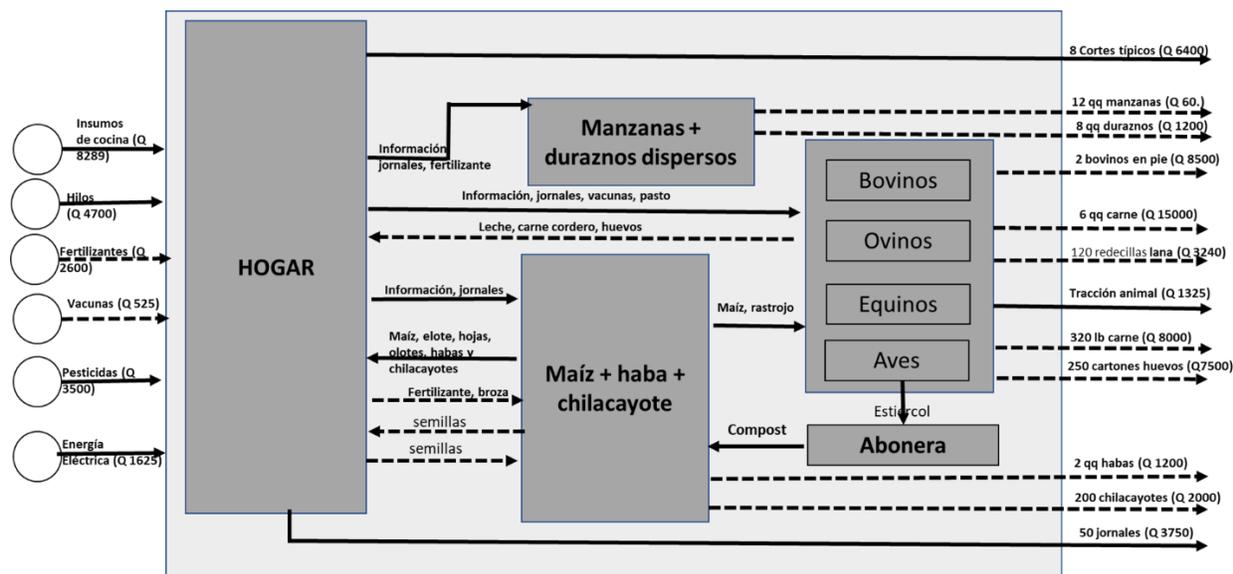
El modelado o modelaje puede considerarse como un método eficiente para reducir y entender la complejidad de los sistemas. Un modelo de simulación es un conjunto de ecuaciones que representa procesos, variables y relaciones entre variables de un fenómeno del mundo real y que proporciona indicios aproximados de su comportamiento bajo diferentes manejos de sus variables, los cuales, permiten abordar una cuestión puramente teórica, en cuyo caso su finalidad es puramente teórica, o una situación real, orientado a dar una respuesta concreta, formalizar en un modelo de simulación nuestra percepción del fenómeno real y simular el efecto de diferentes alternativas.

Por lo tanto, la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento de este.

Por ejemplo, para el caso de una finca con ganado de leche, ¿cuáles serían los cambios en la función de la finca, si se sustituyeran el ganado bovino criollo por una raza lechera como la Holstein?

Para el caso del modelo cuantitativo del sistema finca de Paxtocá, Totonicapán, ¿cuál será la función de este sistema si se eliminara la relación de la finca con el bosque que se encuentra fuera de esta finca?

Al modelo cuantitativo presentado en la figura 35, se le ha eliminado las entradas y salidas que tenía del sistema bosque, asumiendo que el agricultor ya no tuvo acceso a este. La hipótesis que se planteaba es que la alta eficiencia de este sistema finca se debía a las interacciones con el bosque (ver figura 39 y tabla 8).



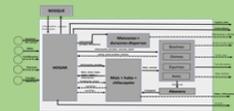


10. BIBLIOGRAFÍA

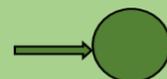
- Bertalanffy, L. (1989). *Teoría General de los Sistemas* (Primera en español ed.). (J. Almela, Trad.) México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- de Micheli, A. (2005). William Harvey y los inicios de la ciencia médica moderna. *Gaceta Médica de México*, 141(3). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132005000300012
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra latinoamericana*, 35(2), 35. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n2/2395-8030-tl-35-02-00149.pdf>
- FAO. (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza*. Recuperado el febrero de 2021, de http://www.fao.org/farmingsystems/index_es.htm
- Godwin, H. (1997). Arthur George Tansley, 1871-1955. *The Royal Society*, 3. Obtenido de <https://doi.org/10.1098/rsbm.1957.0016>
- Harrington, L., & Tripp, R. (1984). *Dominios de recomendación: un marco de referencia para la investigación en fincas*. México D.F.: CIMMYT.
- Hart, R. (1985). *Agroecosistemas. Conceptos básicos*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Holdridge, L. R. (2000). *Ecología basada en zonas de vida* (Primera, quinta reimpresión ed.). (H. Jiménez Saa, Trad.) San José Costa Rica, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Johansen Bertoglio, O. (2004). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. México: Limusa.
- Machado, H., Martín, G., & Funes, F. (2009). Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana. *Pastos y Forrajes*, 32(3).
- Martínez, B. C., Ruiz Rosado, O., Gallardo López, F., Pérez Hernández, P., Becerra Martínez, Á., & Vargas Villamil, L. (2011). APLICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN EL ESTUDIO Y PLANIFICACIÓN DE LA AGRICULTURA, UNA REVISIÓN. *Tropical and Subtropical Agroecosystems (online)*, 14(3), 999-1010. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n3/v14n3a4.pdf>
- Morin, E. (2000). *La mente bien ordenada*. México: Siglo XXI.
- Odum, E. (1972). *Ecología* (Tercera ed.). (C. G. Ottenwaelder, Trad.) México, D.F., México: Interamericana.

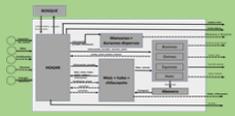


- Ortegon, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf
- Paleologos, M. F., Iermanó, M. J., Blandi, M. L., & Sarandón, S. J. (10 de abril de 2017). Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la agroecología. *Redes*, 22(2), 24. doi:10.17058/redes.v22i2.9346
- Sanz, R. M. (7 de marzo de 2021). *¿Qué es la entropía? Origen de uno de los términos físicos más fascinantes*. Recuperado el marzo de 2021, de <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/entropia-origen-terminos-fisicos-fascinantes-815797>
- Sutton, D., & Harmon, N. (1976). *Fundamentos de Ecología*. México, D.F.: Limusa.
- Urteaga, E. (2010). La teoría de sistemas de Niklas Luhmann. *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, XV, 301 - 317. Obtenido de <https://www.uma.es/contrastes/pdfs/015/ContrastesXV-16.pdf>



ANEXOS





Anexo 1. Modelo para registros de los costos de producción de un sistema finca (modelo proporcionado por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA)).

Registro de labores

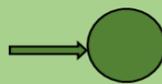
Registro de labores															
Nombre quien llena formulario										Tenencia					
Nombre del agricultor										Cultivo					
Variedad										Área					
Departamento										Municipio					
Comunidad															
Actividad en la parcela de arroz	Fecha	Área practicada (ha, mz, otra)	Mano de obra												Oservaciones
			Familiar						Contratada						
			Número de jornales			Costo por jornal (Quetzales)			Número de jornales			Costo por jornal			
			Hombre	Mujer	Niño	Hombre	Mujer	Niño	Hombre	Mujer	Niño	Hombre	Mujer	Niño	

Registro de insumos

Registro de insumos								
Nombre quien llena formulario						Tenencia		
Nombre del agricultor						Cultivo		
Variedad						Área		
Periodo de producción								
Departamento						Municipio		
Comunidad								
Insumo	Fecha de compra	Área aplicada (manzanas)	Tipo o Marca	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total	Oservaciones

Registro de equipo e instalaciones

Equipo e instalaciones						
Nombre quien llena formulario				Tenencia		
Nombre del agricultor				Cultivo		
Variedad				Área		
Departamento				Municipio		
Comunidad						
Equipo, herramientas e instalaciones	Fecha de compra	Cantidad	Costo unitario	Duración en años (vida útil)	Tiempo de uso en años	Oservaciones



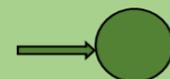


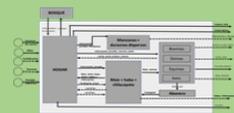
Registro de la venta de la producción y su destino

Destino de la producción								
Nombre quien llena formulario					Tenencia			
Nombre del agricultor					Cultivo			
Variedad					Área			
Departamento					Municipio			
Comunidad								
Producto/subproducto	Fecha	Consumo en Finca			Venta			Observaciones
		Cantidad	Unidad de medida	Precio de oportunidad	Cantidad	Unidad de medida	Precio de venta	

Registro para pago de transporte

Transporte						
Nombre quien llena formulario				Tenencia		
Nombre del agricultor				Cultivo		
Variedad				Área		
Departamento				Municipio		
Comunidad						
Tipo de traslado	Fecha	Motivo	Tipo de costo	Costo total	Observaciones	





Anexo 2. Ejemplo para la determinación de la función de una finca y de un agroecosistema.

La finca *La Soledad*, es administrada por el señor Juan Pérez y su familia. Está conformada por los agroecosistemas maíz y frijol en monocultivo y el agroecosistema conformado por gallinas.

Durante el año 2021, don Juan compró para su ciclo de cultivo: 18 quintales de fertilizante (equivalente a Q 4,500.00), pesticidas en general por un monto de Q 4,000.00, 100 pollonas (a Q 60.00 cada una), concentrado para gallinas por un total de Q 12,000.00), vacunas para las aves (por Q 2,000.00), 5 quintales de semilla de maíz (por un total de Q 2,000.0) y 50 libras de semilla de frijol (por Q 500.00).

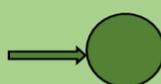
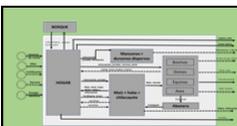
El agroecosistema maíz produjo 500 quintales de maíz, de los cuales vendió 400 quintales a Q 200 cada quintal, la familia consumió 10 quintales y se utilizaron 90 quintales para alimentación de gallinas. El agroecosistema frijol produjo 75 quintales de frijol, de los que se vendieron 70 quintales a Q 500.00 cada quintal y se consumieron en la finca 5 quintales. Del agroecosistema gallinas, se vendieron 1000 cartones de huevos al año (a Q 25.00 cada cartón) y se consumieron en la finca 25 cartones.

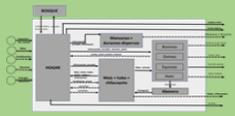
Del componente socioeconómico, sale para el componente gallinas: 100 pollonas por un valor de Q6,000.00, concentrado por un valor de Q 12,000.00, vacunas por un valor de Q 2,000.00, asistencia técnica por un valor de Q 3,000.00 y mano de obra familiar por un valor de Q 10,000.00

En el 2021 don Juan vendió su fuerza de trabajo fuera de la finca cuando no tuvo actividades por Q 24,000, contrató a la Ingeniera Katherine Miranda por asistencia técnica y le pagó al año Q 12,000.00. Además, pago por servicio de energía eléctrica Q 3,000.00 y dio un aporte de Q 12,000.00 como pago de un crédito agrícola

Para la finca *La Soledad*, estime la producción bruta de la finca, la producción neta y la eficiencia de la finca

Para el agroecosistema gallinas, estime la producción neta y la eficiencia del agroecosistema





Estimación de la función de la finca La Soledad

ENTRADAS A LA FINCA				SALIDAS DE LA FINCA			
Producto	Cantidad	Precio	Total	Producto	Cantidad	Precio	Total
Fertilizante	18 qq	250	4,500.00	Maíz	400 qq	200	80,000.00
Pesticidas			4,000.00	Frijol	70 qq	500	35,000.00
Pollonas	100	60	6,000.00	Huevos	2000	30	60,000.00
Concentrado	25 qq	480	12,000.00	Venta jornales	150	100	15,000.00
Vacunas			2,000.00				
Semilla de maíz	5 qq		2,000.00				
Semilla de frijol	50 lb	10	500				
Asistencia Técnica			12,000.00				
Energía eléctrica			3,000.00				
Pago crédito agrícola			12,000.00				
TOTAL			58,000.00	TOTAL			190,000.00

a. Producción bruta:

PB = Q 190,000.00

b. Producción neta = Salidas menos las entradas

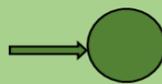
PN = Q 190,000.00 – Q 58,000.00 =

PN = Q 132,000.00

c. Eficiencia = Salidas /entradas

E = 190,000/58,000

E = 3.27 (es decir que por cada Quetzal que entra a la finca, salen 3.27, lo que significa que es un sistema finca bastante eficiente)



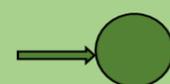


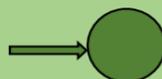
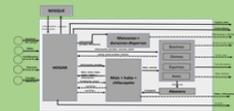
Estimación de la función del agroecosistema gallinas de la finca la Soledad

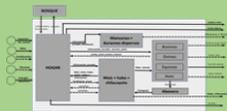
ENTRADAS AL AGROECOSISTEMAS GALLINAS				SALIDAS DEL AGROECOSISTEMAS GALLINAS			
Producto	Cantidad	Precio	Total	Producto	Cantidad	Precio	Total
Pollonas	100	60	6,000.00	Huevos	2050	30	61,500.00
Concentrado			12,000.00				
Vacunas			2,000.00				
Maíz	90	200	18,000.00				
Asistencia Técnica			3,000.00				
Mano de obra			10,000.00				
TOTAL			51,000.00	TOTAL			61,500.00

- a. Producción bruta: Q 61,500.00
PB = Q 61,500.00
- b. Producción neta: = Salidas menos las entradas
PN = Q 61,500.00 – Q 51,000.00 =
PN = Q 10,500.00
- c. Eficiencia = Salidas/entradas
E = 61,500/51,000
E = 1.2

Análisis: la eficiencia del agroecosistema es 1.2, es decir que por cada Quetzal que entra al agroecosistema, sale 1.20. Se puede apreciar que es un agroecosistema poco eficiente comparado con la eficiencia general de la finca que es de 3.27. Por ello, debe evaluarse la estrategia de manejo del agricultor y realizarse algunos cambios de tecnología, por ejemplo, si las gallinas son criollas, sustituir las por gallinas ponedoras o, inclusive, un cambio de agroecosistema. El modelo de decisiones puede dar la pauta para tomar acciones.







Dr. Héctor Obdulio Alvarado Quiroa



El autor es ingeniero agrónomo por la División de Ciencia y Tecnología del CUNOC-USAC; Maestro en Ciencias en Agricultura Sostenible y de los Recursos Naturales por la Universidad Rafael Landívar; Maestro en Ciencias en Administración de Tierras para el Desarrollo Sostenible por la Facultad de Agronomía USAC; Doctor en Ciencias Naturales con énfasis en gestión y cultura ambiental por el Programa Interuniversitario de Postgrado DOCINADE.

Ha participado en diversos cursos desarrollados por prestigiosos centros de especialización, destacando entre ellos los siguientes:

- Facultad de la Geoinformación y Ciencias de la Observación de la Tierra (ITC) Universidad de Twente, Holanda;
- Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG, para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS);
- Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia;
- Universidad de las Fuerzas Armadas Ecuador;
- Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador.
- Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial de la Universidad Autónoma Chapingo.

Ha desempeñado varios cargos académicos, destacando el de director de la División de Ciencia y Tecnología (de la cual aún es profesor titular), Director Académico y miembro del Consejo Directivo, todos ellos en el Centro Universitario de Occidente CUNOC.

Ha sido consultor para diversas instituciones como FAO, IICA, CATHALAC, RIMISP y RELASER, entre otras.

halvarado@cunoc.edu.gt

