

DINAMICA DE LA DESCARGA DEL  
PASTIZAL POR EL HERBIVORO

JUAN GASTO CODERCH

SISTEMAS EN AGRICULTURA  
IISA - 82 03

DINAMICA DE LA DESCARGA DEL  
PASTIZAL POR EL HERBIVORO

JUAN GASTO CODERCH, ING.AGRONOMO, Ph.D.  
Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía  
Pontificia Universidad Católica de Chile

QUEVEDO Y CIA. IMPRESORES

INFORME DE INVESTIGACIONES  
SISTEMAS EN AGRICULTURA

---

EDITOR JEFE

Marilyn Gasman B. Ing.Agr.  
Depto.Zootecnia, Facultad de Agronomía  
Pontificia Universidad Católica de Chile

---

DIRECCION

Vicuña Mackenna 4860  
Casilla 114 - D

---

IMPRESION

S Quevedo y Cía.  
G Servicios Gráficos

---

IISA - 82 03

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con el aporte de la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, DIUC y la Asociación de Exalumnos de Zootecnia, AEZO.



## CONTENIDO

INTRODUCCION . . . . .	1
ARQUITECTURA DEL PASTIZAL . . . . .	4
Forma y diseño . . . . .	4
Teoría tubular . . . . .	9
Máxima fitomasa persistente . . . . .	12
Componentes de la arquitectura . . . . .	14
Función de arquitectura . . . . .	21
CARGA Y DESCARGA . . . . .	30
DESCARGA . . . . .	38
Vida media . . . . .	38
Mínima fitomasa persistente . . . . .	40
Modelos de descarga . . . . .	44
Modelo general de descarga . . . . .	48
Descarga general como un flujo . . . . .	50
Intensidad de pastoreo . . . . .	54
Intensidad de utilización . . . . .	55
Costo ecológico de cosecha . . . . .	59
ANALISIS DE CASOS DE DESCARGA . . . . .	65
Pradera anual mediterránea . . . . .	65
Matorral de <u>Atriplex repanda</u> . . . . .	71
Cladodios y frutos de <u>Opuntia streptacantha</u> . . . . .	81
DISCUSION . . . . .	89

## INTRODUCCION

El pastizal puede ser considerado como un sistema ecológico que se comporta como un acumulador de materia, energía e información, cuyo fin es liberar posteriormente la carga acumulada de manera de provocar un flujo de forraje hacia el organismo consumidor. Las modalidades y capacidad de acumulación y de liberación de la carga están relacionadas con los componentes y conexiones del sistema de pastizal. Existe, por lo tanto, una obvia distinción entre el pastizal considerado como un ecosistema y el forraje o alimento que produce, el cual corresponde solamente a una fracción de uno de los tantos componentes del ecosistema, la planta forrajera, de la cual sólo se utilizan algunos órganos y tejidos.

El objetivo que se persigue en el fitomejoramiento de especies de pastizal debe ser la modificación de genotipos ya existentes, que al ser introducidos en ecosistemas de pastizal, produzcan fenotipos que permitan mejorar su calidad. Lo anterior implica que el propósito que se busca en el fitomejoramiento de plantas forrajeras, es el de generar germoplasma factible de ser empleado en el mejoramiento del pastizal y no mejorar directamente el pastizal.

Uno de los atributos que se busca en el mejoramiento de plantas de pastizal es la capacidad de acumular carga en forma de materia seca digestible. De acuerdo a las características del sistema, es la arquitectura que debe tener la planta y la localización y magnitud de los órganos de almacenamiento la que regula su capacidad de carga. La fitocenosis debe ser considerada como la estructura de almacenamiento de nutrientes digestibles del ecosistema.

Las características de la descarga de la fitocenosis del pastizal, al ser sometida a la acción de un cosechador, en este caso el herbívoro, deben ser armónicas con el sistema

en general y con los requerimientos del cosechador. Ello se logra al diseñar plantas y pastizales con estructuras que, además de adaptarse al sistema donde se desarrollan, presenten las características que les permitan generar un proceso de descarga que se ajuste a las condiciones de mayor aproximación al óptimo.

No basta con disponer de especies y cultivares de pastizal que sean de alta calidad bromatológica y que presenten altas productividades de forraje. Es menester que estos componentes se ajusten a los demás componentes del sistema ecológico, con los cuales se conectan. A menudo se ignora esta restricción al fitomejoramiento, sin lo cual no es factible desarrollar sistemas de pastizal que presenten magnitudes adecuadas de algunos atributos tales como homostasis, resiliencia, estabilidad, longevidad, armonía, periodicidad y otros que se consideran como esenciales para el normal funcionamiento del sistema. Deben además, contener estructuras que formen una arquitectura que genere funciones de descarga compatibles con los requerimientos del cosechador.

Dado que es factible describir la arquitectura de un pastizal a través de una función y que, además, es factible caracterizar la descarga de una arquitectura dada, se considera que en el fitomejoramiento destinado al mejoramiento de pastizales debe buscarse genotipos susceptibles de producir fenotipos compatibles con los requerimientos de descarga propios del óptimo buscado en el sistema ganadero considerado como un todo.

Por las razones anteriormente expuestas, en la primera parte del estudio se hace un análisis de la arquitectura de la planta en relación a su forma y diseño. En la búsqueda de una función general de arquitectura se analiza la teoría tubular como una aproximación teórica adecuada al problema de la forma y la ley de la máxima fitomasa persistente, como una de las restricciones naturales impuestas al ajuste de la magnitud de la forma al sistema como un todo. Finalmente, se



plantea una función general de arquitectura, susceptible de ser empleada en la descripción y caracterización de pastizales.

Luego, en la segunda parte del estudio se analiza el proceso general de carga y descarga de un sistema cualquiera. Este análisis se hace con el fin de establecer relaciones entre los acumuladores en general y el ecosistema, considerado como una unidad susceptible de acumular carga en forma de energía, materia e información, lo cual genera diferencias de potenciales con su entorno, los cuales son eventualmente liberados en el proceso de descarga. Los principios generales desarrollados para los acumuladores físicos son, supuestamente, válidos también para los acumuladores ecosistémicos.

En la tercera parte del estudio se analizan los aspectos relacionados con vida media y su aplicabilidad al proceso de descarga ecosistémica. Se analiza además la ley de la mínima fitomasa persistente, como una de las restricciones a la arquitectura de la fitocenosis, la cual plantea los límites mínimos de descarga de un sistema cualquiera.

Diversos modelos han sido empleados para describir la descarga de sistemas físicos, químicos, mecánicos o biológicos. Del análisis comparativo de estos modelos se genera un modelo general de descarga, susceptible de describir la descarga del ecosistema, el cual se analiza como un modelo de flujo.

En el presente trabajo se analiza el planteamiento desarrollado durante más de una década, sobre un tema de interés tanto para los especialistas en praderas y ganadería como para los fitomejoradores. La información empírica que se dispone, presenta a los planteamientos teóricos generales, como altamente congruentes con los resultados del terreno. La simpleza del planteamiento y del modelo de resolución insinúan una aproximación a una solución natural del problema de la descarga del pastizal, simultáneamente con entregar herramientas sencillas de cuantificación.

## ARQUITECTURA DEL PASTIZAL

### FORMA Y DISEÑO

La caracterización de un pastizal por su fitomasa en pie presente en un instante dado, o su valor bromatológico, no es suficiente para su descripción, ni permite establecer relaciones fieles entre ésta, como fenómeno, y su imagen elaborada con el fin de representar su efecto y modalidades de utilización por el animal que la consume. Cualquier representación que se haga del pastizal, con el propósito de analizar sus elementos y procesos y las posibilidades de mejoramiento debe incluir su forma o arquitectura (Høvre, 1960.)

En la filosofía y metafísica, la forma adquiere el significado platónico de ser la naturaleza esencial de un objeto que le distingue de la materia de la cual está formando parte siendo, por lo tanto, un concepto trascendente de la esencia universal (Lotspeich, 1963). En la resolución de problemas de naturaleza ecosistémica se requiere definir operacionalmente la forma, de manera de llegar a plantear el problema en un marco científico susceptible de resolverse de acuerdo a normas heurísticas convencionales. Es por ello que la forma de un sistema debe describirse a través de su arquitectura (Maelzer, 1965; Udvardy, 1959).

Arquitectura puede ser definido como el arreglo topológico de los componentes del ecosistema (Nava, Armijo y Gastó, 1979). Se entiende por componente de un ecosistema a las categorías topológicas de ordenamiento de la materia y energía en un cierto nivel de información o entropía. La arquitectura representa las diferentes modalidades que puede formar un conjunto de estructuras o elementos. La integración de las diversas estructuras que integran el pastizal como un sistema ecológico, arreglado espacialmente en ordenamientos y magnitudes definidas, constituye la arquitectura del ecosistema-pastizal.

Arquitectura y estructura, por lo tanto, corresponden a conceptos diferentes pero estrechamente relacionados, de manera que para un conjunto dado de estructuras, existe un conjunto de arquitecturas posibles. Un mismo conjunto de elementos constitutivos de un pastizal dado puede ser ordenado de diversas modalidades, generando estilos, formas o arquitecturas diferentes (Riveros et al., 1976).

Resulta conveniente, por lo tanto, definir formalmente el significado del concepto de pastizal de manera de diferenciarle de forraje. Pastizal ha sido definido como: todos los ecosistemas cuya sinusia principal produce tejido vegetal utilizable directamente por herbívoros de consumo humano. Forraje, en cambio, es sólo el tejido vegetal utilizable directamente por el herbívoro de consumo humano. La diferencia global esencial entre ambos radica en que en el primer caso se trata de un ecosistema in situ y en el segundo, de uno de los componentes del ecosistema, la fitocenosis, lo cual, no contiene ninguna connotación de arreglo espacial en el sistema original, al cual se integra con los componentes abióticos y con los demás elementos de la biocenosis, generando una arquitectura o estilo definido.

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 representa por:

$$\sigma(n)$$

donde:  $\sigma$  representa el arreglo topológico, denotando tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos, y  
 $n$  el tamaño de las variables de estado que le integran, es decir, el vector topológico.



Por definición, se tiene que arquitectura ( $\Lambda$ ) es:

$$\Lambda = \Lambda (\sigma, \eta) \quad (1)$$

La categorización de arreglos topológicos definidos implica tamaño de cada categoría. El tamaño está representado simbólicamente por el vector  $\eta$  cuyos componentes son  $\eta_1$  y  $\eta_2$ , corresponden respectivamente al número y dimensión de los elementos topológicos. Cada componente topológico dentro del sistema está representado por  $\sigma(\eta)$ . La forma de alterar el arreglo topológico dado es alterando los componentes del vector topológico; es decir, su número, dimensión y espacio-temporal. La integración de todos los componentes que constituyen la arquitectura del sistema de pastizal corresponde simbólicamente a:

$$\Lambda = \Lambda (\sigma_a(\eta_a), \sigma_b(\eta_b), \dots, \sigma_z(\eta_z)) \quad (2)$$

El conjunto integrado de los componentes en el ecosistema, se comporta de manera diferente que la simple suma, puesto que aparecen atributos holísticos emergentes propios de la topología general del sistema. Estas propiedades emergentes son el resultado del cambio en las condiciones de restricción de las conexiones entre los componentes topológicos. Lo anterior modifica las funciones en cuanto a sus reglas de asignación de los componentes. En otras palabras, el cambio de arreglo topológico intercomponentes se logra de la siguiente forma:

- Cambio de número ( $\eta_1$ ) y tamaño ( $\eta_2$ ) de algún componente,
- Cambio de ordenamiento espacial de los componentes ( $\sigma$ ), o
- Cambio de las relaciones de intercambio de materia, energía o información de los componentes.

Las diferencias esenciales entre forraje y pastizal, se centran, por lo tanto, en que:

- No todos los componentes del pastizal son utilizables por el herbívoro.
- El arreglo topológico ( $\sigma$ ) de los elementos utilizables está definido y resulta como una consecuencia de otros atributos del sistema, y
- El pastizal contiene un mayor número y diversidad de elementos que el forraje.

Existe, por lo tanto una diferencia esencial entre forraje y pastizal, relacionada con el arreglo topológico de las estructuras vegetales utilizables por el ganado. Esta diferencia, que puede ser de magnitud considerable, especialmente en pastizales caracterizados por contener una alta proporción de elementos de soporte del follaje, no es formalmente considerada en los análisis de laboratorio que se practican usualmente con el fin de determinar su calidad. En estos análisis se ignora sistemáticamente el arreglo topológico de los componentes vegetales utilizables, por lo cual, lo que permiten cuantificar es la calidad del forraje y no la calidad del pastizal. En el estudio de Dascoings (1975) se identifican los tipos morfológicos de especies gramínoideas, que pudieran tener ocasionalmente valores bromatológicos similares, pero con arquitecturas diferentes, generando, en esta forma pastizales de calidades diferentes.

Dejando temporalmente de lado el problema relacionado con el valor bromatológico de los tejidos y órganos de la planta, el problema puede centrarse solamente en la forma o arreglo topológico de los componentes. La forma, que en cada caso corresponde a un estilo determinado de arreglo topológico, tiene necesariamente que tener un origen y génesis, proceso que se denomina morfogénesis (Thorn, 1975). Este proceso ocurre dentro del marco de acción de dos procesos dife-



rentes. Uno de ellos, es el de evolución genética de los organismos y poblaciones, donde la acción iterativa de los procesos de producción de variabilidad y la selección de los organismos mejor adaptados, conduce hacia la formación de fenotipos y genotipos estructurados ad hoc para el sistema. El otro mecanismo es, el de sistemogénesis, el cual, a través de la sucesión ecológica conduce hacia estados-meta que pueden concluir en un clímax, o bien, como ocurre usualmente en un disclímax.

El resultado final de este proceso es el desarrollo de un ecosistema adaptado al medio ambiente general, donde los elementos integrativos del sistema se encuentran en armonía entre sí y con el medio. Puede que esta situación no sea la ideal para el hombre, y en este caso se requiere diseñar una arquitectura ad hoc que permita optimizar el sistema. Es en este trabajo, donde deben integrarse fitomejoradores, ecólogos, pasticultores, zootecnistas y otros, con el fin de lograr un diseño optimizado no solo de la planta forrajera sino que del pastizal.

La arquitectura del ecosistema puede ser la resultante del proceso evolutivo natural, que se expresa a través de la evolución genética de los organismos, cambios morfológicos de su plasticidad, y sucesiones ecológicas. En lugar que la forma resultante sea el producto del proceso de adaptación de la fitocenosis al medioambiente ecosistémico es factible diseñar antrópicamente la arquitectura del sistema.

Las diversas estructuras biológicas que constituyen la arquitectura del sistema, pueden ser diseñadas de manera de perpetuarse a través de mecanismos genéticos. La arquitectura, sin embargo, por representar el conjunto organizado de estructuras, contiene un componente que no es genético, y que se debe a la interacción entre los organismos y el medio, o bien, entre éstos y los operadores de artificialización antrópica.

Diseño puede ser definido como el proceso de generar modelos con el propósito de optimizar un fenómeno (Wymore, 1976). De acuerdo a esta definición el propósito del diseño es generar modelos de pastizal que satisfagan un conjunto de criterios, normalmente implícitos relacionados con el mejora miento de una realidad, que corresponde al fenómeno. El diseño se realiza en tres etapas. La primera se inicia en una idea y concluye en conceptos, lo cual implica crear algo que no ha existido previamente, por lo cual constituye el borde entre imaginación y realidad. Es la etapa de lo inesperado, es la etapa de las invenciones.. La segunda etapa, es aquella en la cual la estructura se desarrolla en una forma dada. La tercera etapa es la definición final de la estructura hasta sus últimos detalles. Es la etapa de llevar a la realidad el diseño (Blumrich, 1970). En el caso del pastizal, se requiere diseñar tanto la forma vital de la planta, lo cual se logra por mecanismos genéticos, como su organización topológica, lo cual ocurre a través de mecanismos ecológicos y de manejo y utilización del sistema.

#### TEORIA TUBULAR

Desde que se introdujo el procedimiento de cortes estratificados de la vegetación (Monsi y Saeki, 1953) se ha logrado un avance considerable en el conocimiento y descripción de perfiles verticales de diversas especies y comunidades. Esta información demuestra que existe una relación espa cial consistente entre los diversos tipos de órganos y tejidos en la planta. La relación entre el tejido de sostén y el foliar, puede quedar bien comprendida y descrita a través de la aplicación de la teoría tubular de Shinozaki et al.(1964), la cual se presenta y analiza de acuerdo al esquema de estos autores.

El diagrama de cortes estratificados de Monsi y Saeki (1953) presenta la distribución vertical del follaje ( $\Gamma$ ) y de

los órganos de sostén (C), contenidos en una capa horizontal de un espesor dado ( $\Delta z$ ), en una unidad de área. La distribución de las curvas ( $\Gamma z$ ) y (Cz) son características para cada especie (Figura 1). Los órganos de sostén, existentes a la altura z, soportan el follaje que se encuentra sobre éstos, tanto mecánicamente como en su funcionamiento.

La cantidad de hojas presentes sobre z, es igual a:

$$F(z) = \int_z \Gamma(z) dz \quad (3)$$

Existe una correlación estrecha entre F(z) y C(z) resultando que F(z) ~ C(z), de manera que en el sector inferior de la curva se presenta una relación aproximadamente lineal, con excepción de las estratas inferiores que se presentan desprovistas de follaje. Por lo tanto: la cantidad de follaje existente en y sobre el horizonte respectivo es proporcional a la cantidad de ramas y troncos existentes en ese horizonte. La proporción entre estos elementos se ajusta a lo siguiente:

$$F(z) = L \cdot C(z)$$

donde:

L es la constante, que se expresa en cm,

de lo cual se deriva que:

$$\frac{dF}{dz} = \Gamma = -L \frac{dC}{dz}$$

lo cual significa que la cantidad de elementos de sostén disminuyen en los horizontes superiores en la proporción que disminuyen los elementos foliares. La constante de proporcionalidad L y  $\Delta z$  tienen valores fijos para cada especie, por lo cual, se tiene que una cantidad dada de hojas se asocia hacia abajo a una cantidad fija de elementos de soporte, para un área dada. Es factible, por lo tanto, establecer una analogía

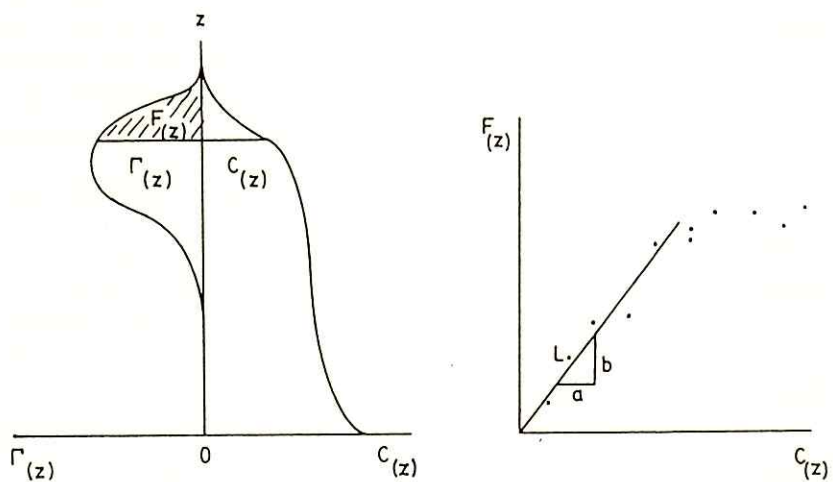


Figura 1. Distribución vertical por estrata del follaje ( $\Gamma$ ), de los elementos de soporte ( $C$ ) y del follaje de la estrata y estratas superiores ( $F$ ) y de sus relaciones (Shinozaki et al., 1964).



entre una cantidad dada de hojas y su tubo equivalente, cuya sección de área es contante.

El tubo se comporta tanto como elemento conductor o vascular, o bien como de soporte. El conjunto de hojas y tubo se denomina la unidad del sistema tubular. En este sentido, una comunidad vegetal no es otra cosa que un conjunto de unidades tubulares que mantienen una relación  $F(z)$  a  $C(z)$  dada. Una planta es un conjunto de unidades tubulares y una comunidad es un conjunto de plantas (Figura 2). El perfil de una planta analizada, es por lo tanto, análogo al de la comunidad (Shinozaki et al., 1964).

#### MAXIMA FITOMASA PERSISTENTE

La ley de la máxima fitomasa persistente establece que el ecosistema tiende a sobrevivir y crecer hasta alcanzar la máxima fitomasa persistente (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Esta ley está relacionada con tres propiedades del ecosistema a saber:

- Su tendencia a persistir, a pesar de las acciones que se ejerzan sobre él,
- Su tendencia a continuar creciendo a pesar de las fluctuaciones ambientales, y
- El crecimiento del ecosistema es continuado aunque los componentes sean de menor longevidad.

En este proceso de persistencia y crecimiento de la biocenosis, algunos de sus componentes tales como: tejidos, órganos, organismos o poblaciones van desapareciendo siendo reemplazados por otros de manera que el conjunto ecosistémico continúa creciendo. Aunque los mecanismos organizativos difieren para cada nivel de complejidad, al igual que la magnitud de las tasas de crecimiento de cada una de las estructuras del sistema, la persistencia y crecimiento constituyen propie-

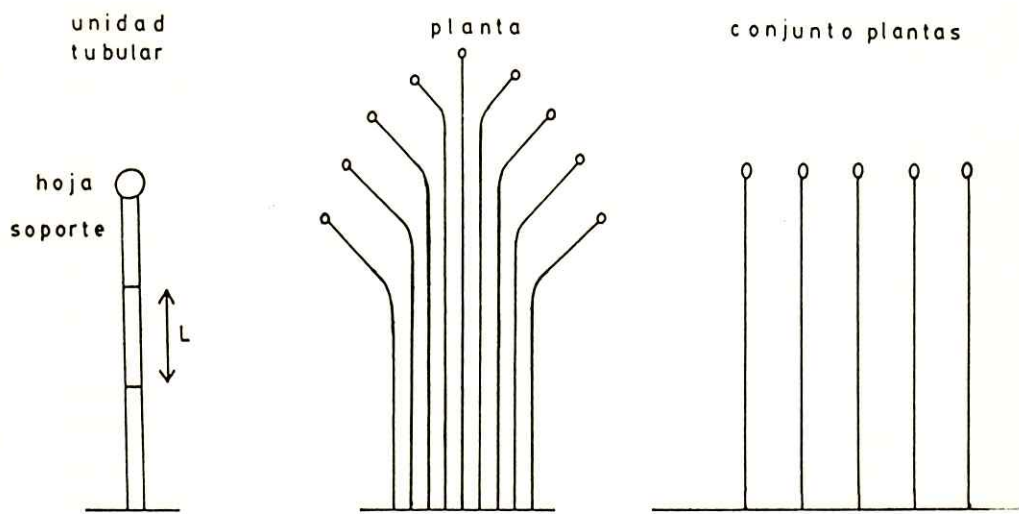


Figura 2. Representación diagramática de la unidad del sistema tubular (a), de un conjunto de unidades tubulares (b) y de un conjunto de plantas (c) (Shinozaki et al., 1964).

dades fundamentales de los organismos vivos (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

El ambiente que rodea a la fitocenosis no es constante, presentando fluctuaciones que varían tanto en su amplitud como en la fase. Las poblaciones capaces de subsistir son la base de la persistencia del sistema. Las relaciones de retroalimentación entre el medio ambiente total y la fitocenosis, expresado a través de su tasa de cambio y ajuste, son la base de la persistencia del sistema.

El crecimiento ecosistémico, en un ambiente constante, tiende a alcanzar un máximo que persiste en estado de equilibrio con el medio. Las variaciones medioambientales, que oscilan alrededor de una media, reducen este nivel de equilibrio, de manera de alcanzar una fitomasa persistente inferior a la que ocurre en ambientes constantes (Figura 3).

El incremento de la severidad o frecuencia de las alteraciones tiende a modificar al arreglo topológico de los componentes del sistema y a reducir la máxima fitomasa persistente. Los ecosistemas tienden a crecer hasta alcanzar la máxima cantidad de tejido vivo compatible con el ambiente medio y de sus variaciones alrededor de la media, en el rango correspondiente (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Los componentes que cumplen funciones específicas de carácter de sobrevivencia del sistema ecológico, tienden a persistir. En igual forma, las estructuras anatómicas de cada una de las especies sufren modificaciones que tienden a lograr una mejor adaptación a la severidad del medio ambiente y de la frecuencia de alteración. La presión selectiva interior negativa, que se ejerce en esta forma sobre las diversas estructuras de la fitocenosis, elimina a las estructuras que no cumplen funciones vitales en el sistema.

#### COMPONENTES DE LA ARQUITECTURA

Los diversos organismos que integran la biocenosis

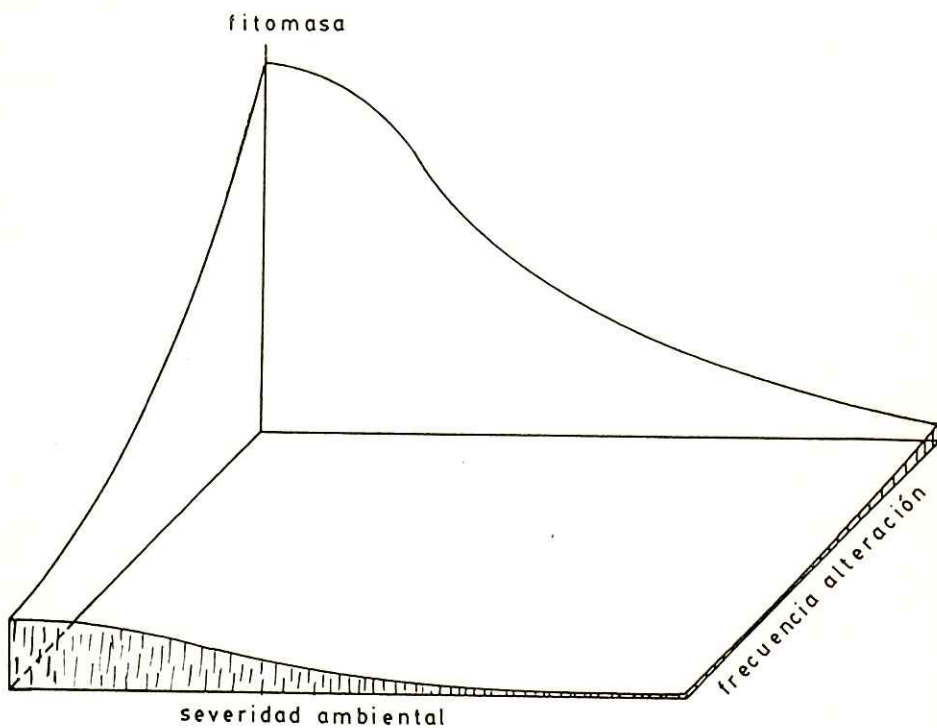


Figura 3. Efecto general de la severidad ambiental y de la frecuencia de alteración en la máxima biomasa persistente (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).



presentan un conjunto de estructuras citológicas, histológicas y de órganos tal, que permite identificarlos, caracterizarlos y agruparlos sistemáticamente todo lo cual puede permitir entificar y cuantificar su arquitectura. El comportamiento del sistema es una consecuencia de su arquitectura y del nivel de estímulos que ésta recibe. Cada uno de los componentes de la arquitectura, sus estructuras, cumple alguna función que incide en el comportamiento global del sistema.

El comportamiento total  $\beta$  del ecosistema representa el conjunto  $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$  de las diversas funciones de comportamiento de cada nodo. Simbólicamente se tiene que:

$$\beta = \Psi(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n), \text{ y} \quad (6)$$

$$\beta_i = \beta(\sigma_i(\eta_1)) \quad (7)$$

Cada una de las funciones  $\beta_i$  de comportamiento nodal está relacionada con un cierto subconjunto definido de componentes topológicos o variables de estado. Los componentes topológicos o estructuras, directamente relacionados con  $\beta_i$  corresponden al conjunto de componentes pertinentes del comportamiento nodal, y los componentes restantes a los impertinentes.

Lo anterior se puede interpretar como la partición del conjunto de componentes topológicos:

$$\{\sigma_k(\eta_k)\}$$

que intervienen en una función determinada  $\beta_k$  en dos subconjuntos:

$$\{\sigma_i(\eta_i)\} \text{ y} \\ \{\sigma_j(\eta_j)\}$$

los cuales son mutuamente excluyentes, de manera que el subconjunto que contiene los elementos pertenientes  $\sigma_i(\eta_i)$  es el responsable de  $\beta_k$  directo, por lo cual:

$$\sigma_i(\eta_i) \Rightarrow \beta_k$$

Las estrategias de provocar un cambio de estado del sistema pueden agruparse en dos grandes categorías:

- cambio del estímulo  $\epsilon$  aplicado al sistema, y
- cambio del comportamiento  $\beta$ , lo cual implica necesariamente un cambio de la arquitectura del sistema, a través de la modificación de su arreglo topológico.

Los componentes topológicos del ecosistema, en general, pueden agruparse, en tres categorías principales, a saber: activos, pasivos y de cambio de estado.

Los componentes topológicos activos son:

Componente topológico de adición de estímulos $D^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de adición de estímulo $D^{\beta}$ ,
Componente topológico de ingestión de estímulos $I^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de ingestión de estímulos $I^{\beta}$ ,
Componente topológico de asimilación de estímulos $A^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de asimilación de estímulos $A^{\beta}$ ,
Componente topológico de transformación de estímulos $T^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de transformación de estímulos $T^{\beta}$ ,
Componente topológico de translocación de elementos $C^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de translocación de elementos $C^{\beta}$ , y
Componente topológico de cosecha de estructuras ecosistémicas $S^{\sigma(\eta)}$	====>	Comportamiento de cosecha de estructuras ecosistémicas $S^{\beta}$

Los componentes topológicos pasivos son aquellos que no inciden directamente en forma activa en el comportamiento

$\beta_j$  del nodo respectivo, aunque actúan pasivamente a través de otras funciones, por lo cual pueden también ser necesarias para lograr una plena armonía entre las estructuras del sistema. Son los siguientes:

Componente topológico de soporte y forma de la estructura $F^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de soporte y forma $F^{\beta}$
Componente topológico de anclaje o inserción $G^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de anclaje o inserción $G^{\beta}$
Comportamiento topológico de defensa $H^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de defensa $H^{\beta}$
Comportamiento topológico de cobertura $J^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de cobertura $J^{\beta}$
Componente topológico - métricovascular $V^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento metricovascular $V^{\beta}$

Los componentes topológicos de cambio de estado son todas las variables de estado, pues pueden modificar su tamaño individual  $n_2$  o poblacional  $n_1$ , asimismo el arreglo topológico  $\sigma$  que les contiene, todo lo cual implica un cambio en el contenido de materia, energía o información del sistema ecológico. Solamente algunas estructuras y arreglo topológico de estructuras son capaces de crecer y desarrollarse, teniéndose:

Componente topológico de desarrollo y crecimiento $K^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de crecimiento y desarrollo $k^{\beta}$ , y
Componente topológico de almacenamiento $L^{\sigma}(n)$	===>	Comportamiento de almacenamiento $L^{\beta}$

Las modalidades de cambio de estado de cada una de las variables que caracterizan al sistema se ajustan a distintos modelos de carga y descarga de acuerdo a sus características intrínsecas y a las tasas de aportes y cosecha de estímulos.

Lo anterior se puede presentar en forma más compacta en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \{D^\sigma, I^\sigma, A^\sigma, T^\sigma, C^\sigma, S^\sigma\} &= \sigma_{\text{activo}} \\ \{F^\sigma, G^\sigma, H^\sigma, J^\sigma, V^\sigma\} &= \sigma_{\text{pasivo}} \\ \{K^\sigma, L^\sigma\} &= \sigma_{\text{cambio}} \end{aligned}$$

tal que:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{activo}} &====> \beta_{\text{activo}} \\ \sigma_{\text{pasivo}} &====> \beta_{\text{pasivo}} \\ \sigma_{\text{cambio}} &====> \beta_{\text{cambio}} \end{aligned}$$

de tal forma que:

$$\{\sigma_{\text{activo}}, \sigma_{\text{pasivo}}, \sigma_{\text{cambio}}\} ====> \beta_{\text{Total}}$$

y equivalentemente, se tiene que:

$$\sigma_{\text{Total}} ====> \beta_{\text{Total}}$$

La fitocenosis, al igual que la zoocenosis, puede descomponerse en sus estructuras activas, pasivas y de cambio de estado. Esta descomposición puede efectuarse a diversos niveles de complejidad, lo cual se expresa en resultados diferentes. Los niveles de complejidad más convenientes pueden ser; estructuras subcelulares, celulares, histológicas, órganos o de sistemas de órganos.

El análisis de las estructuras fitocenósicas, a menudo, alcanza hasta niveles subcelulares, lo cual ocurre con los análisis bromatológicos, en los cuales se llega a descomponer la planta en componentes tales como: pared celular, lignina y celulosa, que expresan componentes celulares, pasivos que pueden estar en cualquier órgano o tejido de la planta, proteína digestible, que representa principalmente componentes activos intracelulares, o bien en energía digestible que representa almacenados de la planta que se presentan como tales, o



bien, que aún no se han transformado en estructuras activas o pasivas. La descomposición de la fitocenosis, al nivel de complejidad subcelular ha sido lo usual en los estudios de pastizales, lo cual se continúa practicando debido a las obvias ventajas bromatológicas que presenta, especialmente una vez que ha sido ingerido por el animal. Presenta, sin embargo, una debilidad, cual es la carencia de información en relación a su organización topológica en la fitocenosis, con todas las consecuencias que ello implica en la evaluación de la calidad de la pradera.

En los estudios de arquitectura de la pradera, usualmente, el análisis de la fitocenosis alcanza hasta el nivel de complejidad del órgano, tal como ocurre con la teoría tubular (Shinozaki et al., 1964). En esta forma es posible analizar la calidad de las diversas estructuras de la pradera, analizar el comportamiento  $\beta$  de cada una y evaluar la organización topológica de éstas, especialmente en lo relacionado con la utilización y consumo por el herbívoro.

Al nivel de complejidad del órgano, la fitocenosis puede descomponerse en las siguientes estructuras:

- Activas, que son todas aquellas estructuras potencialmente involucradas en la adición, ingestión y asimilación de estímulos, transformación y translocación de elementos y cosecha de estructuras. Entre éstas puede mencionarse las hojas, raíces absorbentes, tallos fotosintetizadores y elementos de componente primario tal como ápices vegetativos.
- Pasivas, son todas aquellas estructuras potencialmente involucradas en funciones tales como: soporte, dar forma a la arquitectura y estructura, anclaje o inserción, defensa, cobertura y métrico-vascular. Entre éstas merece mencionarse las fi-

bras de sostén, tejido conductor de xilema y flo-  
ema, espinas y otros órganos de defensa, cutícula  
y tricomas, y

- Cambio de estado, que son todas aquellas estructu-  
ras potencialmente involucradas en funciones de  
almacenamiento de materia, energía e información.  
Entre éstas merece mencionarse frutos, tubérculos,  
bulbos, semillas y rizomas.

Las diversas formas vitales que caracterizan una fi-  
tocenosis presentan proporcionalidades extremas entre sus com-  
ponentes activos, pasivos y de cambio de estado. Los árboles,  
por ejemplo, presentan predominio de los componentes pasivos,  
los cuales al alcanzar su máximo desarrollo y crecimiento, la  
relación entre componentes pasivos y activos es muy amplia.  
En oposición a ello, las hierbas se expresan en una proporción  
inversa, donde los componentes activos predominan ampliamente  
sobre los pasivos. En los cultivos de granos, los componentes  
de cambio de estado, tales como semillas o tubérculos, se pre-  
sentan en magnitudes mayores.

La proporción que se presenta entre los diversos  
componentes en las plantas pratenses varía entre extremos muy  
amplios que van desde los árboles a arbustos o hierbas. En-  
tre las especies herbáceas también existen diferencias marca-  
das en sus arquitecturas, lo cual se expresa en la utilización  
de la pradera por el animal y en las tasas de descarga.

#### FUNCION DE ARQUITECTURA

La arquitectura de la planta o de la fitocenosis  
debe ser descrita en base a algún modelo o imagen que la re-  
presente (Flores y García, 1972; Gary, 1976). Dado que no es  
posible elaborar imágenes que representen con fidelidad, exac-  
titud y exhaustivamente al fenómeno, es necesario decidirse  
por algún modelo que corresponda en cierta medida a la reali-  
dad, y que contenga los elementos relevantes de acuerdo al

propósito perseguido en su elaboración. Es por ello que el modelo debe ser ad hoc.

La imagen que se elabore debe permitir comprender, plantear y resolver el fenómeno tal como se presenta en la naturaleza. Una vez logrado el objetivo es necesario ejecutar la solución, lo cual implica regresar al fenómeno. Esta imagen debe permitir, por lo tanto, su contrastación con el fenómeno. En el estudio de utilización de pastizales, la imagen debe permitir la descripción cuantitativa de su descarga, en una dimensión topológica, por tratarse de un sistema cuyos atributos están relacionados con la organización topológica del forraje en el ecosistema.

La imagen del ecosistema de pastizal puede ser representada en modelos de dos tipos: isomórficos y homomórficos. Los modelos isomórficos del pastizal se refieren a su imagen elaborada a partir del fenómeno con la característica de corresponder aproximadamente a la misma figura o forma. Estos modelos son de mayor importancia en aquellas materias en que la forma juega un papel importante en el comportamiento del objeto (Ashby, 1956). Este enfoque significa establecer relaciones de uno a uno entre la pradera como fenómeno y su imagen o modelo (Korshunov, 1976). En igual forma, los modelos isomórficos no visuales presentan también una equivalencia de uno a uno, aunque esto no es de naturaleza espacial. Los modelos isomórficos no visuales se aplican a tres tipos de situaciones diferentes:

- Eventos que se aplican a un mismo molde, pero con bases físicas diferentes.
- Sistemas dinámicos diferentes, pero con estímulos y respuestas análogas, y
- Sistemas dinámicos con equivalencia matemática.

Quando el mecanismo fenomenológico es muy complejo, o su prueba resulta tediosa y no parece conveniente resolver



el fenómeno; es posible su sustitución isomórfica de manera de lograr la solución del problema, lo cual es lo usual en el pastizal. Cada vez que se llega a un modelo complicado de resolverse en el fenómeno mismo se recurre a una solución isomórfica analógica, cuando ello es más simple, comprensible o fácil de investigar y controlar, aunque no siempre sea de una evidencia totalmente confiable (Ashby, 1956).

Existe homomorfismo cuando se presenta una equivalencia de varios a uno, lo cual corresponde a una reducción, desde una situación más compleja a una isomórfica con la más simple. Existe homomorfismo entre un fenómeno y su imagen si se retienen sus características esenciales. Un pastizal puede ser reducido adecuadamente si se retienen sus elementos y atributos esenciales. El tratamiento científico de un pastizal, que es de naturaleza compleja no requiere que se distinga cada una de sus partes. A esta reducción de muchos a 1 se le denomina homomórfica (Ashby, 1956).

La elaboración de imágenes isomórficas de la arquitectura del pastizal puede lograrse a través del empleo del procedimiento de cortes estratificados de la vegetación propuesto por Monsi y Saeki (1953), el cual ha sido modificado por Gastó y Olivares (1979) para situaciones específicas, para la descripción de arbustos creciendo en poblaciones abiertas, en densidades bajas. La aplicación de este procedimiento permite describir perfiles verticales de vegetación pratense.

En el estudio de Gastó y Olivares (1979), en lugar de procederse a describir la vegetación a través de cortes de las estratas horizontales de manera de construir un perfil vertical de la vegetación, se procedió a generar una imagen concéntrica de los componentes. Por tratarse de un arbusto, cuya forma, al crecer aisladamente, se aproxima a la de una semiesfera, cuyo centro corresponde al del centro de la planta se le describió en una imagen ajustada a esa forma geométrica (Figura 4). La cantidad de los componentes activos, pasivos y de cambio de estado, aparecen indicados en la fig.4.



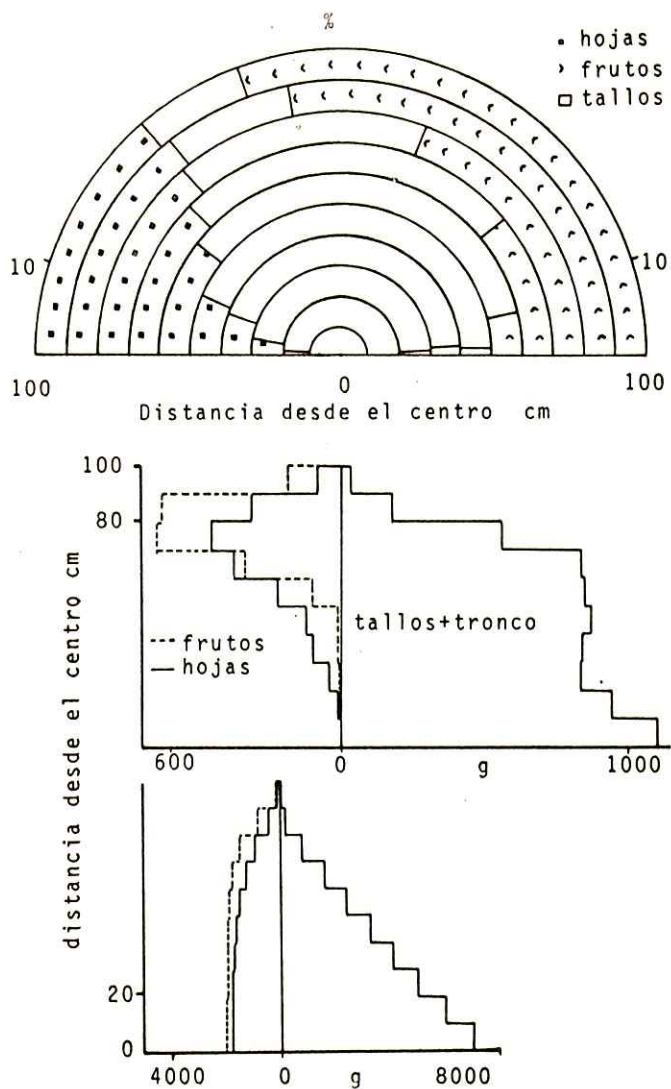


Figura 4. Imágenes isomórficas de una planta de *Atriplex repanda* Phil. de una pradera de ocho años utilizada anualmente por ganado ovino con una frecuencia de 12 meses a. Esquema ilustrativo de la estratificación de los cortes en la planta de forma semiesférica. b. Estratificación no acumulativa, por horizonte, de los componentes activos, pasivos y de cambio de estado, y c. Estratificación acumulativa (Gastó y Olivares, 1979).

De igual manera es factible presentar curvas de distribución de los componentes de la fitomasa, representativos de las funciones isomórficas de la planta (Figuras 5 y 6).

A la luz de los antecedentes y planteamientos presentados por Schinozaki et al. (1964), en los trabajos relacionados con la teoría tubular, donde se establece que existe una relación entre tejido activo y pasivo, es posible establecer relaciones generales que permitan describir homomórficamente cualquier arquitectura vegetal. Basado en algunos de los postulados de estos autores y empleando resultados experimentales generados con el propósito de caracterizar la arquitectura del pastizal, se propuso un modelo homomórfico que permite caracterizar la forma de la planta con sólo dos variables (Gastó y Olivares, 1979).

La forma de la planta debe ajustarse a las características del material de constitución, especialmente en el caso del tejido de sostén, es decir, de los tallos y de la masa y ubicación de los elementos soportados, en este caso hojas y frutos, además de los tallos ubicados en los horizontes superiores. Existe por lo tanto, una relación estrecha entre la masa soportada y la masa de sostén la cual de estar relacionada con la resistencia propia del material.

Shinosaki et al. (1964) buscaron establecer esta relación, y determinaron una relación rectilínea que caracteriza parcialmente a la planta. Se llegó, positivamente, a la conclusión que la función rectilínea entre follaje y sostén se discontinúa al aumentar la estatura de la planta sobre cierta estatura, hasta que finalmente el incremento del soporte no viene acompañado del incremento del follaje.

Los resultados del estudio indican que la relación entre el tejido de sostén y follaje se ajusta a una función exponencial del tipo:

$$y = A(1 - e^{-bx}) \quad (8)$$

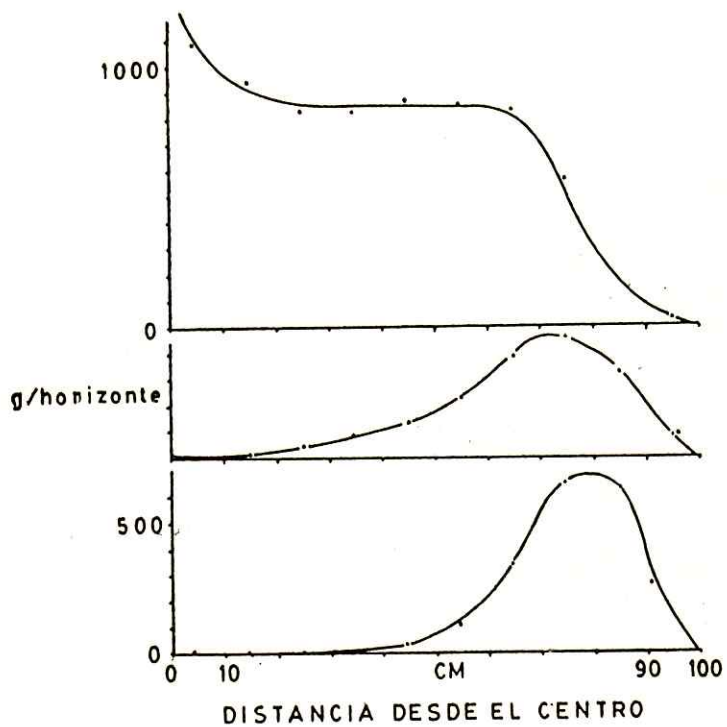


Figura 5.- Imagen isomórfica de los elementos de la arquitectura de plantas de *Atriplex repanda*, previo a la utilización. Fitomasa de cada componente en los horizontes respectivos (Gastó y Olivares, 1979).

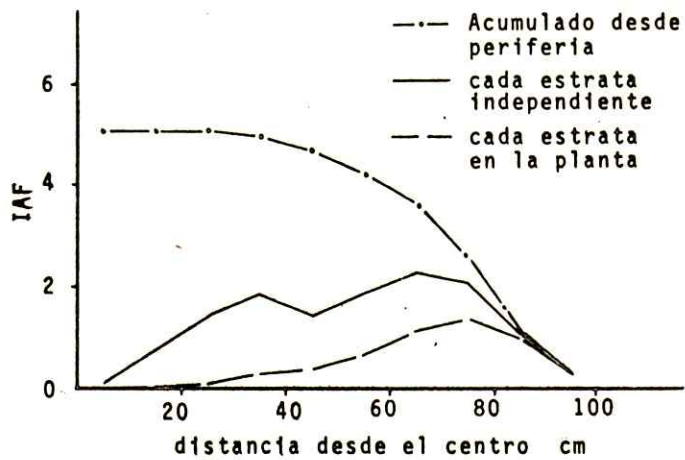


Figura 6. Imagen isomórfica del índice del área foliar de plantas de Atriplex repanda, previo a la utilización (Gastó y Olivares, 1979).

donde  $b$  determina la pendiente de la curva y  $A$  es el valor de la asíntota en  $y$ , cuando la fitomasa foliar alcanza su máximo. La importancia de esta relación es que con sólo conocer el valor de la asíntota y el de la pendiente, es posible describir la arquitectura de la planta (Figura 7). La caracterización del pastizal, a través de la elaboración de su imagen homomórfica, tal como la indicada, es un requisito para el establecimiento de relaciones generales entre la arquitectura del pastizal y su función de descarga.



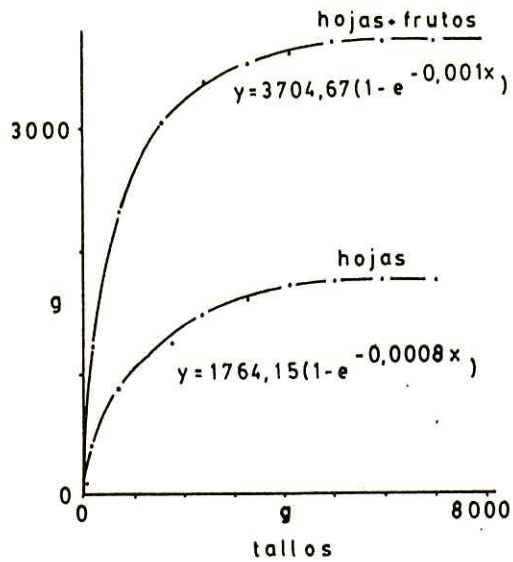


Figura 7. Modelo homomórfico de la arquitectura de Atriplex repanda que representa la relación entre la fitomasa del follaje, o de éste más los frutos, y de los tallos (Gastó y Olivares, 1979).

## CARGA Y DESCARGA

La arquitectura del ecosistema puede ser considerada como un conjunto de estructuras susceptibles de almacenar y entregar materia, energía e información. Por lo tanto, el ecosistema debe caracterizarse por manifestar una capacidad de almacenamiento, una eficiencia de conservación de la carga, un costo de almacenamiento y una tasa de carga y descarga. En el caso de la pradera, el componente que acumula la carga en forma de tejido vegetal es la fitocenosis.

Carga ecosistémica es el contenido de materia, energía e información en un instante dado. Se entiende por  $Q$  el valor total de los diversos tipos de energía contenida en el ecosistema en un instante dado. Un caso de energía generalizada está dado por:

$$Q(t) = \sum_i c_i U_i(t) \quad (9)$$

donde:  $U_i$  = energía del tipo  $i$  contenida en el ecosistema, y

$c_i$  = coeficiente del valor ecológico de la calidad de la energía, que depende del contenido de información.

Se puede suponer que la densidad de carga de la arquitectura sigue la siguiente actuación paramétrica:

$$\frac{d \delta Q}{dt} = f(\delta Q, C_Q, t) \quad (10)$$

donde la función  $f$  tiene una forma determinada de acuerdo con el tipo de proceso de que se trate y  $C_Q$  representa la capacidad potencial de carga  $Q$ . Un caso especial de esta ecuación está dado por:

$$\frac{dQ}{dt} = AQ + BQ^2 \quad (11)$$

que representa la ecuación logística de crecimiento en un ambiente limitado por la capacidad máxima de carga  $C_Q$  contenida en las constantes. En éste la capacidad de carga del arreglo topológico se mantiene constante.

El cambio de estado del ecosistema es un proceso continuo y cíclico que consta fundamentalmente de dos etapas: una de carga y otra de descarga (Figura 8). La etapa de carga ( $\tau_c$ ) consta de dos partes separadas por un punto de inflexión de la curva. En el sector correspondiente a  $t_1 - t_0 = \tau_1$ , la acumulación de la carga se debe al proceso de transformación de los componentes topológicos, pudiéndose denominar como la etapa de construcción del arreglo topológico  $\sigma(\eta)$ . La segunda parte del período  $\tau_2$  de carga corresponde al proceso de crecimiento del sistema, en el cual el cambio de  $Q$  se origina principalmente en un incremento del valor de  $\eta(t)$ . El cambio de  $\eta$  involucra tanto al tamaño de los componentes  $\eta_1$  como a su número  $\eta_2$ , lo cual implica necesariamente un cambio de  $\sigma(\eta)$ , pues no puede haber crecimiento si no existe un cambio topológico de la arquitectura.

El período de descarga  $\tau_D$  consta a su vez de dos partes  $\tau_3$  y  $\tau_4$ . La primera etapa corresponde a la cosecha de  $\eta$ , lo cual, al igual que en la etapa  $\tau_2$ , debe venir acompañada de un cambio en el arreglo topológico. La segunda parte del proceso de descarga  $\tau_4$ , corresponde a la etapa de desintegración de los componentes topológicos  $\sigma(\eta)$  concluyendo en la etapa final donde alcanza su  $Q$  mínimo.

En el manejo de recursos naturales y en los procesos de transformación de arquitecturas se persigue desarrollar arreglos topológicos que permitan mantener una capacidad de carga  $C_Q$  compatible con la carga que es capaz de producir el sistema y con la mínima carga constante que debe retener el sistema con el fin de conservar los nutrientes y el agua (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).



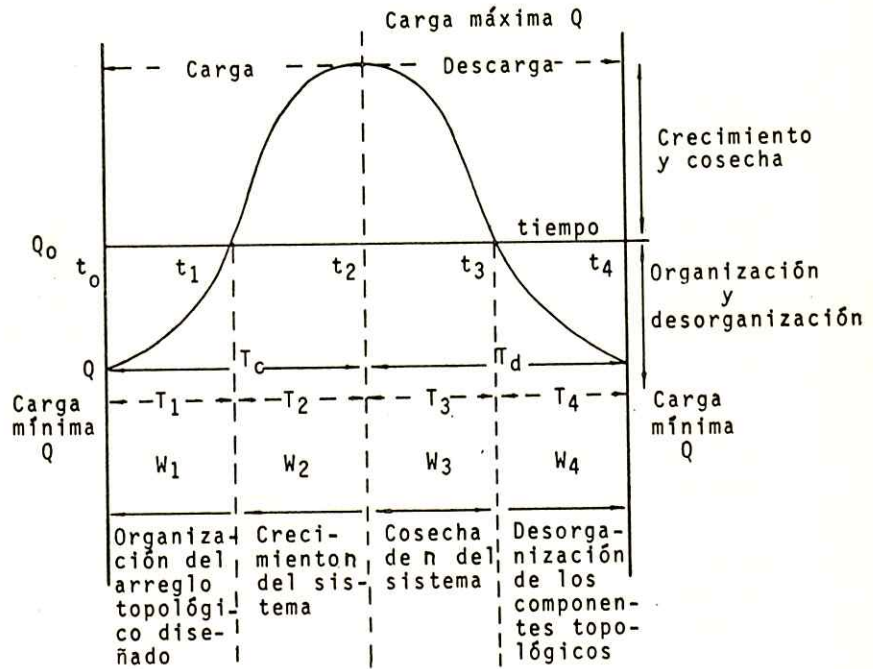


Figura 8. Ciclo conceptual de las etapas generales de carga y descarga del ecosistema (Nava, Armijo y Gastó, 1979).

Puesto que el ecosistema debe almacenar energía, materia e información, algunas unidades son más adecuadas que otras para almacenar un cierto tipo de estímulos, conforme a su naturaleza. Los acumuladores ecosistémicos, en general presentan cierta eficiencia para retener lo acumulado.

Esta eficiencia depende de:

- características topológicas propias de las unidades de acumulación, y
- características propias del producto acumulado y de la cubierta protectora o aislante del acumulador.

Algunos ejemplos de acumuladores ecosistémicos son las mazorcas de maíz y sus granos, las nueces, el tronco de un árbol, el suelo como acumulador de agua, iones y calor, el forraje que acumula una fracción de la energía solar y de la materia transformada en proteína, celulosa, carbohidratos no estructurales, y otros (Figura 9).

El diseño de acumuladores ecosistémicos, significa organizar arreglos topológicos para tales propósitos involucrando, por lo tanto, un costo de transformación, puesto que es necesario producir las unidades de acumulación y su cubierta protectora. Fuera de ello, es necesario construir un sistema conductor desde los productos transformados hasta las unidades de acumulación. Dado que la acumulación significa, a menudo, una concentración de estímulos que pueden ser fácilmente cosechados o descargados es necesario, además, incurrir a costos para producir mecanismos defensivos que tiendan a evitar esta descarga, aunque su efectividad no sea total.

Existe, por lo tanto, un costo de almacenamiento tal que:

$$\omega_Q = g(\omega_{Q1}, \omega_{Q2}, \omega_{Q3}, \omega_{Q4}) \quad (12)$$

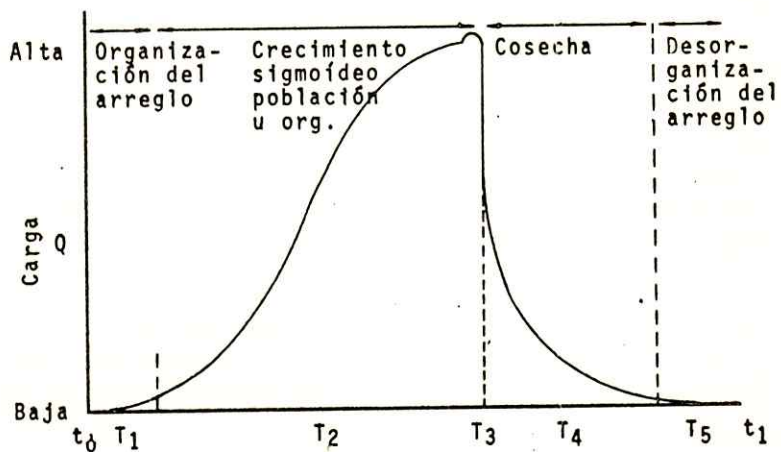


Figura 9. Esquema de un ciclo generalizado de carga y descarga del arreglo topológico de un ecosistema de pastizal.

donde:

$\omega_{Q1}$  = costo de elaboración de estructuras de transporte y del transporte de los estímulos hacia el acumulador.

$\omega_{Q2}$  = costo de elaboración de la cubierta protectora o aislante,

$\omega_{Q3}$  = costo de construcción de las unidades de acumulación, y

$\omega_{Q4}$  = costo debido a pérdidas de carga.

Es posible suponer que, en general, el costo de almacenamiento es mayor mientras mayor sea la concentración de los estímulos acumulados. Es posible, además, suponer que para una capacidad  $C_Q$  dada, mientras mayor sea el número de unidades de acumulación y, por lo tanto, menor capacidad por unidad de acumulación, el valor de  $\omega_Q$  es mayor.

Los procesos agrícolas de cultivos y ganadería corresponden generalmente a actividades periódicas de ciclo anual que se caracterizan por aumentar su productividad y almacenamiento durante algún lapso, comportándose en esta forma como un acumulador, para luego ser cosechados en un lapso que puede ser relativamente breve, correspondiente a la descarga. Tanto para acumular como para descargar, se requiere de conductores que permitan llevar el estímulo al condensador o desde éste al punto de descarga. El factor limitante puede ser, en ciertos casos, la capacidad de conducción del estímulo, desde o hacia el acumulador.

La descarga del ecosistema no ocurre espontáneamente, pues existen mecanismos cibernéticos que operan evitando el proceso. La complejidad de estos mecanismos es muy variable y en algunos casos se logra mantener almacenada a la energía acumulada por periodos de años o siglos. Normalmente,

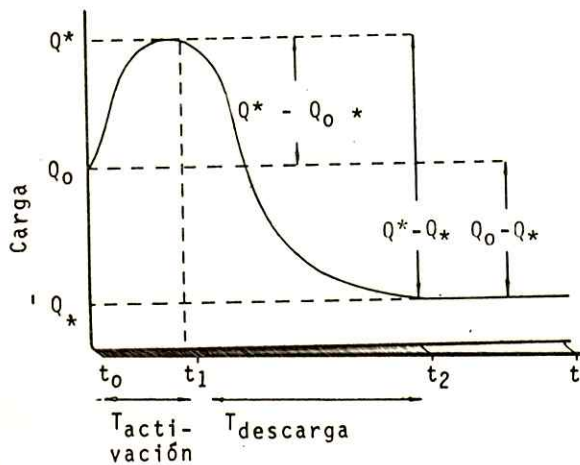


la transición desde un nivel de carga a otro se efectúa en cierto tiempo. El proceso de descarga entrega una carga equivalente a  $Q^* - Q_*$  el cual incluye la energía de activación. Sin embargo, la energía de activación normalmente se descarga en forma degradada (Figura 10).

Los procesos de carga y descarga pueden ser graduales o abruptos. Un ejemplo del primer proceso puede ser la carga de un ecosistema por fotosíntesis, donde la producción de glucosa puede ser descrita por una función continua. La evapotranspiración de un pastizal es un ejemplo de descarga gradual y continua de un sistema ecológico.

Algunos procesos, aparentemente irregulares, al ser considerados en otro nivel de resolución, adquieren una regularidad análoga a la anterior. En la resolución de problemas sistemogénicos es necesario, sin embargo, trabajar todos los procesos a un mismo nivel de resolución, lo cual obliga a considerar a estos últimos dentro del marco de la teoría catstrófica de  $Thom^m$  (1975), que los torna cualitativos y discontinuos. Un ejemplo de descarga catstrófica lo constituye la corta de un árbol, la cosecha de un pastizal con una segadora, o por el ganado que le utiliza rotativamente, el rompimiento de una ola, el control de insectos con insecticidas, y el control de malezas por roturación del suelo. Entre los ejemplos de carga catstrófica del ecosistema se tiene el proceso de aradura, el cual transforma y organiza abruptamente el arreglo topológico de los elementos del suelo. Otros ejemplos son el riego gravitacional y la siembra de pastizales.

Entre las actividades de fitomejoramiento de especies de pastizal, debe contemplarse arquitecturas de plantas que sean compatibles, tanto con las actividades metabólicas del manejo y utilización, como con las metastrólicas, de manera que las especies que componen la fitocenosis, se encuentren en armonía con los demás componentes y acontecimientos del sistema ecológico.



energía de Activación =  $Q^* - Q_0$   
 energía bruta de descarga =  $Q^* - Q_*$   
 energía neta de descarga =  $Q_0 - Q_*$

Figura 10. Energía de activación para un proceso de descarga ecosistémica.

## DESCARGA

### VIDA MEDIA

Una de las virtudes de los modelos exponenciales es que el tiempo requerido para alcanzar la mitad del nivel de la asíntota, es igual que el tiempo requerido para alcanzar a la mitad siguiente (Olson, 1963). Si se considera la ecuación:

$$X = \frac{L (1 - e^{-kt})}{k} \quad (13)$$

donde:

- X es la cantidad de materia o energía presente en el sistema por unidad de área
- L es el aporte de materia o energía y
- k es la tasa instantánea de descarga.

Las tasas netas de cambio para un intervalo grande de tiempo es igual a:

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \text{Aportes en el intervalo} - \text{Pérdidas en el intervalo.}$$

En modelos donde el aporte L de materia o energía es estable, la tasa instantánea de cambio  $\Delta X$  y  $\Delta t$  se aproximan a cero y la ecuación anterior se puede escribir en forma diferencial como:

$$\frac{dX}{dt} = L - kX \quad (14)$$

la tasa de pérdida  $kX$  se considera como el producto de la cantidad acumulada  $X$  y la tasa instantánea de pérdida  $k$ . En estado de equilibrio, es decir,  $\frac{dx}{dt} = 0$

$$L = k X_{SS} \quad (15)$$

donde:

$X_{SS}$  = cantidad de materia o energía presente en estado de equilibrio.

$$k = \frac{L}{X_{SS}}$$

En el caso especial en que el aporte de materia y energía (L) sea igual a cero, Shanks y Olson (1961) plantean que la descarga puede ser expresada en relación al remanente, de manera que:

$$\frac{dX}{X} = -kdt$$

El modelo para descargas constantes implica una pendiente negativa constante  $-k$  en un gráfico semilogarítmico de la cantidad inicial  $X_0$  remanente al tiempo  $t=0$ .

$$\ln X = -kt + \ln X_0$$

La fracción remanente es:

$$\ln \left( \frac{X}{X_0} \right) = -kt \quad (16)$$

Un segundo método de calcular el valor de  $k$  se logra por la estimación estadística de esta pendiente.

El antilogaritmo de ambos costados de esta ecuación corresponde a:

$$\frac{X}{X_0} = e^{-kt} \quad (17)$$

El tiempo de las medias vidas se logra por la solución de lo siguiente:

$$0,5 = e^{-kt}$$



para:

$$t = \frac{-\ln(0,5)}{k} = \frac{0,693}{k}$$

Existe una analogía entre las medias vidas de los materiales radioactivos y la de la materia o energía remanente en una pradera. Asimismo, existe una analogía con el "medio tiempo biológico" para la acumulación o eliminación de materiales en los organismos. Este concepto es análogo, aunque de signo contrario, al concepto de la unidad Baule, en fertilidad de suelos y en otras funciones análogas (Browne, 1942). El concepto de medias vidas es un parámetro descriptivo valioso, incluso en situaciones donde el modelo exponencial no se aplica (Cuadro 1). El modelo exponencial descrito en función del tiempo de media vida, puede ser empleado en relación a variables de intensidad, tal como ocurre con la dosis de fertilizante, densidad de plantas, o alguna otra (Figura 11).

Si el modelo exponencial es válido, el tiempo requerido para alcanzar el 95% del nivel final es equivalente a  $3k$  y, en tanto que,  $5k$  se aproxima al tiempo requerido para alcanzar 99% del nivel final. El valor recíproco  $1/k$  es el tiempo requerido para la descarga de la fracción de:

$$\frac{1}{e} = 0,368 \quad \text{del nivel inicial de acumulación, o bien.}$$

$$1 - \frac{1}{e} = 0,632 \quad \text{del nivel final.}$$

#### MINIMA FITOMASA PERSISTENTE

La ley de minimización de las limitantes de materia establece que el ecosistema funciona de manera de gastar la energía fácilmente disponible, de manera de minimizar las limitantes de nutrientes y agua (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

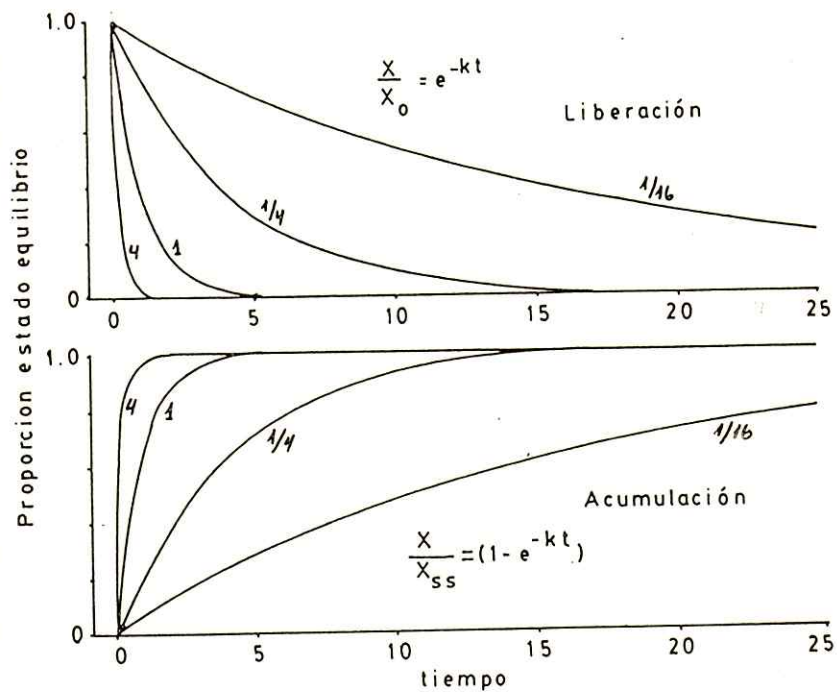


Figura 11. Ecuación exponencial de liberación y acumulación de materia y energía en un sistema cualquiera para valores de  $k$  igual a 4, 1, 1/4 y 1/16 (Olson, 1963).

Cuadro 1. Parámetros de acumulación exponencial de materia orgánica o de energía en ecosistemas con tasa constante de aportes de materia orgánica. (Basado en el esquema de Olson, 1963).

Parámetros de degradación		Vida media	95% del tiempo	Nivel del estado de equilibrio para la producción de L unidades por año L/k.			
$k = \frac{L}{\bar{X}_{ss}}$	$\frac{1}{k} = \frac{X}{L}$	$\frac{0,6931}{k}$	$\frac{3}{k}$	L=50	L=100	L=200	L=400
8	0,125	0,0866	0,375	6,25	12,5	25	50
4	0,25	0,1733	0,75	12,5	25	50	100
2	0,5	0,3466	1,5	25	50	100	200
1	1,0	0,6931	3	50	100	200	400
0,5	2,0	1,3862	6	100	200	400	800
0,25	4	2,7724	12	200	400	800	1600
0,125	8	5,5448	24	400	800	1600	3200
0,0625	16	11,0896	48	800	1600	3200	6400
0,03125	32	22,1792	96	1600	3200	6400	12800
0,014625	64	44,3584	192	3200	6400	12800	25600
0,007812	128	88,7168	384	6400	12800	25600	51200
0,003906	256	177,4336	768	12800	25000	51200	102400
0,001953	512	354,8672	1536	25600	51200	102400	204800
0,0009766	1024	709,7344	3072	51200	102400	204800	409600
0,0004883	2048	1419,4688	6144	102400	204800	409600	819200

En el proceso de acumular materia y energía que ocurre alternadamente con el proceso de liberar una parte de ella, el vegetal dispone de mecanismos que le permiten retener una parte de la fitomasa, de manera de minimizar las limitantes de nutrientes y agua. Lo anterior equivale a afirmar que luego de descargada la fitocenosis debe permanecer activa una cantidad de fitomasa en pie, cantidad que debe ser equivalente a aquella que permita minimizar las pérdidas.

La fitomasa remanente, que permanece en la fitocenosis luego del proceso natural de descarga ya sea por el ganado o por algún otro organismo, es la fitomasa de difícil descarga, ya sea por tratarse de tejido de sostén difícil de cosecharse o por tener algún mecanismo protector que dificulte la descarga. En el caso de sistemas artificiales, donde el tejido vegetal no dispone de mecanismos que le permitan conservar un remanente de fitomasa con el fin de minimizar las limitantes de nutrientes y agua, como resultado de ello, en la toma de decisiones de manejo y utilización debe dejarse un remanente sin utilizar.

Reichle, O'Neill y Harris (1975) establecen que los sistemas ecológicos pueden ser concebidos como unidades que procesan energía, las cuales no están, usualmente, limitadas por la disponibilidad de energía radiante, sino que por las disponibilidades de nutrientes esenciales y agua, además de ser controladas por el clima. Es por ello que en el diseño de plantas de pastizal debe considerarse las estructuras que regulan la mínima fitomasa permanente que debe permanecer remanente luego que el pastizal sea utilizado por el ganado o cosechado por la maquinaria.

La circulación de cada uno de los nutrientes o del agua tiene un costo energético diferente. Es este costo lo que integra energía con nutrientes o materia en general, ya que la mayor eficiencia de uno, a menudo está acompañado de una menor eficiencia de otro (Reichle, O'Neill y Harris,



1975). La energía que llega al ecosistema es relativamente ilimitada, todo lo cual se gasta en la conservación de los limitados recursos nutritivos. Así por ejemplo se tiene que un ecosistema de pastizal dado, puede ser muy ineficiente en la utilización de energía, con el fin de incrementar la eficiencia de utilización de nutrientes.

La diferencia entre la máxima y la mínima fitomasa persistente, corresponde a la fitomasa descargable. Su magnitud puede modificarse al elevarse el valor máximo o disminuirse el mínimo. La severidad ambiental o la frecuencia de intervención del sistema, al incrementarse reducen la fitomasa máxima, por lo cual la fitomasa neta descargable también debe disminuir. El mecanismo opuesto es reducir la mínima fitomasa, lo cual se puede lograr disminuyendo la ineficiencia de conservación de los nutrientes minerales y agua, o bien, adicionándole los nutrientes y agua, utilizados más ineficientemente, al reducir la fitomasa.

#### MODELOS DE DESCARGA

Existen en la naturaleza diversos fenómenos que ofrecen comportamientos similares, lo cual hace pensar que no son simples coincidencias, sino que se trata de fenómenos gobernados por un mismo principio (González, 1979). Algunos de los fenómenos y procesos que pueden mencionarse al respecto son:

- Degradación del mantillo de un bosque, generado por la caída de hojas, ramas y otros restos vegetales, lo cual se ajusta a la siguiente ecuación (Olson, 1963; Clark y Paul, 1970).

$$\frac{X}{X_0} = e^{-kt}$$

donde:

$X_0$  es la cantidad inicial de mantillo,

X es la cantidad de mantillo remanente al tiempo t, y

k es el coeficiente de descomposición.

- Extinción de la luz en una comunidad vegetal. Monst y Saeki (1953) y Saeki (1963) observaron que la intensidad luminosa que recibe una cubierta vegetal se reduce en la medida que el rayo de luz penetra en la canopia, de acuerdo a la siguiente ecuación que describe la ley de Bouger (Reifsnnyder y Lull, 1965).

$$\frac{I}{I_0} = e^{-kF}$$

donde:

k es el coeficiente de extinción de la luz, que puede ser constante para cada caso,

$I_0$  es la intensidad luminosa incidente sobre la comunidad,

I es la intensidad luminosa a una altura x, y

F es el índice de área foliar acumulado desde la parte más alta de la canopia hasta la altura x en consideración.

- Cinética de una reacción de primer orden:

$$(A) = (A)_0 e^{-kt}$$

en que:

(A) es la concentración de A en un tiempo cualquiera,

$(A)_0$  es la concentración de A al tiempo  $t_0$ ,

k es el coeficiente de reacción, y

t es el tiempo (Pauling, 1967).

- Reducción de la cohorte en las poblaciones de salmón del Atlántico (Salmo salar), lo cual se ajusta a la siguiente ecuación:

$$N_t = N_0 e^{-zt}$$

donde:

$N_t$  es el número de ejemplares presentes al tiempo t

$N_0$  es el número de ejemplares presentes al tiempo inicial  $t_0$ , y

z es el coeficiente exponencial de desaparición, o tasa neta de pérdida (Gee, Milner y Hemsworth, 1978).

- Desaparición de productos desde el rumen lo cual se ciñe a la ecuación siguiente:

$$x = e^{-kt}$$

donde:

x es la fracción del producto al tiempo t.

k es el coeficiente de desaparición del producto. El producto puede ser una fracción de la planta o algún elemento nutritivo (Laredo y Minson, 1975; Berger y Yokohama, 1977). El valor de x se expresa en relación a 1, que corresponde al todo.

- La descarga de un condensador con una resistencia se puede calcular a partir de la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{du}{dt} + \frac{u}{rc} = 0$$

donde:

u es el valor instantáneo de la tensión de un condensador,

c es la capacidad del condensador, y

r es la resistencia

para:

$$t = 0; \quad u = E$$

donde:

E es la tensión del condensador al iniciar la descarga por lo que la dependencia entre la tensión del condensador y el tiempo tiene la forma:

$$U = E e^{-t/rC} \quad (\text{Kalashnikov, 1959})$$

- Presión de pastoreo del zooplancton sobre el fitoplancton.

Esta función está dada por la ecuación diferencial:

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dt} = \alpha(n) - w$$

cuya solución es:

$$p = p_0 e^{-(\alpha(n)-w)t}$$



cuando:

$$\alpha(n) \rightarrow 0$$

siendo:

p la cantidad de fitoplancton al tiempo t, y

p<sub>0</sub> la cantidad inicial de organismos al tiempo t<sub>0</sub>,

n la cantidad de nutrientes que describe el crecimiento del fitoplancton y

w la tasa de eliminación.

Esta misma función es descrita por Colinvaux (1973) y Phillips (1978) en relación a una población de copépodos del género Galanus que predan sobre una población de fitoplancton, compuesto por algas Clamidomonas, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

donde:

C<sub>t</sub> concentración de Clamidomonas al tiempo t

C<sub>0</sub> concentración inicial de clamidomonas al tiempo inicial t<sub>0</sub>, y

k coeficiente de desaparición.

#### MODELO GENERAL DE DESCARGA

Existe en la naturaleza diversos modelos de sistemas físicos y biológicos, los que al ser descargados poseen un comportamiento similar (Krebs, 1977). Ejemplos de ello son los

ya citados correspondientes a la degradación del mantillo en un bosque, el perfil de intensidad luminosa en una comunidad herbácea, la expresión integrada para la cinética de una reacción química de primer orden, la reducción de los cohortes de las poblaciones de salmón del Atlántico, la desaparición de productos desde el rumen, la descarga de un condensador con una resistencia y la cosecha de fitoplancton por el zooplancton. Todos estos procesos corresponden a un mismo fenómeno y son descritos por una ecuación exponencial, cuyo exponente tiene valor negativo. Inductivamente, por lo tanto, se puede suponer que la cosecha de la pradera por el ganado, se ajusta a la misma ecuación general (González, Gastó y Olivares, 1980).

Es factible suponer que el cambio neto producido en el sistema corresponde a la carga menos la descarga (Olson, 1963; Noy-Meir, 1975). Planteado en esta forma y de acuerdo a la ley de conservación de la energía se tiene que:

$$\frac{vQ}{vt} = \frac{vG}{vt} - \frac{vQ}{vV} \quad (18)$$

Esta ecuación señala que los cambios en la carga ( $\frac{vQ}{vt}$ ) son consecuencia de los cambios producidos por el crecimiento en el tiempo ( $\frac{vG}{vt}$ ), menos los cambios producidos por la cosecha al aumentar la intensidad de pastoreo ( $\frac{vQ}{vV}$ ).

Si se considera un sistema cuya tasa de carga es cercana a cero, el cambio neto producido en él se debe a la descarga. Además, la descarga es dependiente de la carga presente. El sistema considerado presenta los parámetros siguientes:

$Q_0$  = carga total presente al momento de iniciación el proceso de descarga.

$C$  = Carga presente no cosechable

$k$  = Tasa intrínseca de descarga

Estos parámetros pueden ser considerados como constantes para un sistema y tiempo dados. La variable dependiente  $Q$ , corresponde a la carga presente en un instante dado, la cual se expresa en kg/ha de materia seca. La variable independiente  $v$  se expresa en unidades de intensidad de pastoreo, como zoomasa \* tiempo de carga animal por unidad de superficie, expresándose usualmente en toneladas\* hora/ha.

Se considera que las variaciones en la carga se deben a la cosecha, la que es proporcional a la cantidad de carga presente  $Q$ , menos la carga no disponible  $C$ ; siendo además, proporcional a la tasa intrínseca de descarga  $k$ , luego:

$$\frac{dQ}{dv} = -k (Q - C)$$

Resolviendo la ecuación diferencial se tiene que:

$$Q = (Q_0 - C) e^{-kv} + C \quad (19)$$

Algunos autores han ajustado curvas de descarga de la pradera a esta ecuación, haciendo pastorear praderas de secano con altas densidades de unidades animales (Olivares y Gastó, 1979; González, 1979; Gastó y Olivares, 1981).

#### DESCARGA COMO UN FLUJO

Flujo es el transporte de materia, energía o información y está dado por:

$$F = R * J$$

donde:

$F$  = fuerza,  $R$  = resistencia y  $J$  = flujo

$$J = \frac{1}{R} * F$$

puesto que:

$$J \propto F$$

o equivalente:

$$J = K * F$$

donde K es la constante de conductividad y es igual a  $\frac{1}{R}$ . Por otro lado se tiene que:

$$W = F * L$$

donde:

$$W = \text{trabajo, y } L = \text{distancia}$$

que después de resolver en términos de la fuerza F se tiene que:

$$F = \frac{W}{L}$$

dado que  $J = K * F$ , esto implica que  $F = J/K$  lo cual se substituye en la ecuación anterior y produce la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} J &= \frac{K * W}{L} \\ &= \frac{K * \Delta Q}{L} \end{aligned}$$

donde Q es el potencial que produce el trabajo W.

La descarga de una pradera por el ganado se puede plantear de manera análoga al flujo, de tal manera que:

$$J'_p = \frac{Q}{A * v} \quad (20)$$

donde:

Q = indica la cantidad de forraje cosechado por el ganado para su ingestión,

$J'_p$  = el flujo generalizado de forraje desde la pradera al animal,

A = el área sometida a pastoreo, y

v = la intensidad de pastoreo.



De acuerdo a lo anterior, el flujo generalizado de forraje tiene las siguientes unidades:

$$J'_p = \frac{\text{masa de forraje}}{\text{superficie (zoomasa/superficie)} * \text{tiempo}}$$

El flujo  $J'_p$  está determinado por la diferencia de potenciales existentes entre el estado del sistema pratense en un instante dado y su estado final, llamados potencial real  $Q$  y potencial mínimo consumible  $C$ .

El potencial corresponde a una propiedad emergente de la arquitectura de la pradera, la cual es función del arreglo topológico y del tamaño y número de los componentes. En la práctica es posible utilizar como índice de la magnitud del potencial de la pradera al contenido de materia seca por unidad de área. De esta manera, el potencial actual corresponde al valor en masa de materia seca de forraje presente por unidad de área pratense, en tanto que, el potencial mínimo, corresponde a la masa de materia seca por unidad de área, no disponible para el ganado. Los estados considerados se encuentran a una distancia topológica ( $L\Lambda$ ), determinada por la arquitectura de los estados considerados.

La conductividad expresa la restricción puesta por el medio para que la pradera cambie desde el estado  $Q_i$  al estado  $C$ , y está representada por la ecuación:

$$K' = f(T, ca, cp, cc, cma, Q)$$

donde,

$K'$  = conductividad,  $T$  = época,  $ca$  = características de arquitectura y etológicas del animal,  $cc$  = características de la arquitectura de la pradera,  $cma$  = características del medio abiótico, y  $Q$  = carga de la pradera.

Expresando el flujo del forraje de manera análoga a la ecuación de flujo, queda expresado por la siguiente ecuación:

$$J'_p = K' * \frac{(Q - C)}{LA}$$

La complejidad de la cuantificación de la conductividad  $K'$  y de la distancia topológica  $LA$ , lleva a plantear la relación entre ambos como una resistencia a la descarga, por lo cual la expresión final es:

$$J'_p = \frac{Q-C}{R_p}$$

donde:  $R_p$  = resistencia al flujo de forraje, que representa la relación  $K'/L$ .

En la práctica, el flujo del forraje desde la pradera hacia el animal se puede calcular derivando la ecuación general de descarga de manera que se tiene:

$$\frac{dQ}{dv} = -k(Q_0 - C)e^{-ky} \quad (21)$$

La integral de la descarga de la pradera desde una intensidad  $v_1$  hasta una intensidad  $v_2$  es igual a:

$$\begin{aligned} Q(v) &= -k(Q_0 - C) \int_{v_1}^{v_2} e^{-ky} dy \\ &= -k(Q_0 - C) \left[ -\frac{1}{k} e^{-ky} \right]_{v_1}^{v_2} \\ \Delta Q &= \int_{v_1}^{v_2} -k Q_0 e^{-ky} dy \end{aligned}$$

por lo cual:

$$\Delta Q = (Q_0 - C) * (e^{-kv_2} - e^{-kv_1}) \quad (22)$$

$$(Q(v_2) - Q(v_1)) = (Q_0 - C) (e^{-kv_2} - e^{-kv_1})$$

Esta ecuación permite calcular la descarga producida por un pastoreo que va desde  $v_2$  hasta  $v_1$ .

#### INTENSIDAD DE PASTOREO

Para dar una solución general al problema de la cosecha se ha propuesto una unidad de intensidad de pastoreo ( $v$ ) que incluye el tiempo de permanencia de una cierta zoomasa del cosechador en un área determinada (Olivares y Gastó, 1979). En esta forma se ha introducido el concepto de zoomasa cosechadora \*tiempo de cosecha por unidad de superficie, lo cual se puede expresar en toneladas\* hora/ha. Una tonelada \*hora/ha corresponde a la permanencia de una tonelada de zoomasa de organismos cosechadores, durante una hora, en una superficie de una hectárea.

$$\frac{\text{Ton*hora}}{\text{ha}} = \Sigma (w_i * t) A^{-1}$$

donde:

$t$  = tiempo en horas

$\Sigma w_i$  = es la suma del peso vivo individual de los organismos cosechadores, expresado en toneladas,  
y

$A$  = es la superficie sometida a pastoreo, expresada en ha.

Tonelada hora/ha es una unidad que expresa intensidad de pastoreo. Según la terminología propuesta por Range Term Glossary Committee (1974), la expresión zoomasa/superficie corresponde a densidad animal instantánea, luego si se considera la permanencia en pastoreo, se logra una expresión de intensidad.

Más estrictamente correcto, podría ser relacionar el peso metabólico del animal con el producto cosechado (Spedding, 1971; Córdova, Wallace y Pieper, 1978). En este caso se tiene como unidad la tonelada metabólica \*hora/ha, definida como la permanencia de una cantidad de organismos cuyo peso metabólico  $w_i^{0,75}$  suma una tonelada, durante una hora, en una superficie de una hectárea:

$$\frac{\text{Ton metabólica*hora}}{\text{ha}} = \sum_i w_i^{0.75} * t * A^{-1}$$

#### INTENSIDAD DE UTILIZACION

La intensidad de utilización ( $\Psi$ ) puede ser definida como la relación que existe entre la descarga de una pradera ( $Q_0 - Q_i$ ) y la carga inicial ( $Q_0$ ) previa a la descarga, de manera que se tiene:

$$\Psi = \frac{Q_0 - Q_i}{Q_0}$$

La intensidad de la utilización está relacionada con la intensidad de pastoreo ( $v$ ), con la arquitectura del sistema cosechado ( $\Lambda f$ ) y la del cosechador ( $\Lambda z$ ) de manera que:

$$\Psi = f(v, \Lambda f, \Lambda z)$$

Esta función puede ser resuelta en base a la ecuación general de descarga (19) donde el valor de  $Q_i$  se determina en relación a la intensidad de pastoreo  $v$ . El resto de los componentes de la función general,  $\Lambda f$  y  $\Lambda z$ , están contenidos en la tasa instantánea de descarga ( $k$ ), en el remanente de carga no disponible ( $C$ ) y en la carga inicial  $Q_0$ . La base del logaritmo natural representa la modalidad general de descarga de cualquier sistema, lo cual está basado en principios de validez general. En esta forma, se tiene que:

$$\Psi = \frac{Q_0 - ((Q_0 - C) e^{-kv} + C)}{Q_0} \quad (23)$$



La palatabilidad ha sido definida en diversas formas (Heady, 1975; Cook, 1954, Stoddart y Smith, 1953), En el presente trabajo se le emplea con el significado de máxima intensidad aceptable de utilización de una especie ( $\psi_{i_{max}}$ ). La aceptabilidad máxima se basa en razones de conservación centradas en la fisiología de la planta, ecología de la pradera, génesis del suelo y otras, que determinan la inconveniencia de someter al elemento cosechado a intensidades mayores de descarga, aún cuando el cosechador pudiera estar en condiciones de descargar en un grado mayor.

Este mismo concepto es válido para la utilización máxima óptima de todas las especies contenidas en la pradera, circunstancias que se denominan uso adecuado de la pradera ( $\psi_{f_{max}}$ ). La intensidad de utilización de la pradera no debe sobrepasar este valor, el cual se determina en cada caso de acuerdo a la arquitectura de la fitocenosis y de la zoocenosis, y para lo cual existen tablas aplicables a cada sitio y especie animal (Cook, 1954; Stoddart y Smith, 1953),

La intensidad de utilización de cada especie en una pradera ( $\psi_i$ ), cuando la pradera alcanza la intensidad propia del uso adecuado, no concuerda necesariamente con su palatabilidad ( $\psi_{i_{max}}$ ), debiendo en todo caso ser igual o menor que su palatabilidad.

El valor de  $\psi_{max}$  de la pradera se determina en base a la palatabilidad de las especies que la componen y las características propias de la pradera considerada como un conjunto ecosistémico, para lo cual se requiere de resultados experimentales que permitan ajustar empíricamente el factor de uso adecuado de la pradera a las condiciones ambientales. Este valor es, por lo tanto un óptimo ecológico.

El valor calculado de  $\psi_c$ , en cambio, es una limitante anatómica y morfológica tanto de la fitocenosis como de la zoocenosis, que restringe intrínsecamente una mayor descarga

del sistema. Es por ello, que este valor, no es modificable por el hombre (Figura 12).

La intensidad máxima de utilización de la pradera puede fijarse en base a razones fisiológicas del cosechador que se relacionen con la magnitud del flujo de forraje desde la pradera hacia el animal. Este valor, aún cuando puede ser superior a la intensidad máxima ecológica, no debe, por razones de conservación y productividad a largo plazo, sobrepasar la máxima intensidad aceptable desde un punto de vista ecológico ( $\Psi_{\text{max. ecol.}}$ ).

La intensidad óptima fisiológica, puede alterarse, modificándose al cosechador, lo cual se logra cambiándose la especie animal, la raza, el tipo animal, el estado de gordura o la época de utilización.

La intensidad máxima económica ( $\Psi_{\text{max. econ.}}$ ) debe ser igual o superior a las ya indicadas, de manera que permita lograr resultados económicos positivos dentro de un esquema de factibilidad ecológica, conservación de la pradera y salud animal.

Centrar la página.

Carbón

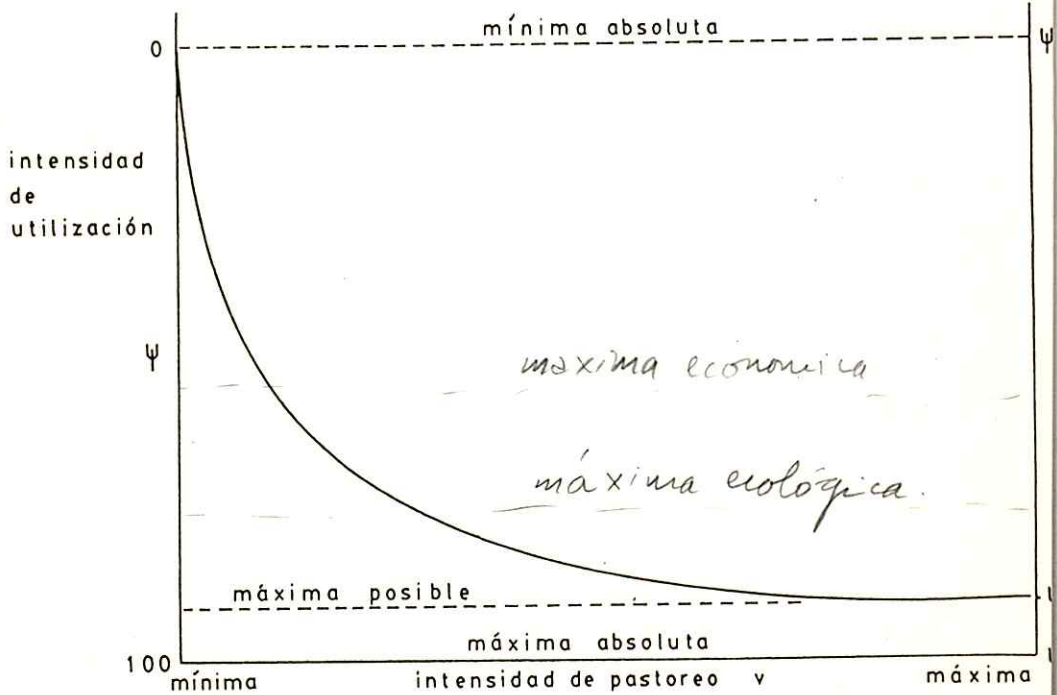


Figura 12. Relación entre la intensidad de pastoreo y la intensidad de utilización, indicándose los máximos posibles o aceptables, de acuerdo a algún criterio de optimización.

## COSTO ECOLOGICO DE COSECHA

La cosecha de forraje por el herbívoro trae consigo unido un costo de captura (Pianka, 1978) el cual ha sido denominado costo ecológico de cosecha (g) (Cañas y Gastó, 1974).

El costo ecológico de cosecha (g) puede ser definido como la energía invertida por el cosechador (w), por unidad de área (a) de trabajo de cosecha en el proceso de captura de la presa. Puede expresarse como:

$$g = \frac{\text{energía invertida en el proceso de cosecha} * a^{-1}}{\text{zoomasa} * \text{tiempo} * a^{-1}} = \frac{X w}{X v} \quad (24)$$

de manera que g se puede expresar en: calorías/zoomasa\*tiempo

La energía invertida por el cosechador en el proceso de cosecha (w), incluye la totalidad de gastos que directa ( $w_d$ ) o indirectamente ( $w_r$ ), debe invertirse en el proceso de captura. Ello incluye como costo indirecto la fracción correspondiente del costo metabólico de mantención del cosechador. Entre los costos directos se tienen a las operaciones previas a la cosecha tales como la búsqueda de la presa, la toma de decisiones acerca de la factibilidad de captura de las presas consideradas, las probabilidades de éxito de la captura y el trabajo mismo de cosechar la presa (Figura 13).

El costo ecológico de cosecha (g) hipotéticamente se mantiene constante o aproximadamente constante en relación a la intensidad de pastoreo y de utilización en un sistema dado.

En forma alternativa, es factible plantear otra hipótesis que sustente la afirmación que los costos directos de cosecha se alteran en la medida que el estado del sistema se modifica, especialmente en lo referente a la carga Q de energía. En la práctica, la carga del sistema se expresa en el contenido de materia seca disponible por el cosechador.



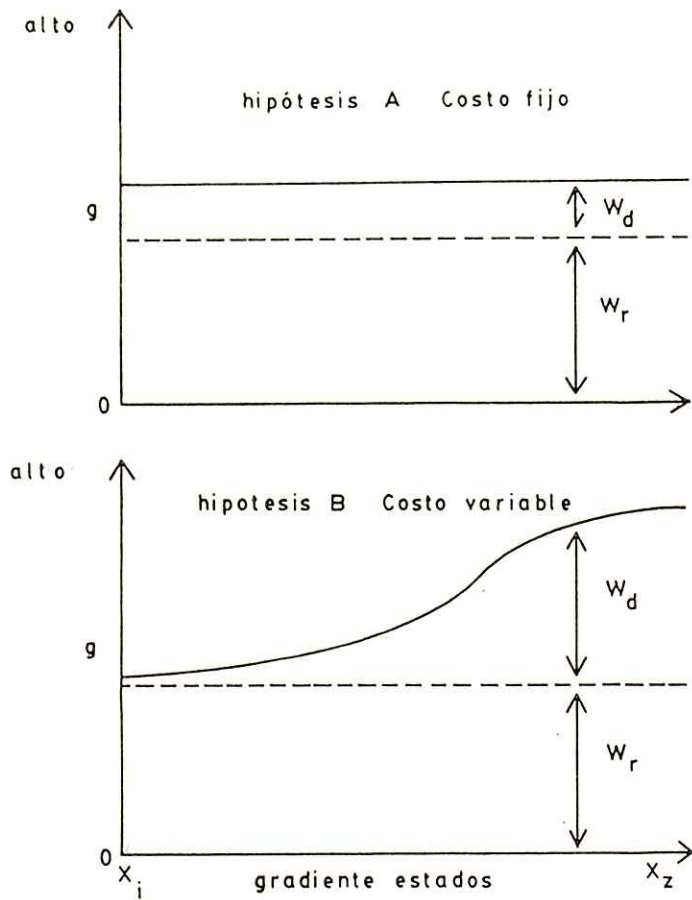


Figura 13. Costo ecológico de cosecha ( $g$ ), de acuerdo a dos hipótesis generales.

En relación a esta hipótesis de variabilidad del costo ecológico de cosecha se tiene que los costos indirectos se mantienen constantes, dado que depende de las características intrínsecas del cosechador. La variabilidad de los costos directos se sustenta en la hipótesis que la intensidad del trabajo que debe realizar el cosechador, en un sistema en un estado dado, por unidad de zomasa \* tiempo varía de acuerdo al estado del sistema. Esta hipótesis, desde un punto de vista mecánico, se presenta como la más atractiva.

La ecuación que describe el costo ecológico de cosecha, de acuerdo a la hipótesis de variabilidad del costo, y en función de la gradiente de estados\* del sistema, corresponde a (Grosenbaugh, 1965)

$$\hat{y} = H + (A+B) * (1 - e^{-b (X - G)})^{M+1} \quad (25)$$

donde: H = asíntota superior  
 A = asíntota inferior  
 B = total costos indirectos  
 b = parámetro de cambio  
 X = estado del sistema, dentro de una gradiente de estados de carga  
 G = ajuste al valor de X de manera que X-G=0 cuando  $\hat{y} = H$ ,  
 M = punto de inflexión, e  
 $\hat{y}$  = costo ecológico de cosecha g

Cuando la gradiente de estados del sistema (X), se construye en relación a la carga Q del sistema, dejando constante a las demás variables de estado (Xi), es factible reemplazar el valor de X correspondiente al espacio de estado Xj por el valor de la intensidad de pastoreo vj para el espacio de estado del sistema (Figura 14).

Para un sistema en un estado dado, en el cual se mantiene constante la totalidad de las variables y se modifica

solamente la carga del sistema (Q) es factible esperar que la eficiencia de cosecha se altere en función de la intensidad de utilización (Figura 14).

La eficiencia de cosecha ( $\gamma$ ) puede ser definida como la relación entre el producto y el costo ecológico de cosecha:

$$\gamma = \frac{Q}{g} \quad (26)$$

donde:

$\gamma$  = eficiencia de cosecha  
 $g$  = costo ecológico de cosecha, y  
 $Q$  = producto cosechado

La relación entre esos dos valores genera una curva sigmoidea que varía en función de la intensidad de pastoreo. A pesar que los modelos de cosecha a menudo se simplifican en exceso, pueden construir buenas descripciones de las decisiones de cosechar del predador (Krebs, 1977).

El producto cosechado por unidad de pastoreo ( $v$ ) se ajusta a la función:

$$\frac{dQ}{dv} = -k Q_0 e^{-kv}$$

El costo ecológico de cosecha ( $g$ ) se ajusta a la función:

$$y = a$$

donde:

$$a = g$$

lo cual corresponde a la hipótesis A de costo ecológico de cosecha fija. La otra opción es que el costo ecológico de cosecha sea variable, lo cual se ajusta a la ecuación 25, ya descrita.

La eficiencia de cosecha ( $\gamma$ ) (Figura 14), en función de la intensidad de pastoreo  $v$ , se ajusta a una función

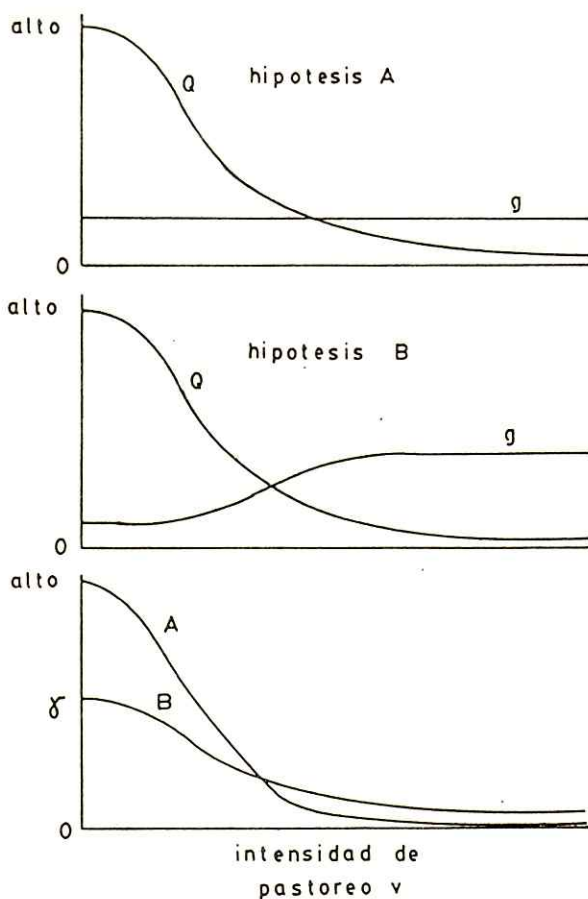


Figura 14. Funciones generales de costos ecológicos de cosecha ( $g$ ) y de productos cosechados  $Q$  en relación a la intensidad de pastoreo ( $v$ ) de acuerdo a dos hipótesis diferentes (figura superior e intermedia), y de eficiencia de cosecha ( $\delta$ ), en relación a la intensidad de pastoreo ( $v$ ) (figura inferior).



sigmoídea, que indica que la mayor eficiencia se logra en intensidades más bajas y la menor en intensidades altas de pastoreo (Grosenbaugh, 1965). Esta relación puede ser representada por una ecuación similar a la ecuación (25):

$$\gamma = H - ((H-A) + (1-e^{-b*v}))^M + 1$$

- donde:
- H = es la asíntota superior, la cual representa la eficiencia máxima de cosecha, lo cual es constante para una pradera y cosechador dados,
  - A = es la asíntota inferior, la cual es usualmente cercana a cero,
  - b = es la pendiente de la función de eficiencia, que es propia de cada sistema de pastizal y cosechador.
  - y = es la intensidad de pastoreo
  - G = es el ajuste al valor de v de manera que  $v-G=0$  cuando  $\gamma = H$ , y
  - M = es el punto de inflexión.

## ANALISIS DE CASOS DE DESCARGA

### PRADERA ANUAL MEDITERRANEA

Los estudios de descarga de la pradera anual mediterránea del centro de Chile se realizaron en cinco estados fenológicos diferentes. La primera época de cosecha corresponde al estado vegetativo. La segunda época corresponde al estado de prefloración, en tanto que la siguiente descarga se produjo en el estado de floración de la pradera. Luego, el período siguiente corresponde al estado de fructificación y el último al de madurez de la pradera.

Los resultados del proceso de descarga se ajustan a la función general propuesta, presentando coeficientes diferentes para cada estado de desarrollo fenológico (Figura 15). De este modo, a cada estado fenológico corresponde una curva de descarga (Cuadro 2).

Los resultados indican que cuando el forraje es abundante, la tasa de descarga es elevada. A medida que la diferencia de potenciales entre la disponibilidad de forraje o de energía en un instante dado ( $Q_i$ ) y la magnitud de la materia seca no cosechable ( $C$ ) se va haciendo menor ( $Q_i - C$ ) la magnitud del flujo disminuye, hasta que concluye por hacerse insignificante cuando  $Q_i$  se aproxima a  $C$ .

El hecho de que no se hayan observado diferencias significativas en los equivalentes energéticos dentro de cada período de descarga puede deberse al efecto de la alta densidad animal utilizada. En efecto, una de las consecuencias de utilizar una pradera con una alta densidad animal es disminuir la selectividad (Fontenot y Blaser, 1965). Cuando la densidad calórica de los elementos que constituyen una población - presa es baja, los animales tienden a tener una conducta no selectiva, manteniendo las proporciones de los elementos que componen la población presa inicial (Werner y Hall, 1974;

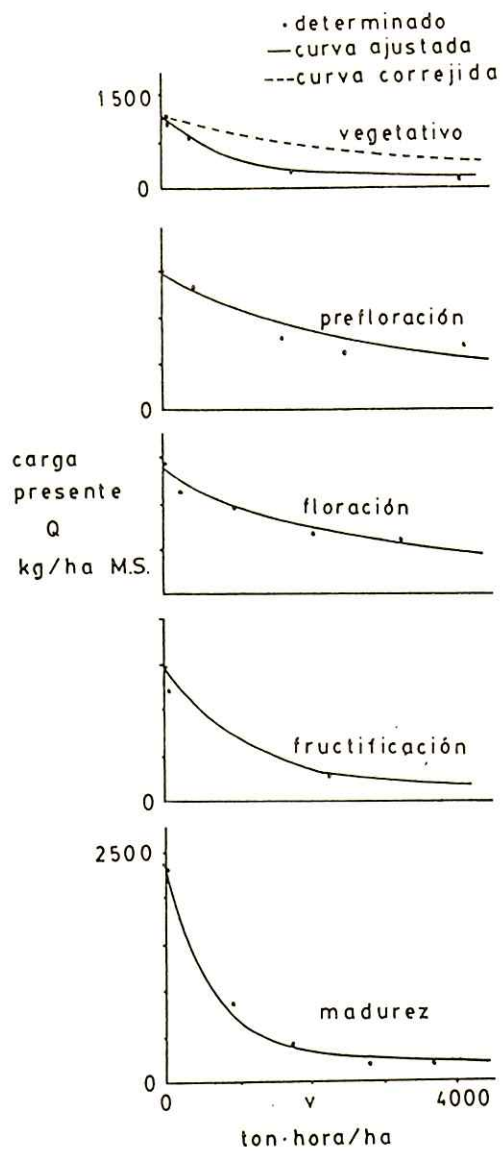


Figura 15. Curvas de descarga de la materia seca, en una pradera mediterránea anual, en diferentes estados fenológicos (González, Gastó y Olivares, 1981).

Cuadro 2. Parámetros calculados para las curvas de descarga de la materia seca en los distintos períodos de cosecha (González, 1979).

Estado fenológico	Disponibilidad inicial $Q_0$ kg/ha <sup>-1</sup> de M.S.	Tasa intrínseca de descarga k	Potencial mínimo cosechable C. kg/ha <sup>-1</sup> de M.S.	Coefficiente de determinación $r^2$
Vegetativo	672	1,16 * 10 <sup>-3</sup>	118	0,92
Prefloración	1057	4,42 * 10 <sup>-4</sup>	416	0,75
Floración	983	3,84 * 10 <sup>-4</sup>	305	0,91
Fructificación	1307	9,71 * 10 <sup>-4</sup>	200	0,93
Madurez	2287	1,49 * 10 <sup>-3</sup>	200	0,96



Krebs, 1977). Es debido a la poca variabilidad de los equivalentes energéticos de las muestras, dentro de cada período de descarga, que las tasas intrínsecas de descarga tanto de materia seca, como de energía bruta, tienen valor similar para cada estado fenológico considerado.

Basándose en las curvas calculadas, tanto para la descarga de materia seca como las curvas de descarga de la energía bruta y los resultados obtenidos por Olivares y Gastó (1979), para las curvas de descarga de la materia seca y la curva de descarga de la energía digestible, se puede afirmar que la descarga de cualquier elemento de la pradera se ciñe a la función descrita (19).

La relación entre la disponibilidad inicial en cada período de descarga y la tasa intrínseca de descarga (Figura 16) indica que los valores se ajustan a una función sigmoidea. El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) presenta un valor de 0.94, lo cual indica que, en este caso, la disponibilidad de forraje actúa como factor limitante de la descarga.

El flujo de forraje ( $J_p$ ) disminuye progresivamente al aumentar la intensidad de utilización de la pradera ( $v$ ) (Figura 17). La relación entre el flujo de forraje y la intensidad de pastoreo puede ser de utilidad práctica. Conocidos los requerimientos del animal para mantener un cierto nivel de producción secundaria se traza una línea recta paralela a la absisa, frente al flujo de forraje que satisface esos requerimientos. La línea recta trazada corta la curva que describe la relación flujo-intensidad de utilización, correspondiendo a este punto un valor  $v_e$  en la absisa. Esta intensidad de pastoreo  $v_e$  es la intensidad de cosecha a la que debe ser sometida la pradera para obtener, por lo menos, el nivel de producción secundaria deseado. Conocida la zoomasa en pastoreo y la superficie sometida a pastoreo, se puede determinar el tiempo de permanencia necesario para alcanzar la intensidad de pastoreo  $v_e$ .

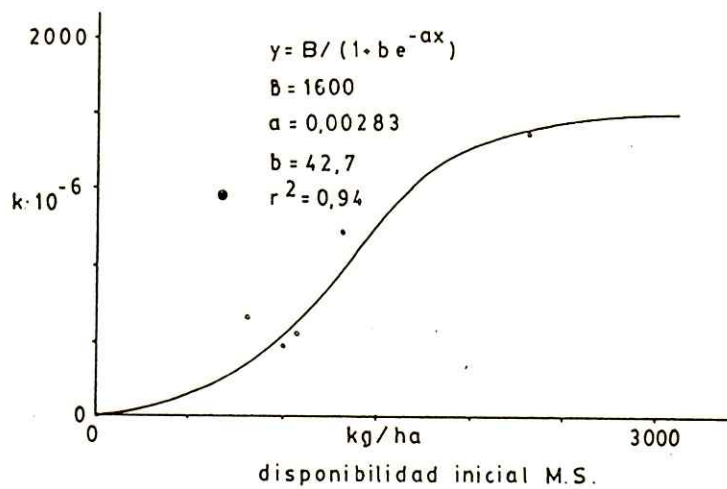


Figura 16. Variaciones en la tasa intrínseca de descarga en función de la disponibilidad inicial. El valor (●) no se consideró en este caso por considerarse errático (González, Gastó y Olivares, 1981).

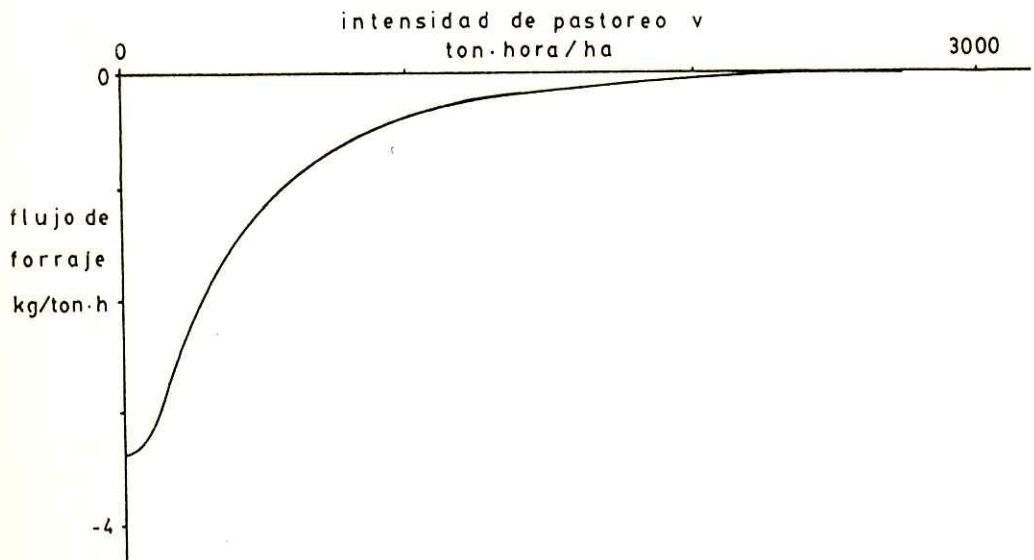


Figura 17. Variaciones en el flujo de forraje al variar la intensidad de utilización de la pradera (v) en el estado fenológico de madurez (González, Gastó y Olivares, 1981).

Si se considera una calidad de forraje determinada, la producción del herbívoro está relacionada con el consumo (Willoughby, 1959), luego es posible planificar la utilización de la pradera de manera que los animales potencialmente más productivos pastoreen previamente a aquellas clases de animales de menores requerimientos (Fontenot y Blaser, 1965). Esto ocurre porque los requerimientos de los animales potencialmente más productivos son mayores y el flujo de forraje es también mayor cuando las intensidades de utilización de la pradera son bajas.

Es posible establecer una relación tridimensional entre disponibilidad inicial, flujo de forraje e intensidad de pastoreo, relación que genera una superficie de respuesta, tal como la indicada en la figura 18.

A medida que la disponibilidad inicial de forraje aumenta, el flujo de forraje, a intensidades de pastoreo bajas, también aumenta. Al aumentar la intensidad de pastoreo, el flujo de forraje disminuye. Cuando existe una disponibilidad inicial alta, el flujo de forraje disminuye fuertemente al aumentar la intensidad de pastoreo; en cambio cuando la disponibilidad inicial es baja, la reducción en la magnitud del flujo es menor que con una alta disponibilidad inicial. Esto hace que la pendiente de las curvas de descarga para los estados fenológicos iniciales sean menores que las pendientes de los estados fenológicos más avanzados. Es posible afirmar en forma general que el flujo de forraje es de baja magnitud cuando la disponibilidad inicial es baja, o cuando la intensidad de pastoreo es alta.

#### MATORRAL DE ATRIPLEX repanda

Por tratarse de un arbusto cuya forma corresponde aproximadamente a la de una semiesfera formada por un tronco central que se ramifica radialmente desde la base en todas



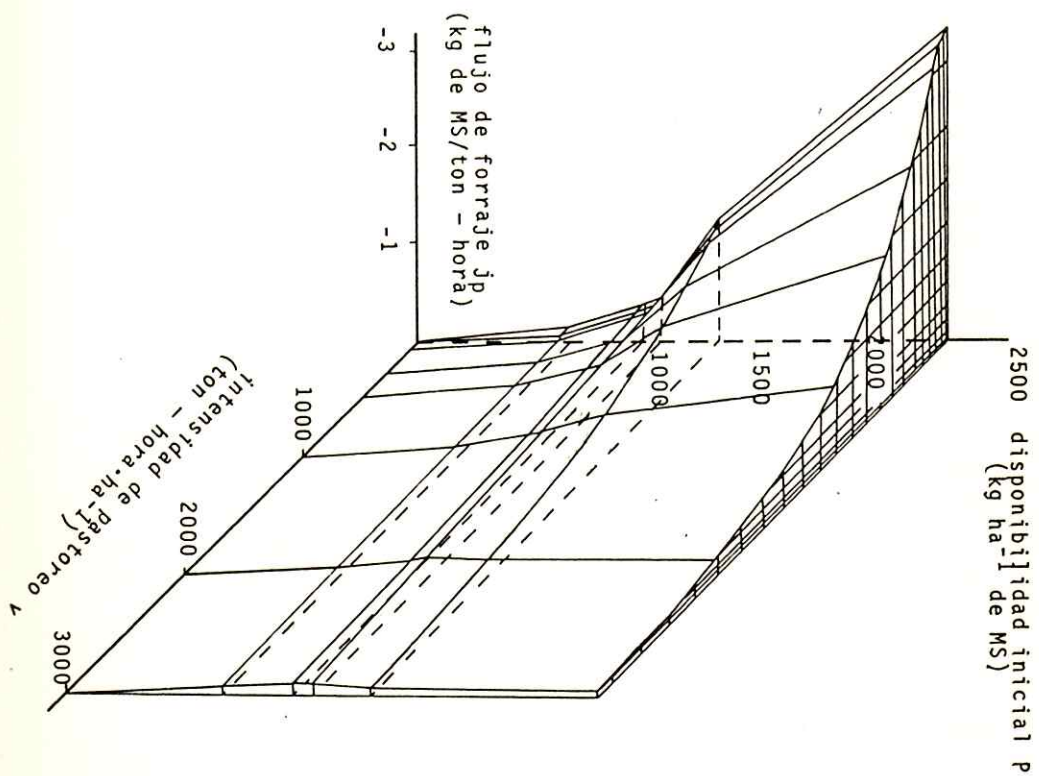


Figura 18. Superficie de respuesta que describe la utilización de la pradera (Gonzalez, Gastó y Olivares, 1981).

direcciones, se eligió una metodología compatible con su forma. La distancia desde el centro y base de la planta fue medida para cada rama, las cuales fueron trozadas en segmentos de 0,10 cm formando horizontes concéntricos. El matorral fue evaluado tanto en fitomasa en pie como en sus componentes, en función de la intensidad de utilización.

Los valores calculados por planta individual fueron, posteriormente, transformados en poblacionales. Dado que la densidad de plantación era de 400 ejemplares por hectárea, el peso individual se multiplicó por la densidad para obtener valores por unidad de superficie. Las correlaciones de acuerdo a las variaciones de densidad pueden ajustarse según las funciones propuestas por Gastó y Cayiedes (1976) y Zúñiga (1973).

Los resultados de las mediciones de descarga total del arbusto indican que la cosecha de la fitomasa por ovinos se ajusta a una función exponencial (Figura 19). Partiendo de una disponibilidad inicial de 4.295 kg de materia seca por ha, con una intensidad de cosecha equivalente a 147 ton\* hora/ha, la fitomasa total ofrecida se reduce a 3.320 kg/ha. La descarga de la fitomasa en pie continúa ajustándose a una función exponencial y tiende a hacerse asintótica con un valor de 2.608 kg/ha cuando la intensidad de utilización ( $v$ ) es de 980 ton\*hora/ha.

Los componentes de la fitomasa se descargan en tasas diferentes de acuerdo a las características de tejido y a su ubicación en la planta. Los tallos, dada su menor palatabilidad, se descargan inicialmente en tasas menores que los demás componentes. El valor de la asíntota inferior que indica la cantidad de fitomasa rechazada es elevado, alcanzando aproximadamente a 2.472 kg/ha. La fitomasa de tallos ofrecida era originalmente de 2.816 kg/ha; por lo tanto el consumo total alcanzó a sólo 344 kg/ha, lo cual equivale a 12,2% de la fitomasa original de este tejido (Figura 20).

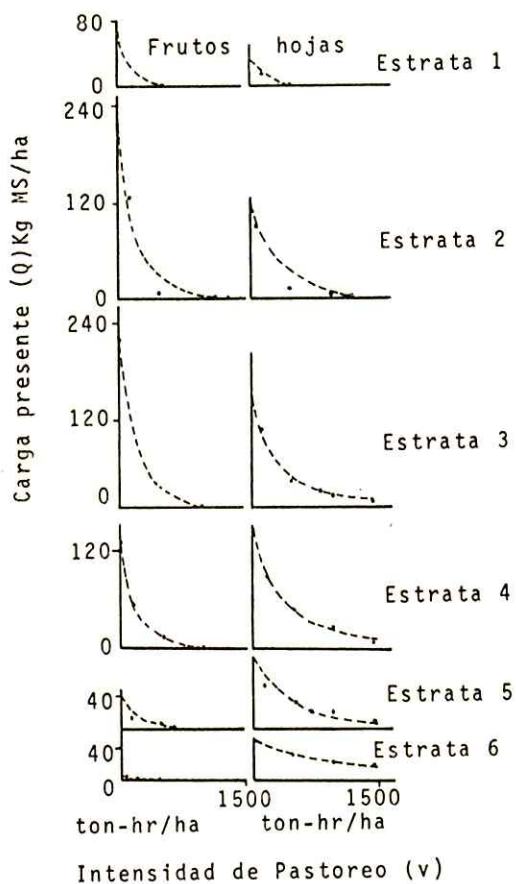


Figura 19. Fitomasa en pie de remanente de los componentes de la productividad y del total de las plantas de *Atriplex repanda* a intensidades variables de utilización por ovinos, expresado en toneladas \*hora/há (Gastó y Olivares, 1981).

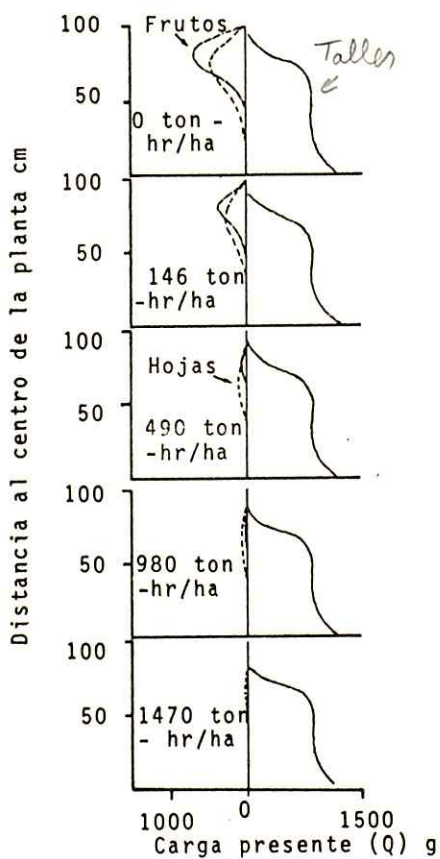


Figura 20. Fitomasa y distribución espacial de los componentes remanentes de la planta de acuerdo a la intensidad de utilización (Gastó y Olivares, 1981).



Los frutos fueron consumidos en mayor tasa que cualquiera de los otros componentes de la planta. La disponibilidad inicial de 788 kg/ha se redujo con una intensidad de cosecha de 147 ton\*hora/ha a 346 kg/ha. Con intensidades de cosecha superiores, se redujo a 66 kg/ha, con 490 ton\*hora/ha y sólo a 1 kg/ha con 1.470 ton-hora/ha.

La reducción de la fitomasa foliar al inicio de la actividad de cosecha fue proporcionalmente menor que la de los frutos. El valor final de follaje corresponde a un remanente no utilizable por el ganado (C) equivalente a 46 kg/ha. Este remanente es consecuencia de su baja densidad calórica debido a su distribución en la planta.

La proporción de los componentes remanentes en función de la intensidad de pastoreo ( $v$ ) se presenta en la Figura 21. La proporción de tallos se eleva aproximándose a una función de incrementos decrecientes; en cambio, la proporción de frutos se reduce ajustándose a una función exponencial de descarga. En el caso de las hojas ocurre algo similar, con la diferencia que sus tasas de descarga son menores debido a una distribución más uniforme en la planta, con la cual se incrementa el costo ecológico de cosecha (Cañas y Gastó, 1974).

El modelo general de descarga de la fitomasa de Atriplex repanda por el ovino corresponde a la ecuación:

$$Q = (Q_0 - C) e^{-kv} + C \quad (19)$$

La descarga de la pradera por el herbívoro para un valor de  $v$  dado es igual a  $Q_0 - Q$  y la tasa de descarga a:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta v} = -k (Q_0 - C) e^{-kv}$$

Se considera que las variaciones en la carga se deben a la cosecha, la que es proporcional a la cantidad de carga presente  $Q$ , menos la cantidad no cosechable  $C$ ; siendo además proporcional a la tasa intrínseca de descarga  $k$ .

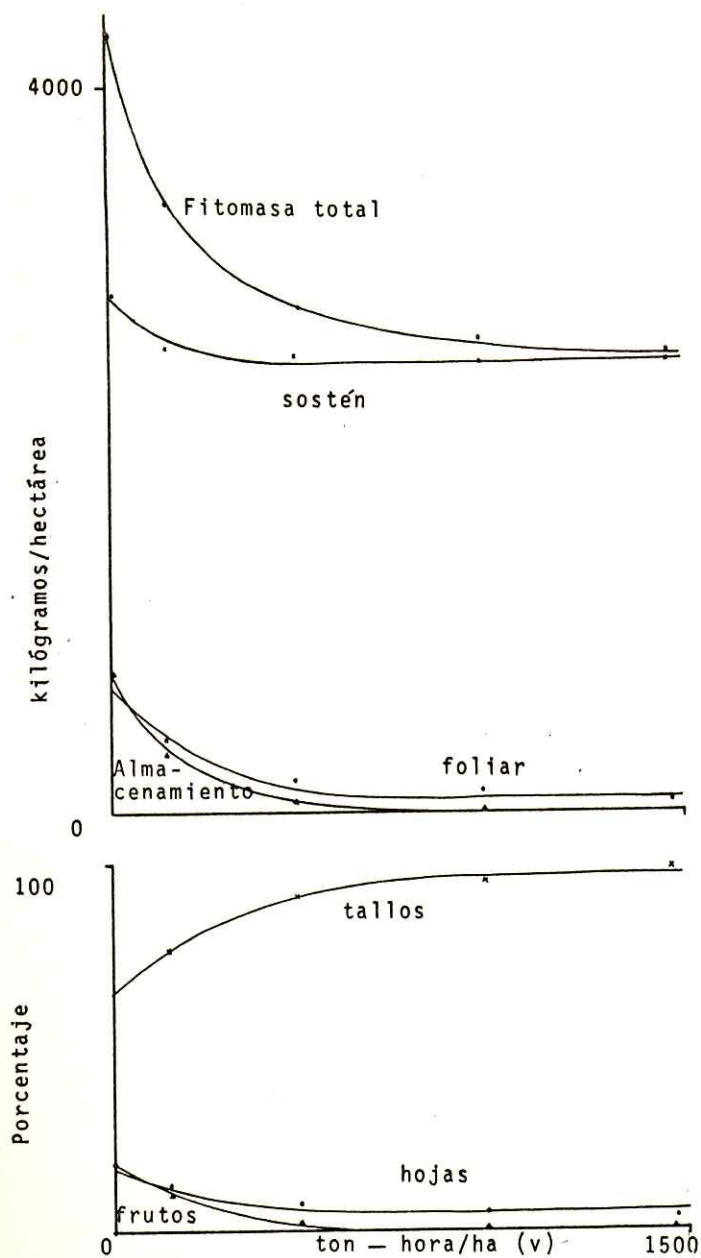


Figura 21. Fitomasa en pie remanente y proporción de componente en el matorral de *Atriplex* repanda en función de la intensidad de pastoreo (v). Basado en información de Gastó y Olivares (1981).

La forma típica de la planta se caracteriza por presentar una distribución espacial de su fitomasa equivalente aproximadamente a una semiesfera. En los horizontes periféricos predominan los frutos que maduran tardíamente en la temporada una vez que los tallos del año se han desarrollado y la estructura foliar ya se encuentra funcionando. Las hojas presentan una distribución similar, aunque con una tendencia definida a presentar su máximo más al interior. Los tallos que corresponden al tejido de sostén y vascular de la planta, aumentan a medida que se acercan a la base de la planta, ya que deben soportar una masa mayor.

En intensidades bajas de utilización, la mayor descarga ocurre en los frutos y follaje presentes en los horizontes exteriores de la planta. A medida que la intensidad de utilización aumenta, la tasa de reducción de la fitomasa remanente de estos dos componentes disminuye en toda la planta, aunque en tasas mayores que en aquellos horizontes en que su densidad es también mayor.

La descarga de los tallos se ajusta a un proceso diferente. El ganado consume solamente las ramificaciones más tiernas, la mayor parte de las cuales se encuentra ubicada en la periferia de la planta. Debido a la baja palatabilidad, contenido energético y digestibilidad, los tallos son poco consumidos por el ganado. Por esta razón, a medida que aumenta la intensidad de utilización, el cambio de la fitomasa de tallos es inferior a la de frutos y follaje. En términos relativos, el porcentaje de tallos se eleva en la medida que la cantidad de hojas y frutos disminuye.

La forma de la planta se ajusta a una función que describe la relación del incremento del tejido de sostén en relación al foliar y de frutos, de acuerdo a: (Gastó y Olivares, 1979).

$$y = A(1 - e^{-bx})$$



donde:

- b = es la pendiente de la curva
- A = el valor de la asíntota cuando la fitomasa acumulada de hojas o de frutos alcanzan a su máximo, y
- x = es la fitomasa de tallos acumulada desde la periferia.

Basado en esta función es posible planear un modelo general de descarga de las arquitecturas de la planta donde se integre la forma y la intensidad de descarga generando una función de pendiente de descarga de la arquitectura y otra función de asíntota de la arquitectura.

El flujo de forraje (Figura 22) puede representarse por la ecuación (González, 1979):

$$J'p = K' \frac{Q - C}{L}$$

Dada la complejidad de la relación conductividad-distancia, el flujo se puede plantear, como (González, 1979):

$$J'p = \frac{Q - C}{R_p}$$

El flujo de forraje está determinado por la relación entre la diferencia de potenciales (Q-C) y la resistencia al pastoreo (Rp). Como el área sometida a pastoreo es de magnitud conocida, la resistencia representa la relación entre - distancia y conductividad, es decir:

$$L\lambda/K'$$

El flujo de forraje del arbusto (J'p) disminuye a medida que la intensidad de pastoreo se incrementa (Figura 22). A medida que el forraje remanente se reduce, la densidad calórica de la materia seca es menor, por lo cual el alimento co-



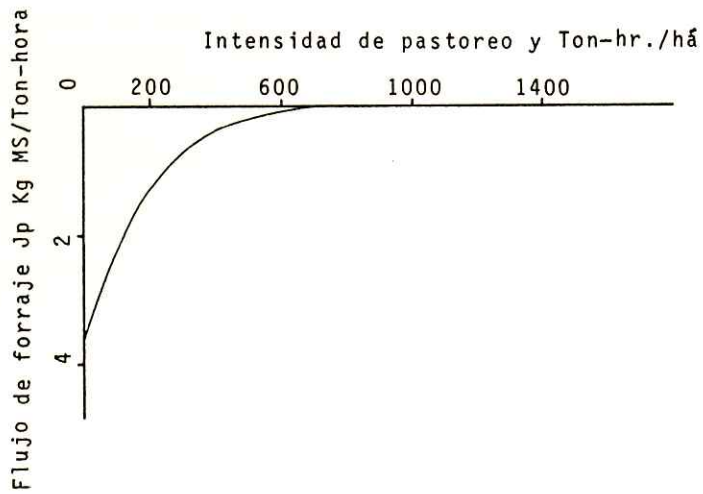


Figura 22. Relación entre flujo del forraje ( $U'p$ ) e intensidad de pastoreo ( $v$ ) (Gastó y Olivares, 1981).

sechado por unidad de tiempo también es menor. Conocido el flujo de forraje hacia el animal, la dificultad de predecir la productividad secundaria se reduce apreciablemente. Con esta información es posible aplicar modelos simulados de producción del tipo propuesto por Ortúzar (1979).

En la figura 23 se presenta un esquema general de predicción en el que se combina el flujo de forraje al herbívoro, con la estratificación de la fitomasa en pie del arbusto, integrando en una superficie única de respuesta, la arquitectura de la planta, intensidad de pastoreo y el flujo de materia seca hacia el animal.

#### CLADODIOS Y FRUTOS DE OPUNTIA *Streptacantha*

La cosecha de los cladodios y de los frutos de *Opuntia streptacantha* Leimair, (tuna cardona), por el hombre es un proceso complicado en el cual se requiere invertir tiempo y trabajo en magnitudes tales que a menudo, hace desventajosa su cosecha. Este costo llega a ser tan elevado que a menudo se observa en las comunidades naturales la presencia de grandes cantidades de tunas que permanecen en la planta sin cosecharse o se caen o secan sin ser utilizadas por el hombre, debido a que el costo ecológico de cosecha es superior al valor ecológico del producto cosechado.

El trabajo invertido en la cosecha de la tuna tiene varias fuentes, las cuales deben ser analizadas en detalle dada su incidencia en el costo ecológico de cosecha. Los componentes principales del costo ecológico de cosecha en las poblaciones naturales existentes en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, México, pueden agruparse en las siguientes categorías: localización de ejemplares con frutos maduros cosechables, toma de decisión de elección de la planta a cosecharse, traslado hasta las proximidades del ejemplar a cosecharse, corta del fruto y acopio en receptáculos (en el caso

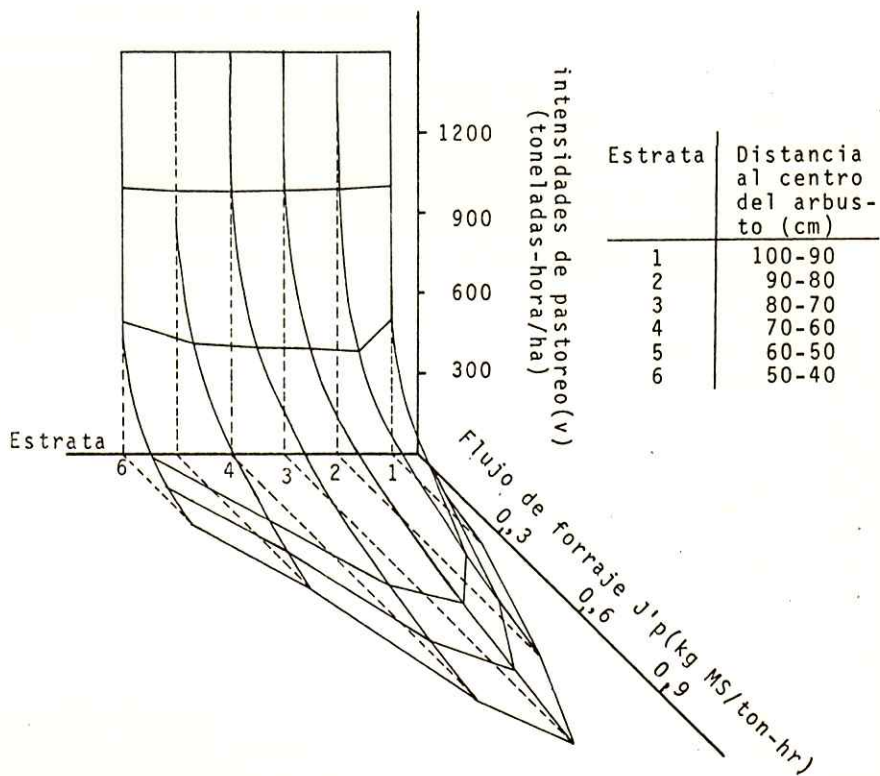


Figura 23, Relación general entre intensidad de pastoreo, horizonte u flujo de forraje (Gastó y Olivares, 1981).

que sea para consumo fresco), corta de cladodios con frutos (en el caso que sea para consumo industrial), acopio de cladodios con frutos, descortezado del fruto y acopio de éstos y traslado de los frutos desde el lugar de cosecha hasta el centro de concentración en la nopalera.

Cada una de estas operaciones requiere de un costo que puede ser más o menos elevado de acuerdo a su naturaleza, el cual puede ser cuantificado. Algunos de ellos pueden ser modificados de manera de incrementarse la descarga de los frutos en el proceso de cosecha. En el proceso de descarga del fruto se presenta una relación tal que indica que el esfuerzo de cosecha, a medida que la planta se descarga, el costo ecológico va siendo cada vez mayor (Figura 24). Este proceso se ajusta a la ecuación (19).

El cosechador, en este caso el hombre, tiene la tendencia a cosechar en primer término los cladodios y frutos más accesibles y de mayor tamaño y número, es decir, - aquellos que sean más eficientemente cosechados. En esta forma van quedando rezagados sin cosecharse los cladodios con frutos pequeños y poco numerosos y aquellos localizados en posiciones difíciles de cosecharse, lo cual se demuestra en los resultados de la figura 25, que indica el proceso de cosecha ocurre en orden correlativo desde menor a mayor dificultad de cosecha.

Existe una relación definida entre el número correlativo de cosecha del cladodio y el número de tunas por cladodio (Figura 26). En los primeros cladodios que se cosecha, el número de frutos por cladodio es elevado, relación, que se mantiene más o menos constante en la primera etapa de descarga o cosecha del fruto. En esta etapa existe, sin embargo, elevada variabilidad en el número de frutos por cladodio cosechado; en tanto que en la última etapa el número de frutos por cladodio se reduce y la variabilidad disminuye.



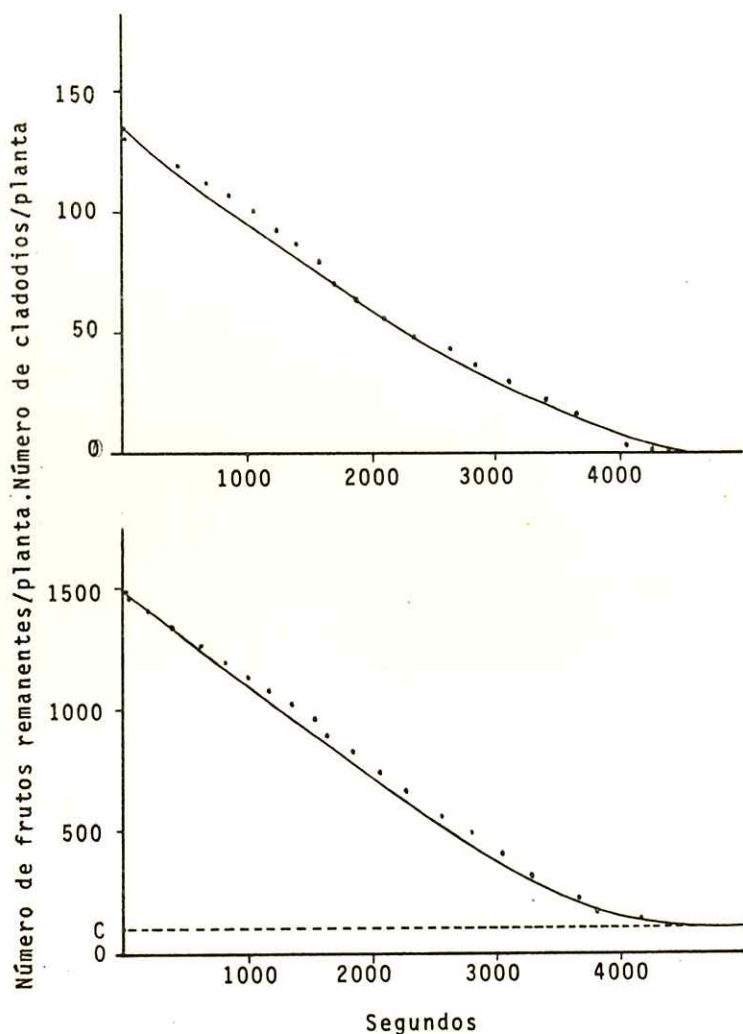


Figura 24. Relación entre el tiempo invertido en la cosecha de cladodios de *Opuntia streptacantha* y el número de cladodios con frutos remanentes en la planta (gráfico superior), y relación entre el tiempo invertido en la cosecha y descortezado de frutos y el número de frutos remanentes en la planta (Gastó, Nava y López, 1981).

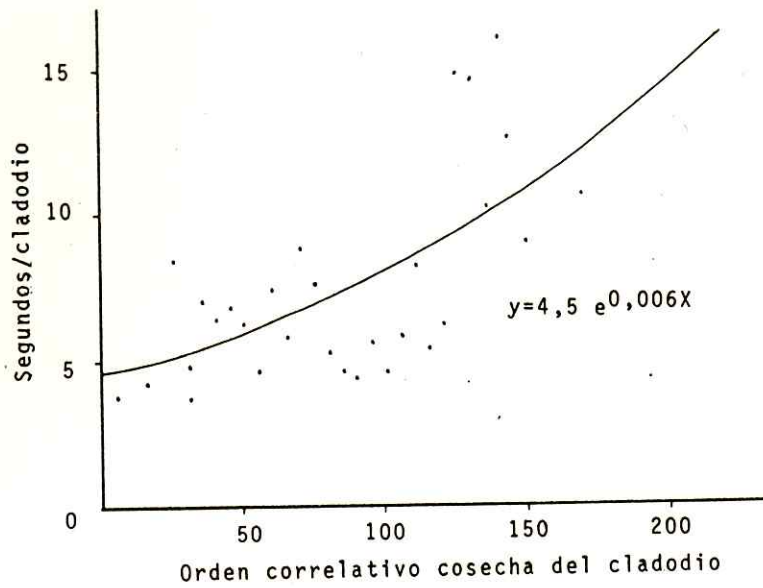


Figura 25. Eficiencia de cosecha de cladodios de *Opuntia Streptacantha*, expresado en tiempo por cladodio en relación al orden correlativo de cosecha del cladodio (Gastó, Nava y López 1981).

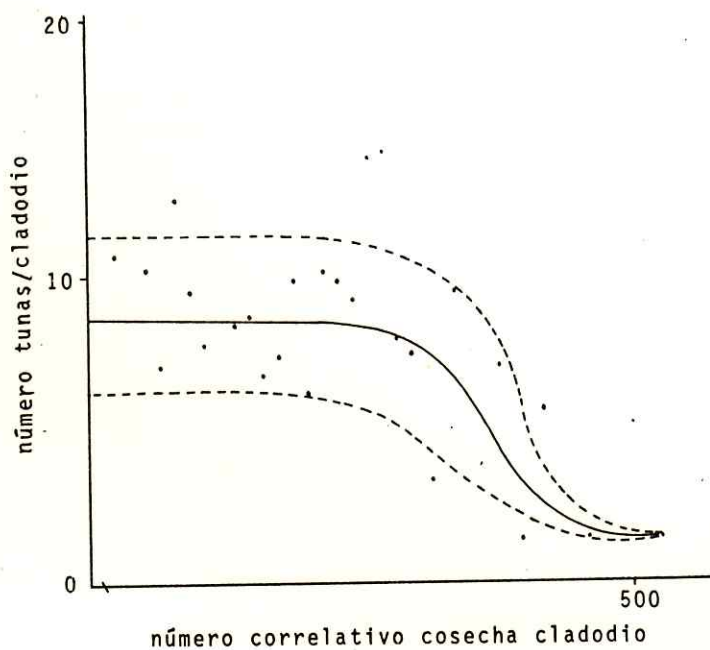


Figura 26. Relación no acumulativa entre el número de frutos por cladodio cosechado y el número correlativo de cosecha del cladodio, comenzando desde la planta sin cosechar hasta la cosecha íntegramente (Gastó, Nava y López, 1981).

La tendencia general de la cosecha es, sin embargo, definida, a pesar de las irregularidades indicadas. A medida que un mayor número de cladodios es cosechado, comienza a disminuir la relación del número de tunas por cladodio, la cual comienza a hacerse asintótica en un valor cercano a uno.

La misma relación analizada para resultados no acumulativos, se mantiene cuando los resultados se analizan acumulativamente. Los valores indicados 27 así lo demuestran. Como es de esperarse, la variabilidad entre las mediciones es menor, ya que en cada caso se relaciona con el total de la planta cosechada. La función tiende a hacerse asintótica en el número medio inferior de tunas por cladodio cosechado. La tendencia general de los resultados del proceso hace pensar que el proceso se ajusta a una función sigmoidea característica, análoga a la de otros procesos de igual naturaleza.



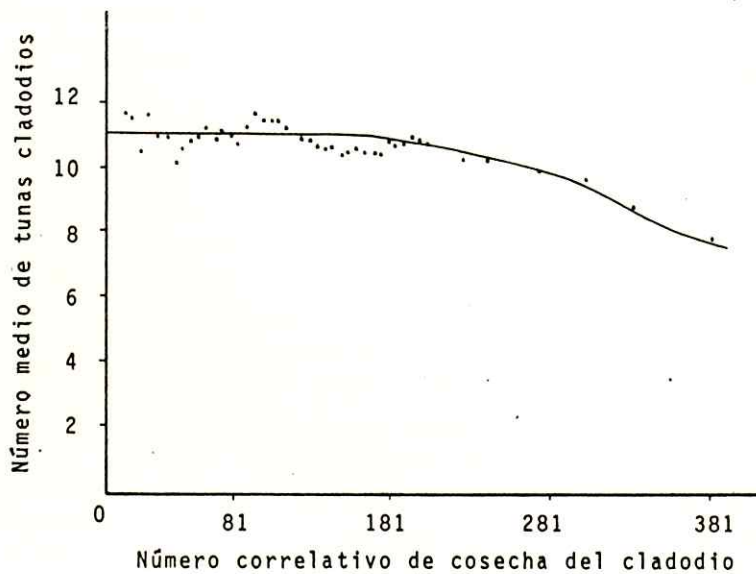


Figura 27. Relación acumulativa entre el número medio de frutos por cladodio cosechado y el número correlativo de cosecha del cladodio, comenzando desde la planta sin cosechar hasta la cosechada íntegramente (Gastó, Nava y López, 1981).

## DISCUSION

La resolución de problemas de manejo y utilización de pastizales puede plantearse en un contexto que considere la arquitectura de la fitocenosis, concebida como una unidad de carga de materia, energía e información. Debe, además, plantearse dentro del contexto del proceso general de descarga, descrito y planteado en el marco de la ecuación general de -descarga, analizada en el presente trabajo.

La forma ha sido analizada tradicionalmente desde ángulos diversos tales como metafísicos, filosóficos, físicos, geométricos, de diseño e, incluso, biológicos. Desde esta última dimensión, la forma adquiere expresiones diversas, centrándose su análisis en interpretaciones anatómicas y morfológicas diversas, que en general se distinguen por el grado de fidelidad, precisión y detalle. Desde la época de Lineo, en que los órganos florales y frutales comenzaron a representar la especiación del individuo, la atención morfológica se centra en esas estructuras, restándosele ponderación a las estructuras vegetativas. Posteriormente, con el desarrollo de la citología, genética y las leyes de la herencia, la estructura celular y cromosomal adquiere una mayor relevancia. La forma de la planta completa o de la fitocenosis que el ecosistema no ha recibido, sin embargo, la atención que se merece. Dada la magnitud y complejidad de la forma, los modelos isomórficos visuales, que pretenden representar fenómenos fitocenósicos son de valor explicativo, como ayuda visual, pero difícilmente pueden ser empleados en la resolución de problemas fenomenológicos.

La ley de la máxima fitomasa persistente establece limitantes cuantitativas de las opciones morfológicas de la fitocenosis. En igual forma, la ley de la mínima fitomasa persistente establece limitantes biogeoquímicas de la magnitud superior de la masa, compatible con la conservación de los nutrientes inorgánicos en el ecosistema.

Las modalidades representativas de la forma pueden variar entre extremos muy amplios, que van desde una máxima complejidad, hasta una máxima simplicidad. La teoría tubular es una aproximación homomórfica al problema de la forma. Esta aproximación, con las modificaciones propuestas en diversos trabajos, se presenta como una abstracción adecuada de la fitocenosis, susceptible de ser empleada en la resolución de problemas de pastizales.

En el diseño de ecosistemas prateros se requiere en una primera etapa, la caracterización abstracta de la forma, considerada como un conjunto de estructuras procesos y acontecimientos que generan los atributos esenciales del sistema ecológico tales como: estabilidad, homeostasis, resiliencia, productividad, longevidad y otros, los cuales deben ser considerados en el diseño genético de plantas y en el mejoramiento de praderas en general. Sin un modelo abstracto general, que sea en extremo simple y que represente fielmente al fenómeno, resulta difícil pretender diseñar praderas. Al no contarse con este modelo, es necesario, en la búsqueda de mejores especies y morfologías fitocenóticas, emplear procedimientos empíricos que, a través de aproximaciones sucesivas de ensayo y error, conduzcan finalmente a una vecindad de la solución. Este proceso, se presenta como excesivamente engorroso.

El ecosistema puede ser considerado como un conjunto de estructuras susceptibles de almacenar y liberar carga en forma de materia, energía e información, al igual que los acumuladores convencionales que son de naturaleza abiótica. En tales circunstancias, es lícito suponer que los principios generales de carga y descarga se aplicarían en igual forma a los acumuladores biológicos y a los mixtos bióticos-abióticos, como es el caso del ecosistema.

El pastizal debe ser considerado como un acumulador natural, cuyo propósito es transformar y acumular materia,



energía e información, en condiciones tales que sea susceptible de descargarse en ciertas circunstancias y modalidades, a través de un flujo hacia el herbívoro consumidor. Los atributos del pastizal como acumulador, pueden ser desarrollados y optimizados, dentro del contexto de principios y leyes generales aplicables a los acumuladores en general, a través de la modificación de las estructuras que conforman su arquitectura.

La descarga del sistema, analizada al nivel de complejidad y jerarquía propia del ecosistema puede ser descrita como un modelo simplificado, tal como el que se presenta en este estudio. El concepto de vida media es aplicable a la descarga del sistema y representa una medida valiosa en la caracterización paramétrica del pastizal.

La mínima fitomasa persistente debe estar relacionada con la conservación de los nutrientes inorgánicos a través de ciclos biogeoquímicos que pueden presentar diversos grados de apertura y pérdidas. Se supone que, en general, existe una cierta relación entre la fitomasa en pie y la apertura del ciclo biogeoquímico, de manera que a mayor fitomasa en pie, mayor es la conservación de los nutrientes.

La mínima fitomasa persistente, que permanece en el pastizal es, además, una consecuencia de la arquitectura de la planta. Los componentes pasivos, especialmente los órganos de sostén y de defensa, debido a su estructura anátomo-morfológica pueden no ser cosechables, por lo cual, permanecen en la planta luego de ser utilizado el pastizal por el animal. La arquitectura y etología del cosechador, también inciden en el remanente de fitomasa no cosechable de la fitocenosis. La interacción de la arquitectura de la fitocenosis y zoocenosis, con las modalidades de manejo y utilización del ecosistema, establecen la magnitud y cualidades de la fitomasa remanente luego de la utilización del pastizal.

La caracterización de la arquitectura fitocenósica del pastizal, en función de sus parámetros de arquitectura y



y descarga es importante para el planteamiento de su mejoramiento. El modelo de arquitectura y descarga, presentado en el presente trabajo, es una aproximación hacia la búsqueda de imágenes abstractas que permitan encontrar una solución general del problema. Es, en esta relación entre arquitectura de la planta y sus atributos de descarga, donde mejor se integra el problema del pastizal y el fitomejoramiento de las especies que le componen.

#### LITERATURA CITADA

- ASHBY, W.R. 1956. An Introduction to cybernetics. Chapman and Hall. University Paperbacks. Londres 295p.
- BERGER, G.W. y M.T. Yokohama. 1977. Productive limits to rumen fermentation. *Animal Science* 46: 573-584.
- BLUMRICH, J.F. 1970. *Design. Science* 168: 1551-1554.
- BROWNE, C.A. 1942. Liebig and the law of minimum: 71-82. En: Moulton, F.R. (ed.). *Liebig and after liebig. A century of progress in agricultural chemistry.* Amer. Ass. Advancement of Science 16. 111p.
- CANAS C.R. y J.C. Gastó. 1974. Costo de cosecha y eficiencia de producción de ecosistemas ganaderos. *Ciencia e Investigación Agraria* 1: 177-185.
- 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.
- CLARK, F.E. y E.A. Paul. 1970. The microflora of grassland. *Advances in Agronomy* 22 :375-435.
- COLINVAUX, P. 1973. *Introduction to ecology.* John Willey and Sons. N.Y. 621p.
- COOK, C.W. 1954. Common use of summer range by sheep and cattle. *J. Range Manage.* 7: 10-13.
- CORDOVA, F.J., J.D. Wallace y R.D. Pieper. 1978. Forage intake by grazing livestock; a review. *J. Range Manage.* 31: 430-438
- DASCOINGS, H. 1975. Les types morphologiques et biomorphologiques des especes graminoides dans les formations herbeuses tropicales. *Naturalia Nonspeliensia. Ser. Bot.* 25: 23-35.

- FONTENOT, J.P. y R.E. Blaser. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Selection and intake by grazing animals. J. Animal Science 24: 1202-1208.
- FLORES, A., y A.García 1972. Distribución del peso de materia seca producida a lo largo de la altura de la planta en tres especies gramíneas altoandinas. Programas Forrajes. Bol. Técnico 15. Univ.Nacional Agraria La Molina. 16p.
- GARY, H.L. 1976. Crown structure and distribution of biomass in a Lodgepole pine stand. USDA Forest Service, Research Paper RM-165. 20p.
- GASTO, C. J. y A.E.Olivares. 1979. Análisis cuantitativo de la arquitectura de Atriplex repanda Phil. Ciencia e Investigación Agraria 6 105-113.
- GASTO, C. J. y A.E. Olivares. 1981. Atriplex repanda. Organización y manejo de ecosistemas con arbustos forrajeros. Fac.Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago. 300p.
- GASTO, C. J. y E.Caviedes de la R. 1976. Interferencia intra específica de Atriplex repanda en el secano mediterráneo de Chile. Fac.Agronomía Univ. Chile. Bol.Técnico 41: 3-18.
- GASTO, C., R. C.Nava y J.G.Lopez. 1981. Proceso de descarga frutal en poblaciones naturales de Opuntia streptacantha Lemaire. Univ. A.A.Antonio Narro. Monog.Técnico-Científica 7: 170-220.
- GEE, A.J., A.J. Milner. y R.J.Hemsworth. 1978. The effect of density on mortality in juvenile Atlantic salmon (Salmo salar). J.Animal Ecology 47: 497-505.
- GONZALEZ, B. C. 1979. Función de descarga ecosistémica. Aplicación al proceso de cosecha de la pradera por el ganado, Univ.Chile.Fac. Agronomía. Tesis Ing.Agrónomo. 59p.

- GONZALEZ, B. C., J.C.Gastó y A.E.Olivares. 1980. Aproximación teórica al proceso de carga y descarga ecosistémica. Avances en Producción Animal 5: 55-63
- GONZALEZ, B., C., J.C.Gastó y A.E. Olivares. 1981. Función de descarga ecosistémica. Aplicación al proceso de cosecha de la pradera por ovinos. Ciencia e Investigación Agraria 8: 43-51.
- GROSENBAUGH, J.R. 1965. Generalization and reparameterization of some sigmoid and other non linear functions. Biometrics 21: 708-714.
- HAVRE, R. 1960. An introduction to the logic of the sciences. MacMillan. N.Y.
- HEADY, H.F. 1975. Rangeland management. McGraw Hill. N.Y. 459p.
- KALASHNIKOV, S.G. 1959. Electricidad. Grijalbo. México. 725p.
- KORSHUNOV, Y.N. 1976. Fundamentos matemáticos de la cibernética Mir. Moscú.
- KREBS, J. 1977. Optimal foraging: Theory and experiment. Nature 268: 583-584.
- LAREDO, M.A. y D.J. Minson. 1975. The voluntary intake and digestibility by sheep of leaf and stem fractions of *Lolium perenne*. J. British Grassland Soc. 30: 73-77
- LOTSPEICH, W.D. 1963. The place of form in the study of life. Perspective in Biology and Medicine 7: 107-117.
- MAELZER, D.A. 1965. A discussion of components of environment in ecology. J. Theoret. Biol. 8: 141-162.
- MAELZER, D.A. 1965. Environment, semantics and system theory in ecology. J. Theoret. Biol. 8: 395-402.



- MONSI, M. y T. Saeki. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. J. Bot. 14: 22-52.
- NAVA, C. R., J.C.Gastó y R.T. Armijo. 1976. Arquitectura ecosistémica. Fundamentos y genesis. Univ. A.A. Antonio Narro. Monog.Tecn. Científica 2: 738-855
- NAVA, C.R., R.T.Armijo y J.C.Gastó 1979. Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre. Univ. A.A. Antonio Narro. Serie Rec. Naturales. Saltillo, México. 332p.
- NOY-MEIR, I. 1975. Stability of grazing systems: An application of predator-prey graphs. Ecology 63: 459-481.
- OLIVARES, E. A. y J.C.Gastó. 1979. Función de cosecha por ovinos de la pradera anual mediterránea de Chile. Avances Producción Animal 4: 45-54.
- OLSON, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44: 322-331.
- ORTUZAR, S. J. 1979. Un modelo de simulación por computación para predecir cambio de peso y producción de lana en corderos a pastoreo. Pontif.Univ. Católica. Fac.Agron.Depto. Zootecnia. Tesis Ing.Agrónomo. 65p.Santiago.
- PAULING, L. 1967. Química general. México. Aguilar. 694p.
- PHILLIPS, M.O. 1978. The equilibrium and simple marine biological systems. III. Fluctuations and survival. Amer. Naturalist 112: 745-757.
- PIANKA, E. 1978. Evolutionary ecology. Parker y Raw. N.Y. 397p.
- RANGE TERM Glossary Committe. 1974. A glossary of terms used in range management. Soc.Range Management. Denver.

- REICHLER, D.E., R.V. O'Neill y W.P. Harris. 1975. Principles of energy and material exchange in ecosystems. En: W.H. Van Dobbsen y R.H. Lowe McConnell. Unifying concepts in ecology. pp. 27-43. W.Junk. La Haya. 1975.
- REIFSNYDER, W.E. y H.W. Lull. 1965. Radiant energy in relation to forests. U.S. Dept. Agriculture. Forest Service Tech. Bull. 1344. 111p.
- RIVEROS, F., A. Hoffmann, G. Avila, M.E. Aljaro, S. Araya, E.E. Hoffmann y G. Montenegro. 1976. Comparative morphological and ecophysiological aspects of two sclerophyllous chilean shrubs. Flora 165: 223-234.
- SAEKI, T. 1963. Light relations in plant communities 79-92. En: Evans (ed). Environmental control of plant growth. Academic Press.
- SHANKS, R.E. y J.S. Olson. 1961. First-year breakdown of leaf litter in southern Appalachian forests. Science 134: 194-195
- SHINOZAKI, K. K. Yoda, K. Hozumi y T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant form. The pipe model theory. Japanese J. Ecol. 14: 97-105.
- SPEEDING, C. R.W. 1971. Grassland ecology. Oxford Univ. Press. Londres. 221p.
- STODDART, L.A. y A.D. Smith. 1953. Range Management. McGraw Hill Book Company. N.Y. 347p.
- THORN, R. 1975. Structural stability and morphogenesis. Benjamin. Reading. Mass.
- UDVARDY, M. 1959. Notes on the ecological concepts of habitat, biotope and niche. Ecology 40: 725-728.

- WERNER, E.E. y D.J. Hall. 1974. Optimal foraging and the size selection of prey by the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Ecology* 55: 1042-1052.
- WILLOUGHBY, W.M. 1959. Limitation to animal production impaired by seasonal fluctuations in pasture and by management procedures. *Aust. J. Agric. Res.* 10: 248-268.
- WYMORE, A.W. 1976. Systems engineering methodology for interdisciplinary teams. Wiley. N.Y.
- ZUÑIGA, F. M. 1973. Determinación de curvas de crecimiento en *Atriplex repanda* Phil. en función de la densidad poblacional. Univ. Católica de Chile. Fac. Agronomía. Tesis Ing. Agrónomo. 80p. Santiago.