

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA

VOLUMEN 2

NUMERO 2

COMPARACION DE PRACTICAS DE RESIEMBRA DE PASTIZALES
EN EL NORTE DE ZACATECAS

EUSEBIO RODRIGUEZ
ROBERTO NAVA C.
JUAN GASTO C.

ESTRUCTURAS DE ESCURRIMIENTO Y CAPTACION EN PASTIZALES
RESEMBRADO EN EL NORTE DE ZACATECAS

RAYMUNDO AGUIRRE DE L.
JUAN GASTO C.
ROBERTO NAVA C.

ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACION DE LAS ZONAS
ARIDAS

ROBERTO NAVA C.
JUAN GASTO C.
ROBERTO ARMIJO T.



MARZO, 1976
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

ALTERNATIVAS DE TRANSFORMACION DE LAS ZONAS ARIDAS

Roberto Nava C.*

Juan Gastó C.**

Roberto Armijo T.***

I N T R O D U C C I O N

El objetivo del presente trabajo es presentar en forma condensada algunos aspectos fundamentales relacionados con la transformación de ecosistemas de las zonas áridas. Una parte del material que aparece en este estudio ha sido publicado en mayor amplitud en otros trabajos de esta serie.

La transformación de los ecosistemas del árido no debe ser realizada al azar ó intuitivamente basándose solamente en experiencias personales u opiniones de personas que pudieran conocer en mejor forma alguna localidad. En el presente trabajo, se pretende enfatizar que la transformación es un proceso que se base en principios y leyes de validez

° Proyecto de investigación del Campo Experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas, de la UAA"AN".

* Ingeniero Agrónomo, Profesor de Climatología e Investigador en Ecología y Pastizales. Div. de Ciencia Animal. Departamento de Recursos Naturales Renovables, UAA"AN".

** Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D., Profesor de Ecología y de Manejo de Pastizales. Div. de Ciencia Animal, Departamento de Recursos Naturales Renovables, UAA"AN".

*** Físico-Matemático, M.S., Profesor de Matemáticas y Física, Div. de Ingeniería, Departamento de Matemáticas, UAA"AN".

universal. Es por ello que debe existir un marco conceptual dentro del cual se planifique la transformación, luego de compararse sistemáticamente las diversas alternativas y rutas de manera de poder elegir aquellas que se aproximen al óptimo. Lo anterior, se relaciona además, con los trabajos de investigación en el terreno que realiza la Universidad.

ANTECEDENTES

Una de las mayores dificultades que encuentran los especialistas en ciencias silvoagropecuarias en regiones áridas es definir y delimitar la unidad ecológica con la cual se trabaja. Ello es en sí un problema básico que debe ser resuelto con anterioridad al estudio detallista de cada uno de los elementos que componen esta unidad. El hombre, a pesar de tener una larga historia evolutiva como integrante de la biósfera, no ha logrado aún adquirir un conocimiento cabal del papel que le corresponde desempeñar en la naturaleza ni del efecto que su acción produce sobre los recursos naturales.

Por tratarse de un tópicó básico en el estudio y resolución de problemas del árido se ha comenzado este trabajo definiendo y describiendo lo que se entiende por ecosistema. La comprensión y solución de los problemas silvoagropecuarios se inicia con el conocimiento detallado e integral del ecosistema donde se considera a cada uno de los componentes como un elemento más del complejo holocenósico (Gómez-Pompa, 1975; Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

Los ecosistemas naturales del desierto son el residuo o remanente que resulta luego de la cosecha, a menudo descontrolada del ecosistema original. Luego de un período prolongado de explotación descontrolada del árido, la resultante es la retrogradación del ecosistema natural y su transformación en estados inferiores que, a menudo, se caracterizan por la dominancia de especies invasoras poco deseables y por la destrucción del ecotopo (Armijo, Nava y Gastó, 1976).

Una de las decisiones de mayor incidencia en el éxito de la utilización del recurso natural renovable en las zonas áridas, es la elección de la arquitectura que se le dé al ecosistema (Hernández, 1970 y Martínez y Maldonado, 1973). Si esta decisión se hace equivocadamente, todo lo que el usua

rio haga a continuación no rendirá los beneficios que es posible obtener, aunque las técnicas de explotación sean óptimas (Gastó y Gastó, 1970).

Simultáneamente con determinarse la arquitectura del sistema debe establecerse su uso múltiple, ya que una misma arquitectura puede ser utilizada simultáneamente para diversos fines (Dasman, 1968).

El uso múltiple de los ecosistemas terrestres (McArdle, 1960; McClosley, 1961; Gastó y Gastó, 1970, incluye las siguientes alternativas, que pueden ser simultáneas o independientes: frutales, cultivos, cultivos forrajeros, fauna silvestre, recreación, praderas, urbano-industrial, cultivos forestales, bosques y producción de agua.

La elección del uso o combinación de ellos en cada ecosistema debe ser aquel además de conservar el recurso natural produzca el máximo (Cliff, 1960). Es necesario comparar las alternativas de uso del árido en forma amplia, donde se considere a toda la gama de alternativas de cultivos, ecocultivos y ecosistemas naturales en todo su dominio espacial y en el tiempo. Además de las características intrínsecas, debe contener atributos dinámicos, fisiográficos y otros que se incluyen en la génesis del ecosistema y modifican el potencial productivo del ecosistema (Stephens, 1961 y Austin, 1972).

LA ZONA ARIDA COMO ECOSISTEMA

El ecosistema es un arreglo de componentes bióticos y abióticos, o un conjunto o colección de elementos que están conectados o relacionados de manera que actúan o constituyen una unidad o un todo (Figura 1). Conexión y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía e información (Becht, 1974; Distefano et al., 1967; Odum, 1972; Maynes, Armijo y Gastó, 1975).

Desde el punto de vista filosófico, la principal dificultad que emana del concepto de ecosistema es su holismo. El ecosistema es tan complejo que en la práctica se tiende a simplificarlo en exceso (Maelzer, 1965a).

El ecosistema ha sido estudiado desde varios puntos de vista, entre los que está el merológico, en el cual se estudia el ecosistema a partir de sus partes para tratar de integrarlo en un todo (Odum, 1972). El otro punto de vista es el holológico u holístico, en el cual el ecosistema se trata como una caja negra y se infiere sobre sus componentes y arreglo topológico determinándose su comportamiento en base a la relación entre los estímulos y las respuestas.

El método holístico es, posiblemente, el que ofrece el punto de vista más apropiado para el análisis de los problemas ecosistémicos. La conveniencia de su aplicación en base al uso de herramientas tan útiles y formales como la matemática, cibernética, procesamiento electrónico de datos y otras, permite considerar las posibles consecuencias de las combinaciones de los elementos y arreglos de un sistema.

El análisis de sistemas de modelos homomórficos de simulación y el uso de computadoras electrónicas permite el estudio predictivo de la respuesta conociéndose el estímulo, los elementos y el arreglo topológico del sistema. Ahora bien, para estudiar el ecosistema desde el punto de vista holístico es necesario tener en claro el concepto de caja negra, así como determinar su comportamiento.

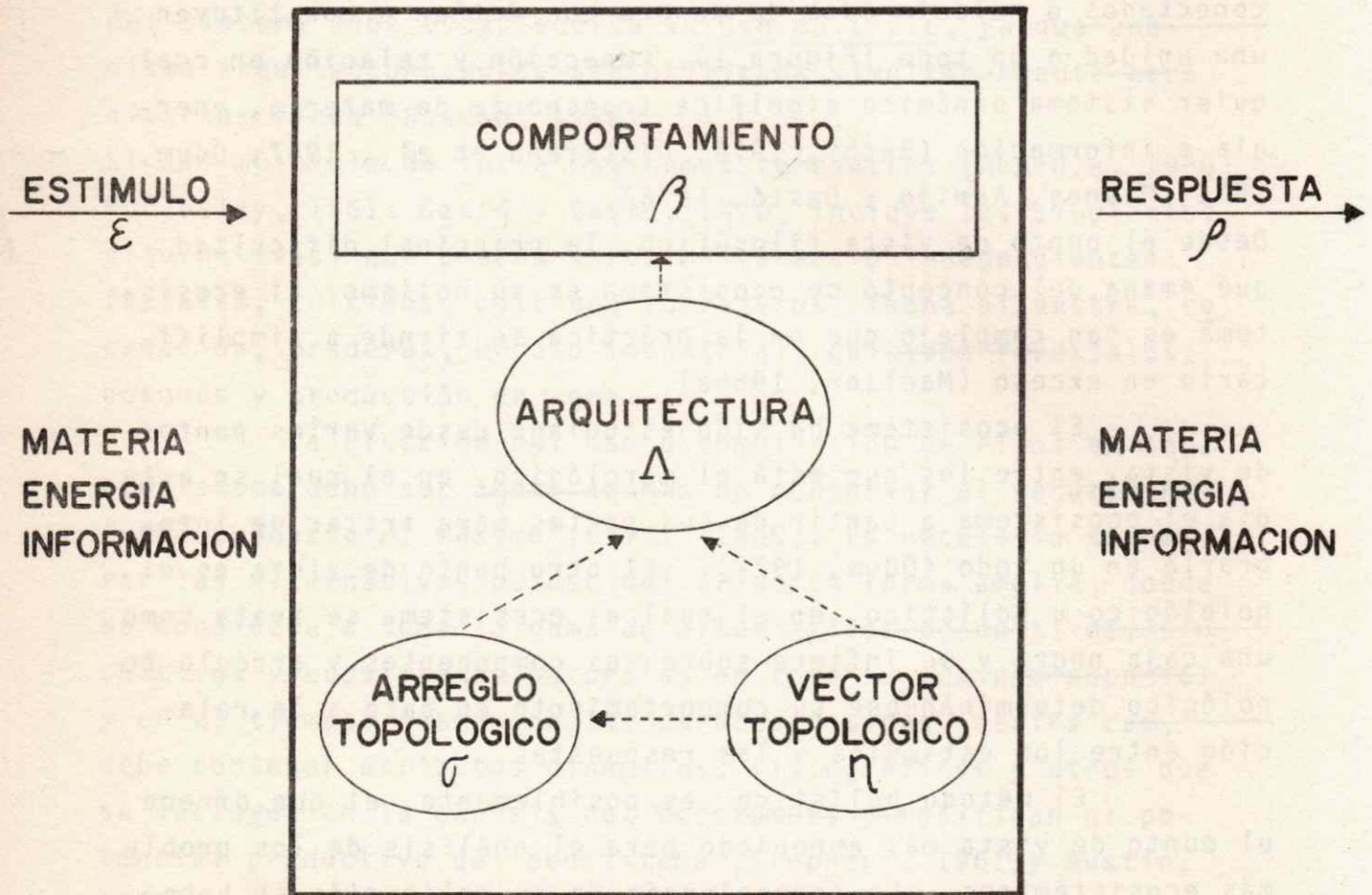


Figura 1. Modelo homomorfo del ecosistema origen y sus componentes homomórficos.

La unidad básica homogénea de la naturaleza está dada por el ecosistema origen (Figura 2).

El ecosistema origen E_i^j está definido por:

$$\rho = \rho(\varepsilon, \beta) \text{ -----(1)}$$

$$\beta = \beta(\varepsilon, \Lambda) \text{ -----(2)}$$

$$\Lambda = \Lambda(\eta, \sigma) ; \sigma = \sigma(\eta) \text{ -----(3)}$$

Ningún sistema ecológico es completamente independiente (Evans, 1956). Todos ellos reciben desde afuera recursos y elementos del habitat y de la biocenosis y liberan otros. No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados pues los límites entre una unidad de micro-ecosistema en relación a las vecinas no son nítidos y por lo tanto, lo que le ocurre a uno afecta, en alguna forma a todos los demás. La biósfera del planeta tierra funciona integradamente.

El ecosistema origen E_i^j está integrado por cuatro componentes, que son a su vez ecosistemas en otro nivel de integración:

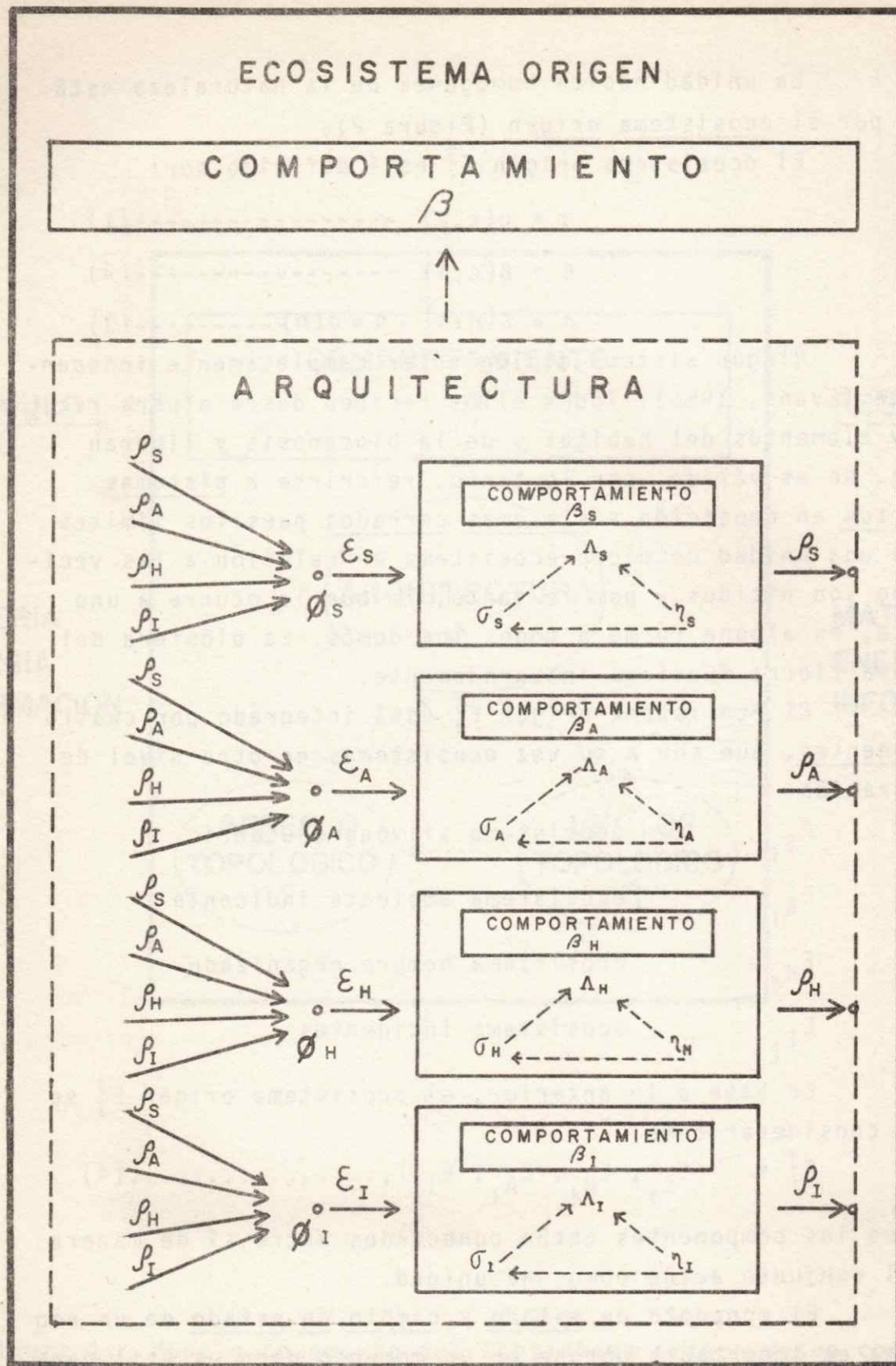
E_{S_i}	ecosistema silvoagropecuario
E_{A_i}	ecosistema ambiente indicente
E_{H_i}	ecosistema hombre organizado
E_{I_i}	ecosistema incidentes

En base a lo anterior, el ecosistema origen E_i^j se puede considerar como:

$$E_i^j = \{E_{S_i}, E_{H_i}, E_{A_i}, E_{I_i}\}, \dots \text{ (4)}$$

tal que los componentes están conectados entre sí de manera que el conjunto actúe como una unidad.

El concepto de estado y cambio de estado de un ecosistema es importante porque en un momento dado es útil para conocer las condiciones específicas en las que se encuentra el



ρ_S

ρ_A

ρ_H

ρ_I

Figura 2. Representación gráfica del ecosistema origen, indicándose la relación estímulo-respuesta de sus componentes.

sistema observable y las transformaciones del mismo por unidad de tiempo. El estado del sistema se define por sus componentes o arquitectura y sus procesos o funcionamiento.

Estado de un sistema es el modo o condición de existir. En ciencias de sistemas, el estado usual está dado en una definición operacional en términos de variables de estado. En otras palabras, el estado de un sistema es la condición de las variables de estado, estando definidas por sus partes componentes, atributos observables o agrupamiento arbitrario de partes (Patten, 1971).

El estado de un sistema $E(t)$, según Patten (1971), con n componentes y x_i variables de estado, se define por la siguiente ecuación:

$$E(t) = \{ x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t) \} \dots \dots \dots (5)$$

donde cada variable de estado es una función del tiempo t .

Los vectores de estado están dados por:

$$f_i = (x_1, x_2, \dots, x_n); \quad \vec{c} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

Los vectores de estado (f_i) a diferencia de un conjunto de variables de estado (x_i) tienen un orden definitivo en la enumeración de sus componentes. Las variables de estado pueden corresponder a cualquiera observable del ecosistema tales como textura, pendiente, potencial hídrico, densidad de plantas, etc. Algunas de estas variables afectan en mayor grado al vector y se les denomina pertinentes; las restantes corresponden a las impertinentes.

Si $E(t)$ es el estado de un sistema al tiempo t , dado por las variables de estado, entonces el estado futuro al tiempo $t+1$ puede ser representado como:

$$E(t+1)$$

Si por lo menos, una de las n variables de estado ha cambiado durante este intervalo de tiempo, entonces:

$$E(t) \neq E(t+1)$$

y la ecuación de tasa de cambio para la variable de estado x_1 ; se expresa como:

$$\frac{\Delta X_i}{\Delta t} = \frac{X_i(t+\Delta t) - X_i(t)}{\Delta t}$$

En general, es factible definir el estado E de un ecosistema en términos del triplete (ϵ, β, ρ) , dado en las ecuaciones (1)...(3):

$$\rho = \rho(\epsilon, \beta)$$

$$\beta = \beta(\epsilon, \eta)$$

$$\Lambda = \Lambda(\eta, \sigma) ; \sigma = \sigma(\eta)$$

Estas ecuaciones generales determinan el estado de un sistema en términos de:

su estímulo ϵ ,

el comportamiento β , y

su arquitectura Λ , determinada esta a la vez,

por su arreglo topológico σ , y

el número y dimensión de los componentes η .

Cabe mencionarse que tanto ϵ , β y ρ dependen implícitamente del tiempo, que en su acepción más amplia, representa procesos estocásticos.

En términos generales, se puede afirmar que los ecosistemas dependen en su comportamiento, tanto de su arquitectura o anatomía y morfología y de su funcionamiento o fisiología, que fijan junto con los estímulos, la respuesta del sistema. El estado del sistema silvoagropecuario puede fluctuar dentro de márgenes muy amplios, pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio detenido de su estado inicial y de su transformación llevada a cabo con un criterio de

optimización antropogénica (Maynez, Armijo y Gastó, 1975). El estado de cada uno de estos componentes del ecosistema origen, está definido por las mismas formas funcionales de las ecuaciones (1)...(3); en otras palabras: E_{S_i} está definido por:

$$\rho_S = \rho_S(\epsilon_S, \beta_S) \text{ -----(7)}$$

$$\beta_S = \beta_S(\epsilon_S, \Lambda_S) \text{ -----(8)}$$

$$\Lambda_S = \Lambda_S(\eta_S, \sigma_S) \sigma_S = \sigma_S(\eta) \text{ -----(9)}$$

y similarmente para E_{A_i} , E_{H_i} , y E_{I_i} .

Las conexiones de los componentes E_{S_i} , E_{H_i} , E_{A_i} , E_{I_i} están regidas por cierta forma funcional ψ que relaciona el estímulo ϵ de cada componente con las respuestas (Figura 2); es decir:

$$\epsilon_S = \phi_S(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \text{ -----(10)}$$

$$\epsilon_H = \phi_H(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \text{ -----(11)}$$

$$\epsilon_A = \phi_A(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \text{ -----(12)}$$

$$\epsilon_I = \phi_I(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \text{ -----(13)}$$

El conjunto ordenado de variables de estado de un ecosistema constituye la arquitectura, que consta de cuatro subconjuntos de componentes isomórficos fundamentales:

Ecotopo o recursos abióticos

Habitat o constricciones del ambiente físico

Autotrofocenos o comunidad de fotosintetizadores

Heterotrofocenos o comunidad de consumidores

Ningún ecosistema es absolutamente independiente de los demás y su funcionamiento y estructura están regulados por la tasa de aportes y pérdidas de elementos desde o hacia el ambiente circundante, los ecosistemas vecinos, o el hombre organizado. El cambio de estado de los componentes del siste-

ma ocurre a través del intercambio de estímulos. Los estímulos a los que está condicionado el ecosistema origen son (Becht, 1974):

Materia
Energía, e
Información

El ordenamiento de las variables o arreglo del ecosistema está representado por los niveles de integración y por la organización topológica (Caswell et al., 1972). Simbólicamente se puede representar como:

$$\sigma (\eta)$$

donde: σ representa el arreglo topológico, y η el tamaño de las variables de estado que le integran.

La respuesta del ecosistema corresponde a la antítesis de los estímulos y, como tal, debe también ser: materia, energía e información.

Un sistema ecológico esta integrado por organismos y ambiente y se caracteriza por tener un número considerable de propiedades y atributos, algunas de las cuales no merecen, bajo algunas circunstancias, ser estudiadas. Cualquier propiedad pertinente que se seleccione entre las mínimas necesarias para la descripción del sistema puede denominarsele observable. El complejo de observables puede denominarsele estado del sistema (Maelzer, 1965b). En el caso que los observables cuantificados correspondan a las variables y a los estados y cambios de estado, el sistema se puede representar numéricamente en funciones algebraicas (Harre, 1960), de manera que permitan describir a los vectores de estado del sistema.

La integración de la biocenosis con el medio abiótico constituye el ecosistema, y la integración de los ecosistemas del globo forma la biosfera. El concepto de ecosistema involucra, por lo tanto, la existencia de una estructura o arquitectura integrada por elementos de naturaleza biótica y abiótica.

ca y de un funcionamiento ordenado de esta unidad. La acción que se ejerce sobre el ecosistema, por períodos cortos o largos de tiempo, se traduce en una reacción que termina por modificar la arquitectura y por consiguiente, su funcionamiento. Ello es la dinámica del ecosistema, que corresponde ser estudiada dentro del tema de sucesiones ecológicas o singenética.

Por definición de arquitectura se tiene que:

$$\Lambda = \Lambda(\eta, \sigma), \text{ con} \\ \Lambda(\eta, \sigma) = \{\sigma(\eta)\}_\eta \text{ -----(14)}$$

El conjunto $\{\sigma(\eta)\}_\eta$ que contiene n elementos, se puede particionar en dos subconjuntos mutuamente excluyentes, tales que:

$$\{\sigma(\eta)\}_\eta = \{\sigma_R(\eta)\}_K + \{\sigma_V(\eta)\}_{\eta-K} \text{ -----(15)}$$

El primer conjunto $\{\sigma_R(\eta)\}_K$ representa el conjunto de elementos topológicos reales que constituyen la arquitectura, y el segundo conjunto, $\{\sigma_V(\eta)\}_{\eta-K}$ representa el conjunto de elementos virtuales de Λ . Puesto que los elementos que integran los dos subconjuntos pertenecen a clases diferentes, la unión de estos subconjuntos se puede reagrupar como:

$$\{\sigma_R(\eta)\} + \{\sigma_V(\eta)\} = \{(\sigma_R + \sigma_V)\}_\eta$$

pudiéndose escribir la ecuación (14) como:

$$\Lambda(\eta, \sigma) = \{(\sigma_R + \sigma_V)\}_\eta \text{ -----(16)}$$

Los componentes reales $\{\sigma_R\}$ se pueden a su vez subdividir en tres subconjuntos, a saber:

$$\{\sigma_R\} = \{\sigma_E\} + \{\sigma_T\} + \{\sigma_H\}$$

representando el conjunto de variables de estado del ecotopo, autotrofocenos y heterotrofocenos, respectivamente.

El conjunto virtual $\{\sigma_V\}$ representa el conjunto de variables de estado que actúan por presencia sobre las

otras, sin intervenir de una manera directa, es decir, se comporta como catalizadores del ecosistema; en otras palabras el conjunto de elementos virtuales de arquitectura esta dado por el subconjunto de elementos de habitat $\{\sigma_A\}$.

Un conjunto de variables de estado x_i , ordenadas en cierta forma y satisfaciendo ciertos requerimientos constituyen un vector. Este vector ó eneada representa el argumento de una función vectorial cuyas variables son las variables de estado.

La figura 3 representa un modelo homomorfo de funcionamiento del ecosistema. En este modelo, para obtener una respuesta dada, es posible utilizar dos estrategias diferentes:

- hacer variar la función de arquitectura Λ , o
- hacer variar los estímulos.

Luego de realizado el examen del ecosistema, se conocen las variables de estado, pudiéndose clasificárseles en dos subconjuntos. Uno de ellos contiene las variables de estado de arquitecturas ó signos endógenos y el otro contiene las variables de estado de estímulos ó signos exógenos.

Las funciones generales de comportamiento, de cada nodo, corresponden en forma homomórfica a las funciones que definen las relaciones de estímulo-respuesta. La determinación de estas funciones es el producto de investigaciones anteriores, aplicables a un amplio dominio de estímulos, en cuyos límites está contenido el ecosistema en estudio. Las funciones generales de comportamiento, unidas a las variables de estado pertinentes e incorporadas específicamente para el modelo en estudio, generan las funciones específicas del comportamiento de la arquitectura. Es factible, además, establecer un dominio amplio de variables de arquitectura con el objeto de calcular posteriormente, funciones generales de arquitectura.

No basta con determinar el conjunto de funciones específicas de arquitecturas de cada nodo del modelo; es ne-

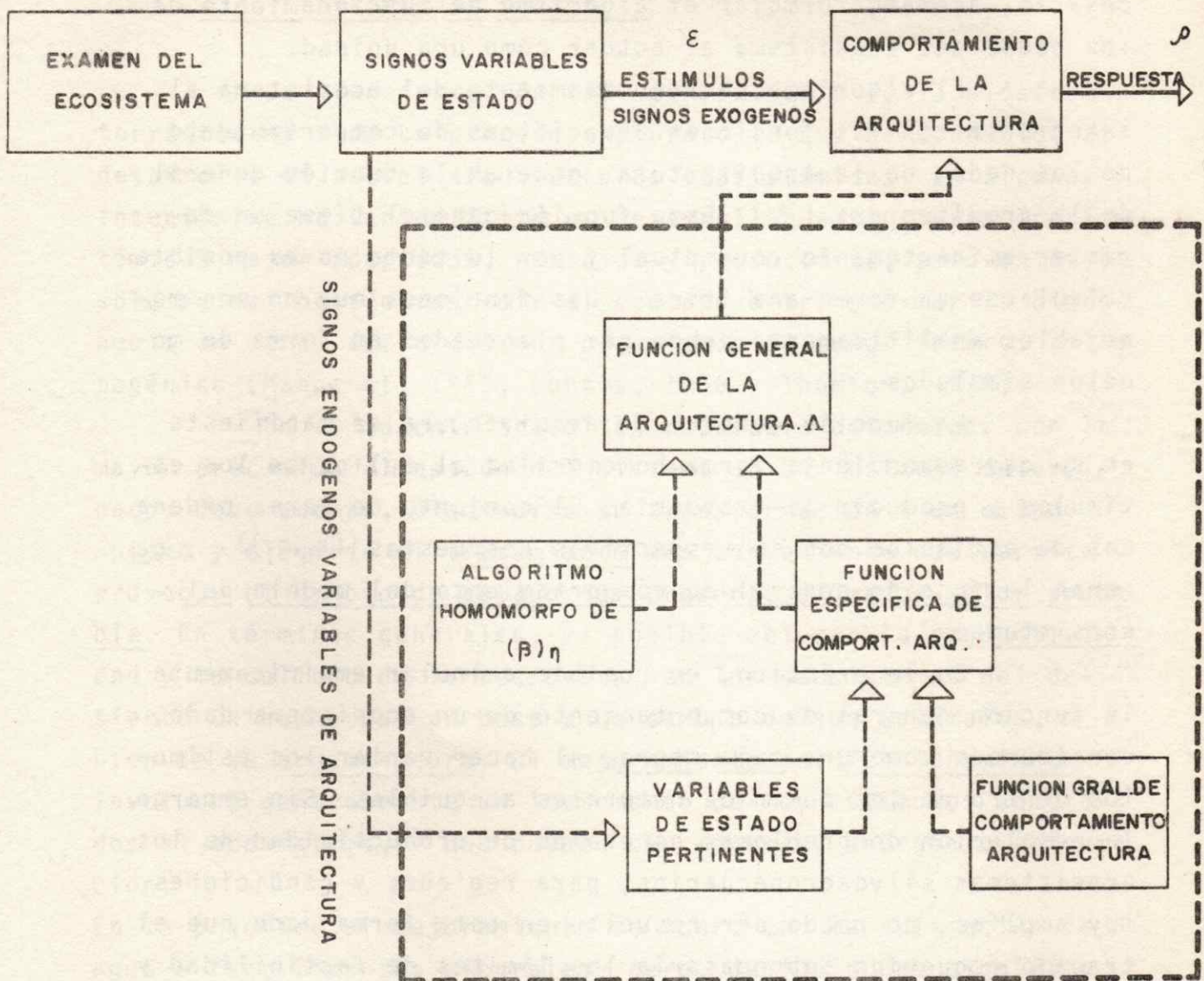


Figura 3. Modelo homomorfo de funcionamiento del ecosistema.

cesario, además, formular el algoritmo de funcionamiento de los nodos del ecosistema al actuar como una unidad.

El algoritmo de funcionamiento del ecosistema al integrarse con las funciones específicas de comportamiento de los nodos de la arquitectura, generan la función general de la arquitectura (Λ). Esta función general tiene un carácter eminentemente conceptual y por lo tanto no es posible calcularse en forma analítica. Las funciones que no son manejables analíticamente deben ser planteadas en forma de modelos simulados.

La función general de arquitectura se manifiesta en su correspondiente forma homomórfica al aplicarse los estímulos y producir su respuesta. El conjunto de pares ordenados de estímulos con su respectivas respuestas $\{(\epsilon_i, \sigma_i)\}$, generan la función general de comportamiento del modelo del ecosistema.

En la práctica, es posible calcular empíricamente la función general de comportamiento de un ecosistema dado, considerado como una caja negra, al hacer variar los estímulos dentro de los dominios naturales acequibles. Sin embargo, la resolución de problemas generales de productividad de los ecosistemas silvoagropecuarios, para regiones y condiciones muy amplias, no puede ser resuelto en esta forma dado que el trabajo requerido sobrepasaría los límites de factibilidad y las respuestas serían aplicables a situaciones restringida. Es por ello que el empirismo es aplicable a la fase de validación de los modelos planteados homomórficamente y resueltos en forma de modelos de simulación.

TRANSFORMACION DE ECOSISTEMAS DEL ARIDO

La transformación silvoagropecuaria de la biósfera terráquea ha sido un proceso exploratorio que ha conducido al desarrollo de nuevas arquitecturas ecosistémicas. En algunos intentos se ha tenido éxito en desarrollar estructuras ecosistémicas mejor adaptadas, estables y productivas, pero en otro, sólo se ha logrado destruir el ecotopo o transformar la biocenosis en otras dominadas por organismos de menor interés antropogénico (Mangenot, 1963, Curtis, 1956 y Thomson, 1970).

En el momento actual es necesario determinar con la mayor precisión el estado del sistema en un instante determinado. Debe además, plantearse su transformación a un estado óptimo y elegirse el tratamiento más conveniente que permita provocar el cambio de estado que presente el mayor valor probable. En términos generales, es posible mejorar la productividad y la calidad de la respuesta, en los ecosistemas del desierto Chihuahuense en base a un cambio de sus estímulos, o bien de su arquitectura. El mejoramiento del funcionamiento involucra generalmente un incremento de los estímulos adicionales al ecosistema, y que pueden ser materia, energía o información.

En la práctica el mejoramiento se logra con la aplicación de agua o fertilizantes minerales, pero, debido a que significa un costo elevado, a menudo no es aconsejable hacerlo en ambientes desfavorables.

La transformación de arquitecturas, en cambio, significa hacer un esfuerzo iniciar de aplicación de un operador funcional de transformación ecosistémica, con lo cual se puede lograr un mejoramiento del comportamiento del ecosistema a los estímulos. (Armijo, Gastó y Nava, 1976). En esta forma, la respuesta ecosistémica puede ser más favorable, tanto en calidad como en cantidad, sin que sea necesario incurrir en la necesidad de hacer aportes adicionales de estímulos, lo cual pue

de significar un costo extra muy elevado, superior al mejoramiento neto del sistema.

En el presente trabajo se discute los fundamentos de las transformaciones ecosistémicas, que se han realizado en los campos experimentales de la Universidad, los cuales permiten comparar las productividades reales y potenciales de las principales arquitecturas, cuyos resultados específicos aparecen en las diversas publicaciones realizadas. Algunas de las alternativas arquitectónicas más importantes en los ecosistemas de bajada en el árido chihuahuense, pueden clasificarse, de acuerdo a la fisionomía biocenósica dominante y algunos atributos ecotípicos en las categorías que aparecen en el cuadro 1.

La clasificación arbitraria de las arquitecturas en conjuntos discretos, tal como lo que aparece en cuadro citado en forma de clave dicotómica es sólo una presentación arbitraria de una gradiente continua de arquitecturas que varían entre sí en magnitudes no discretas. No es posible, por lo tanto, presentar una clasificación natural. Por razones prácticas, sin embargo, se presenta la clasificación anterior con el objeto de indicar los grupos fisionómicos principales de los ecosistemas del desierto.

En la resolución de problemas, por lo tanto, no deben ser considerados estos grupos, sino que los valores de cada componente.

La arquitectura de un ecosistema, en un momento dado, es la resultante de un proceso de evolución que se inicia en el pasado, se observa en el presente y se continúa en el futuro. El estado observado de la arquitectura, en un instante dado, no es más que un punto en el tiempo y como tal está orientado y tiene una tasa de cambio.

Génesis de la arquitectura puede ser definido como el proceso de cambio de las variables de estado del ecosistema en un dominio de tiempo.

Cuadro 1. Algunas de las posibles arquitecturas de los ecosistemas de bajada en el árido chihuahuense.

Ejemplos	
Descubierto de biocenosis	Inducida De alfombra Guadadoras
No erosionado	Sin raíz almacenadora Con raíz almacenadora Lianas Guadadoras
Erosionado	frijol silvestre cultivado. Cucurbita foetidissima cultivada. Apodanthera ondataria ondataria cultivada.
Cubierto de biocenosis	Agave lecheguilla La Agave sp. maguey
Terofitas	Desylerion leiophyllum
De auto-resiembra	Yucca camerosana Yucca filifera
Angustifoliadas	No ramificado
Latifoliadas	Ramificado
Sin auto-resiembra	Fanerófitas
Escardados	Suculentas
Erectos	Platiformas
No erectos	Rastreras
Rastreros	Frutícolas
Achaparrados	No frutícolas
Papilionáceas	Forraje
No papilionáceas	Nopalito
No escardados	Erectas
Cereales	Frutícolas
Latifoliadas	No frutícolas
Perennes	Forraje
Herbáceas	Nopalito
Hemicriptófitas	No suculentas
Naturales	Nano fanerófitas
Anacoliados	Naturales
Cespitosos	Inducidas
Cespitosos	Eocultivo
Inducidos	Cultivo
Cultivos	Microfanerófitas
Eocultivos	Naturales
Eocultivos	Inducidas
Anacoliado	Matorral de Acacia farnesiana
Cespitoso	Eocultivo de Prosopis glandulosa. Schinus molle
Caméfitas	Cultivo
Naturales	Cultivo
De alfombra	Cultivo
Guadadoras	Cultivo
Sin raíz almacenadora	Cultivo
Con raíz almacenadora	Cultivo
Lianas	Cultivo
Guadadoras	Cultivo

La transformación de la arquitectura, consta de dos fases: la primera es la parte de diseño la cual no difiere conceptualmente del diseño de otros sistemas, la segunda corresponde a la fase de implementación y ejecución, donde la naturaleza física de las variables es diferente.

Dada la importancia de la arquitectura y su posibilidad de determinar y elegir una que se aproxime al óptimo, es necesario plantear formalmente las rutas a seguir para alcanzar el estado seleccionado. Sin embargo, no basta con seleccionar la arquitectura y la ruta a seguir, en el proceso de génesis, sino que es necesario también, que una vez que se alcance el estado elegido, sea posible mantenersele.

En el proceso de planificación de la transformación del ecosistema origen E_i^j en un óptimo E_0^j , debe considerarse como alternativas la modificación de:

- los estímulos ϵ
- el arreglo topológico σ
- el número y dimensión de los componentes η , y

Para lograr lo anterior es necesario modificar σ, η o ϵ de los componentes $E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}$ aplicándole a cada uno de ellos un transformador ecosistémico, de manera que permita a todo el ecosistema origen, alcanzar el estado óptimo (E_0^j). Simbólicamente se tendría:

$$E_i^j \xrightarrow{\pi_{i0}^{\lambda}} E_0^j \rightarrow \{E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}\} \xrightarrow{\pi_{i0}^{\lambda}} \{E_{S_k}, E_{A_k}, E_{H_k}, E_{I_k}\}$$

de donde: π_{i0}^{λ} es el operador ecosistémico que permite efectuar el cambio de estado a través de una ruta λ . Lo anterior, sin embargo, no necesariamente implica que se tenga que transformar a cada uno de los ecosistemas componentes en óptimos; por lo que se ha denotado por $E_{S_k}, E_{A_k}, E_{H_k}, E_{I_k}$. Los

estados transformados de cada uno de éstos no corresponde necesariamente a su estado óptimo, aunque en conjunto lo sean.

Una operación funcional es una transformación que

se lleva a cabo en un espacio cuyos elementos son funciones. Conceptualmente, los ecosistemas están definidos dentro de un espacio de estado, en el cual cada estado es en sí una función que depende del estímulo, del comportamiento y de la respuesta en un tiempo dado. En forma análoga al concepto anterior, se puede definir una operación funcional ecosistémica a través de un operador funcional π_{ik}^{ℓ} que permita efectuar un cambio de estado desde un estado E_i inicial a un estado E_k final a través de una ruta ℓ . Estas operaciones funcionales ecosistémicas dependen de los estímulos endógenos y exógenos incidentes en el ecosistema.

En general, se tiene que si $E_i^j(t_i)$ es el estado inicial del sistema y $E_k^j(t_k)$ el estado final, el cambio de estado de $E_i^j \rightarrow E_k^j$ requiere de la aplicación de un operador funcional π_{ik}^{ℓ} definido para la ruta ℓ . La ruta de transformación se define como el conjunto de estrategias $\{\ell_m\}$ utilizadas en la transformación.

En general, el operador ecosistémico π_{ik}^{ℓ} que permite transformar de $E_i \rightarrow E_k$, está dado por una relación R^{ℓ} tal que:

$$\pi_{ik}^{\ell} = R^{\ell}(W_{ik}; T_{ik}; P_{ik}), \text{ con}$$

W_{ik} trabajo requerido para transformar el ecosistema desde el estado i al k .

t_{ik} tiempo para efectuar la transformación desde el estado i al k .

P_{ik} probabilidad de efectuar la transformación desde el estado i al k .

R^{ℓ} relación entre W_{ik} , T_{ik} , P_{ik} al seguir una ruta ℓ y pasar del estado i al k .

Un operador funcional es, por lo tanto, el estímulo que debe aplicarse a un ecosistema en un estado E_i para

transformarse en un estado E_k en un tiempo t_{ik} con cierta probabilidad P_{ik} de éxito de transformación y con cierto trabajo

W_{ik} . El concepto de operador funcional permite trabajar con mayor claridad cambios de estado ecosistémicos. La aplicación de π involucra necesariamente la utilización de cierta cantidad de energía con el fin de cambiar $\sigma(n)$. Una parte de la energía empleada se disipa, luego de ser utilizada para cambiar el arreglo topológico $\sigma(n)$. El arreglo topológico afecta el comportamiento β del ecosistema. Otra parte de esta energía puede ser almacenada en el sistema, siendo susceptible a liberarse posteriormente.

Cambio de estado del ecosistema significa alterar su comportamiento en cuanto a cambiar la:

- capacidad de ingestión de estímulos
- capacidad de asimilación de estímulos
- capacidad de transformación
- capacidad de almacenamiento de los componentes topológicos, y
- capacidad de conducción de los estímulos.

De la energía empleada en el cambio del arreglo topológico $\sigma(n)$, una parte puede ser retenida en el ecosistema. Sin embargo, un cambio en el comportamiento no necesariamente implica un cambio en el contenido de energía interna del ecosistema, requiriendo lo anterior la aplicación de un operador funcional.

Se puede arguir que por muchos siglos el hombre ha resuelto problemas en base de consideraciones intuitivas y los resultados obtenidos han sido fructíferos. Sin embargo, detrás de toda consideración intuitiva se esconde una secuencia finita de encadenamientos racionales, que se producen o se manifiestan como ideas instantáneas. El mecanismo complejo de la mente humana representa un enigma no resuelto hasta la fe-

cha; no obstante, el hombre moderno ha encontrado que si se quiere resolver un problema, se tiene que plantear cuidadosamente y tratar de seguirse una secuencia ordenada de acciones, definidas con anterioridad que le permitan seguir el proceso de resolución del problema.

El proceso de plantear una secuencia finita de acciones bien definidas que conduzcan hacia un objetivo, se denomina algoritmo. Un proceso de solución se denomina algoritmo para el problema A si la solución de A aparece después de efectuarse un número finito de etapas, y cuando no hay solución el mismo proceso permite determinar, después de un número finito de etapas, su insolubilidad (Korfhage, 1967).

La aplicación de un operador π a un ecosistema en un estado inicial E_i produce un conjunto finito de estados finales $\{E_k\}$ caracterizados por tener ciertos valores de P, t, W. El algoritmo de transformación debe diseñarse contemplando el conjunto de alternativas de estado, al aplicarse el operador correspondiente. Cabe mencionarse que, tanto el conjunto de estados resultantes, como sus probabilidades de transición son diferentes de acuerdo al operador que se aplique. Por lo tanto, existe un conjunto de operadores susceptibles de ser aplicados, cada uno de los cuales, a su vez, genera un conjunto de estados resultantes.

En la programación de algoritmos de transformación es necesario seleccionar dentro del conjunto de operadores funcionales al subconjunto ordenado de operadores y determinar las probabilidades, el trabajo y el tiempo necesario para alcanzar el estado final meta.

EL ARIDO COMO UNIDAD PRODUCTIVA

El árido debe ser considerado como un conjunto, donde uno de los componentes es el recurso natural per se y los otros contienen elementos de naturaleza muy diversa donde se destaca por su importancia los aspectos relacionados con el hombre organizado, social, cultural y políticamente. No es posible, por lo tanto pretender estudiar el componente silvoagropecuario en forma aislada del resto del conjunto, puesto que el objetivo principal de la transformación del árido es mejorar al elemento más importante del ecosistema origen, que es el hombre organizado.

Dentro del contexto anterior, el presente trabajo se refiere específicamente al recurso natural. Sin embargo, se prevee las conexiones requeridas para integrarlo con estudios simultáneos relacionados con:

- Habitación y urbanismo
- Organización social
- Educación y cultura
- Economía
- Comunicaciones
- Energía
- Medicina
- Recreación y esparcimiento
- Calidad ambiental

Con el objeto de optimizar el medio para el hombre, es necesario investigar la mejor combinación de alternativas de uso múltiple del recurso, entre las que se consideran:

- Cultivos
- Ecocultivos
- Pastizales naturales
- Ganadería
- Cosecha de agua

Recreación y turismo
Producción silvícola
Fauna silvestre

En el año de 1972 inició sus actividades el Centro Nacional de Investigación de Zonas Áridas, que había sido creado el año anterior dentro del complejo de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Como objetivo principal de esta Institución se trazó la realización de investigación con miras a la resolución global de los principales problemas del árido del norte de México. Durante los primeros dos años fué necesario implementar una infraestructura de investigación totalmente nueva con el objeto de poder ejecutar la investigación y experimentación en el terreno mismo (CNIZA 1972, 1973, 1974). Además, fué necesario formar un grupo de profesionales jóvenes e iniciar una tradición de investigación que ha sido más rápida y eficiente que de lo originalmente se planeó.

Actualmente, la Universidad cuenta con once unidades experimentales distribuidas en diversos estados del norte de México, las cuales además disponen de las facilidades mínimas requeridas y de personal especializado para efectuar las investigaciones. Esta infraestructura es utilizada además, por otras Instituciones del país.

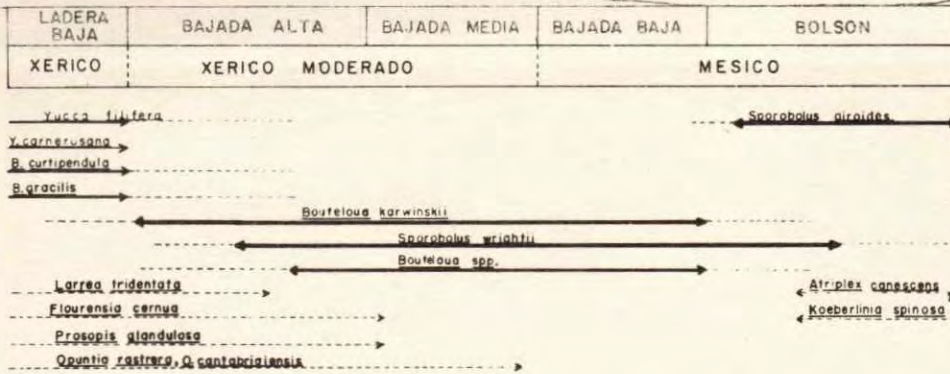
El objetivo principal de la investigación que realiza la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", está orientado hacia la resolución práctica de los problemas del hombre de las zonas áridas y del medio en que vive, y en ello radica el énfasis que se le ha dado a los estudios experimentales en el terreno. La Universidad, consciente del papel que debe jugar la ciencia en la resolución de los problemas del árido, ha requerido plantear en forma integrada los fundamentos en los cuales debe basarse y enmarcarse la investigación tendiente a resolver, de una manera científica, los problemas de índole práctica.

Uno de los problemas que ha recibido prioridad, dentro del contexto anterior, es el estudio de la gradiente espacial y en el tiempo de los ecosistemas naturales y transformados, con miras a su transformación y optimización. El conocimiento de la génesis del ecosistema permite hacer con más eficiencia el manejo del recurso, permitiendo predecir con mayor certidumbre la singenética del sistema (Figura 4).

Dentro de las líneas principales de investigación durante los últimos años, se ha dado especial importancia al estudio de las posibles alternativas de arquitectura que pueda dársele a los ecosistemas naturales del árido. Este problema por su trascendencia práctica y científica, ha recibido gran atención de parte de los investigadores y académicos de la Institución, considerándosele como el punto de partida generatriz de nuevas líneas de investigación. Los resultados preliminares, de esta serie de estudios y de sus perspectivas a corto y largo plazo, han conducido a la ejecución de estudios conceptuales de entificación y descripción de los componentes y procesos requeridos para la resolución de problemas de esta naturaleza. Además de los estudios conceptuales, se dispone de resultados experimentales preliminares donde se comparan las productividades potenciales y otros atributos en más de 30 arquitecturas ecosistémicas diferentes.

Los estudios de transformación se encuentran en una etapa más avanzada de desarrollo, donde se ha logrado combinar los antecedentes teóricos formulados, con la colaboración de organismos nacionales e internacionales. Dentro de esta línea de investigación se están cuantificando y estableciendo relaciones paramétricas con el objeto de resolver el algoritmo general de transformación de arquitecturas y de funcionamiento. Bajo esta misma línea, se incluye además, el estudio de las diversas estrategias de transformación, analizadas estadísticamente y en función de su costos.

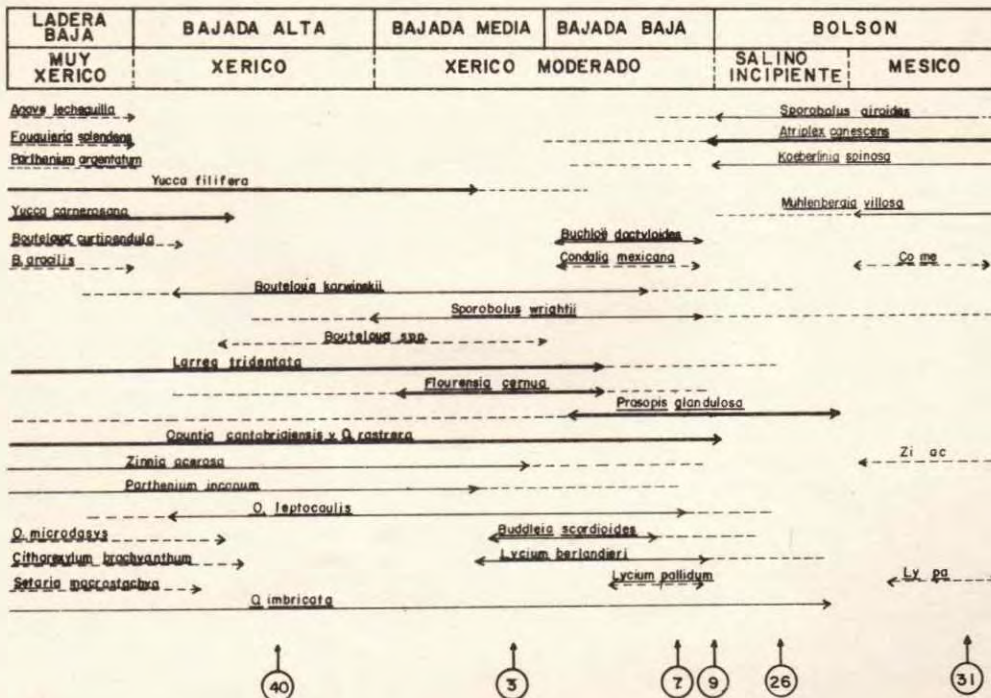
Conjuntamente con los estudios anteriores, se realizan trabajos en ecocultivos del árido (Curtis y Gómez, 1974),



DESTRUCCION INCIPIENTE



DESTRUCCION MODERADA



DESTRUCCION AVANZADA



DESTRUCCION MUY AVANZADA



Figura 4 Esquema hipotético de la distribución e importancia de las poblaciones y de las variaciones ecotópicas durante la sucesión secundaria supuesta para el área de estudio. Los números encerrados en un círculo y con una flecha corresponden a la posición hipotética aproximada de las parcelas de muestreo en el esquema espacio-tiempo.

- Dominante principal — Dominante secundario
- Elemento subordinado - - - Elemento poco importante

Según González, 1976 .

enfatiándose en la productividad de especies tales como:

Agave lecheguilla

Opuntia spp

Yucca filifera

Simmondsia chinensis

Flourenzia cernua

Larrea divaricata

Parthenium argentatum

Atriplex canescens

Cucurbita foetidissima.

Además, se tienen los cultivos anuales del desierto y la siembra de pastizales mejorados (CNIZA 1972, 1973, 1974), estudios que se han venido realizando desde los inicios del Centro Nacional de Investigación de Zonas Áridas, en Saltillo. La importancia de este tipo de estudios ha sido extensamente analizada en trabajos anteriores (Hernández 1970, Carrera y Cano, 1968; Marroquín et al, 1964, Rzedowski, 1964).

METODOLOGIA CLINICA

El planteamiento y resolución de los problemas si[voagropecuarios, no pueden ser considerados en la actualidad con una dialéctica puramente empirista, como ha sido tradicional (Reichambach, 1973). Previo a pretender encontrar la solución a un problema es necesario entificar y definir los atributos de la unidad con que se trabaja, e incluirlos dentro de un contexto general de validez universal; contexto, que en su expresión más general corresponde al ecosistema.

El saber previo del investigador o de quien deba resolver un problema, es un saber de la universal legalidad de los procesos naturales aun antes de todo descubrimiento de una determinada ley (Hartmann, 1960). La analogía de la experiencia es sólo una forma superficial de ver las cosas y el conjunto de analogías del saber no es más que una expresión compactada de eventos epistemológicos de escasa validez cuando no pertenecen al conjunto de principios que definen la legalidad universal. En lo anterior reside una de las diferencias fundamentales entre ciencia y técnica.

El raciocinio inductivo, según Hartmann (1960), tiene por base un elemento gnoseológico apriorístico que supone tacitamente un elemento no justificable empíricamente pero que necesita justificarse. La experimentación es siempre un caso singular y aunque se repitan o varíen los experimentos no se pasa nunca de lo singular y por consiguiente, lo mas allá que se puede alcanzar es la analogía de la experiencia. Sin embargo, al científico no le interesan los casos particulares, considerados arbitrariamente y en forma aislada, sino los principios generales de lo que sucede en casos iguales.

La única forma de resolver casos particulares es a través del estudio de series de eventos singulares por medio de la experimentación y de su conjugación e interpretación en forma de procesos generales que en forma de raciocinio constituye el saber universal, que permite, a través de la deduc-

ción resolver, casos particulares.

Los problemas del agro, que deben ser resueltos, deben ser analizados dentro del complejo natural que le corresponde y que es el ecosistema. En caso contrario, al plantearse como unidad a otro complejo, y en el caso de tener éxito la resolución del problema la solución no es de utilidad para el objetivo planteado, pues corresponde a un problema diferente del que se pretendía resolver.

El ecosistema origen representa la unidad de trabajo de los profesionales del agro y como tal es ahí donde debe centrarse su acción. Por ser un problema de naturaleza tan compleja, donde se incluyen cuatro componentes diversos y con fronteras difusas, no puede ser planteado ni resuelto individualmente, sino que en forma de sistemas. Los problemas de esta naturaleza deben ser resueltos en forma de estudios integrados, donde se conjuguen conjuntos de investigadores que estudien módulos del sistema total, cuya integración permita resolver el sistema en estudio.

Para el planteamiento de los problemas silvoagropecuarios, se requiere por lo tanto, una metodología general, que permita al investigador resolver los cuatro problemas principales del ecosistemas:

1. Definir los tipos y niveles de estímulos que reciba el ecosistemas y la respuesta que se debe observar.
2. Poner de manifiesto el conjunto de variables de estado y los flujos de información pertinentes, a través de experimentos sucesivos, con el objeto de reducir la variabilidad de las respuestas del sistema.
3. Romper el código de la información estableciendo las relaciones dicotómicas necesarias y las reglas de asignación de entrada y salida o funciones de comportamiento nodal.

4. Construir el algoritmo y el modelo homomorfo del ecosistema (Parin y Baievsky, 1969).

La metodología clínica consta de cinco etapas fundamentales:

Examen

Diagnóstico

Tratamiento

Estrategia

Comprobación

El examen es la etapa inicial del proceso clínico del ecosistema, partiéndose de observaciones generales que permiten plantear la búsqueda de las variables de estado, tanto endógenas como exógenas. En la segunda fase del examen se procede a la cuantificación de estas variables. Esta primera etapa es fundamentalmente empírica, aunque en su formulación es racional.

El diagnóstico se inicia con el ordenamiento de la información. La valoración de la información proveniente del examen, luego de ordenada, es la etapa final del diagnóstico. El diagnóstico desde el punto de vista de sistemas complejos, se puede considerar como el resultado o la respuesta de una caja negra, en donde los signos provenientes del examen, que corresponden al estímulo, se conjugan con las funciones generales determinadas y fijan el funcionamiento del sistema de diagnóstico o caja negra.

La hipótesis del diagnóstico emitido corresponde a la respuesta del sistema. Las leyes de la lógica y de la ciencia silvoagropecuaria deben estar en el interior de esta caja negra, las cuales son los elementos con que debe constituirse el algoritmo que permita resolver el problema metodológico-clínico que se haya planteado. Por lo tanto, para emitir un diagnóstico es necesario construir un modelo homomorfo que permita conjugar estímulos y algoritmos susceptibles de

resolverse cuantitativamente, a través de aplicación de funciones matemáticas.

Para emitir la hipótesis de diagnóstico es necesario comparar el estado del sistema con todas las posibles alternativas de estados transformados y de operadores de transformación.

El estado óptimo de un ecosistema no es absoluto, dependiendo de su estado inicial, pues el operador funcional es diferente dependiendo del estado meta y el estado inicial. Simbólicamente:

$$E_i \xrightarrow{\pi_{i0}} E_0$$

El tratamiento es, por lo tanto, la definición conceptual del operador funcional que debe aplicarse para alcanzar el estado E_0 meta. La estrategia, en cambio, es la aplicación específica de operadores que correspondan a las características delimitadas por el tratamiento.

La comprobación, corresponde a la etapa final del proceso clínico. Es la comparación entre el estado del sistema E_i y el estado óptimo E_0 , luego de la aplicación del operador funcional al estado E_i y su correspondiente transformación al estado E_k y cuyo objetivo inicial era aproximarse a E_0 .

El resultado final puede ser $E_k = E_0$, en cuyo caso se comprobaría la validez del proceso clínico. La otra alternativa es que $E_j \neq E_0$, en este caso denotaría un error en cualquiera de las etapas del proceso clínico.

BIBLIOGRAFIA

- Armijo T., R., Nava C., R., Gastó C., J. 1976. Fundamentos de transformación de ecosistemas. Univ. Autónoma Agr. Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2:1-57, UAAAN. Saltillo, Coah.
- Austin, M.F. 1972. Land resource regions and major land resources areas of the United States. U.S. Dept. Agric. Soil. Cons. Service. Agric. Handbook 296. 82 p.
- Becht, G. 1974. Systems theory. The key to holsim and reductionism. BioScience 24:596-579.
- Carrera, M., C. y J. Cano B. 1968. Plantas aprovechadas por el ganado caprino en una zona de matorral desértico y su análisis químico proximal. Rev. Mexicana Prod. Animal 1:17-28. Asoc. Mexicana Prod. Animal. Monterrey, N.L.
- Caswell, H., H.E. Koenig, J.A. Resh y Q.E. Ross. 1972. En: B. C. Patten (ed.). System analysis and simulation in ecology. Vol. 2. Academic Press, N.Y.
- Cliff, E.P. 1960. Multiple use management in the national forests of the United States. Proc. Fifth world Forestry Congress. 173-181.
- CNIZA. 1974. Informe anual. Centro Nac. Invest. Zonas Aridas. Esc. Sup. Agric. "Antonio Narro". Saltillo, Coah.
- CNIZA. 1973. Informe anual. Centro Nac. Invest. Zonas Aridas. Esc. Sup. Agric. "Antonio Narro". Saltillo, Coah.
- CNIZA. 1972. Informe anual. Centro Nac. Invest. Zonas Aridas. Esc. Sup. Agric. "Antonio Narro". Saltillo, Coah.
- Curtis, L.C. y H. Gómez C. 1974. Cucurbita foetidissima, una fuente potencial de aceite y proteína en zonas áridas. Centro Nac. Invest. Zonas Aridas. Bol. Técnico 4.13 p. Saltillo, Coahuila.
- Dasman, R.F. 1968. Environmental conservation. John Wiley and Sons. N.Y. 375 p.
- Distefano, J.J., A.R. Stebberud e I.J. Williams. 1967. Feedback and control systems. Schaum Publishing Co. N.Y.
- Evans, F.C. 1956. Ecosystems the basic unit in ecology. Science 123:1127-1128.

- Gómez-Pompa, A. 1975. Recursos bióticos para el desarrollo de zonas áridas. *Ciencia y Desarrollo* 1:18-20. CONACYT. México.
- González E., M. 1976. Distribución espacial de la vegetación y su interpretación sucesional en el noreste del estado de Zacatecas. *Esc. Nac. Agric., Depto. Zootecnia. Chapingo. Tesis Ing. Agrónomo.* 263 p.
- Gastó C., J. y R. Cañas C. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del Ecosistema Silvoagropecuaria. *Univ. Autónoma Agr. Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica* 1:1-71. Saltillo, Coah. México.
- Gastó C., J. y J. Gastó C. 1970. Uso de la tierra. *El Campesino. Agril,* 34-50. Santiago de Chile.
- Hartmann, N. 1960. *Ontología. Filosofía de la naturaleza. Teoría especial de las categorías.* Fondo de Cultura Económica. México.
- Hernández X., E. 1970. Mexican experience. En: *Arid Lands in Transition. Amer. Ass. Adv. Science* 317-343.
- Maelzer, D.A. 1965a. A discussion of components of environment in ecology. *J. Theoret. Biol.* 8:141-162.
- Maelzer, D.A. 1965b. Environment, semantics and systems theory in ecology. *J. Theoret. Biol.* 8:395-402.
- Managenot, G. 1963. The effect of man on the plant world. En: *Man's place in the island ecosystem. Tenth Pacific Science Congress. Hawaii. 1961. Bioshop Museum Press.*
- Marroquín, J.S. et al. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. *Publicación especial 2. Instituto Nacional Inv. Forestales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F.*
- Maynez del R., F., R. Armijo y J. Gastó C. 1975. *Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodología.* Univ. Autónoma Agr. Antonio Narro.
- McArdle, R.E. 1960. El concepto de uso múltiple de bosques y tierras forestales: su valor y limitaciones. *Proc. Fifth World Forestry Congress:* 149-152.
- McCloskey. 1961. The meaning of the multiple-use sustained yield of 1960. *Oregon Law Review* 41:49-77.
- Odum, E.P. 1972. Ecosystem theory in relation to man. En:

- Wiens, J.A. (ed.) Ecosystem structure and function. Oregon State University Press: 11-24.
- Parin, V.V. y R.M. Baievsky. 1969. Introducción a la cibernética y a la computación médica. Siglo XXI. México.
- Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analogy and digital Computers. En: B.C. Patten (ed.) System analysis and simulation in ecology. Vol. 1. Academic Press, N.Y.
- Reichenbach, A. 1973. Filosofía científica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1964. Botánica económica. En: Beltrán, E. (ed.). Las zonas áridas del centro de México: 135-152. Inst. Mexicano Recursos Naturales Renovables. México, D.F.
- Stephens, C.G. 1961. The soil landscapes of Australia. CSIRO. Soil. Pub.18.43 p.
- Thomson, J.M. 1970. The ecological backlash. Nature versus man. Univ. Queensland Press. Queensland, Australia.