

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMIA

Gasto

FUNCION DE DESCARGA ECOSISTEMICA.
APLICACION AL PROCESO DE COSECHA DE
LA PRADERA POR EL GANADO

CLAUDIO E. GONZALEZ BAHAMONDE

Tesis para optar al grado
de Licenciado en Agronomía.
Depto. de Ganadería y
Producción Pratense

Profesor Guía: Ing. Agr., M. Sc. ALFREDO OLIVARES E.
Profesor Colaborador: Ing. Agr., Ph.D. JUAN GASTO C.

SANTIAGO - CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMIA

*Al profesor Gastó con cariño
y respeto de un alumno.*

Claudio González B

FUNCION DE DESCARGA ECOSISTEMICA.
APLICACION AL PROCESO DE COSECHA DE
LA PRADERA POR EL GANADO

CLAUDIO E. GONZALEZ BAHAMONDE

Tesis para optar al grado
de Licenciado en Agronomía.
Depto. de Ganadería y
Producción Pratense

Profesor Guía: Ing. Agr., M. Sc. ALFREDO OLIVARES E.
Profesor Colaborador: Ing. Agr., Ph.D. JUAN GASTO C.

SANTIAGO - CHILE

CALIFICACION COMISION INFORMANTE

Sr. Alfredo Olivares E., Ing. Agr., 7,0

Sr. Edmundo Acevedo H., Ing. Agr., 6,0

Sr. Héctor Manterola B., Ing. Agr., 6,5

V°B° Profesor Guía 

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos

al profesor de la asignatura de

de la Facultad de

por haberme permitido

participar en esta investigación

de la que he obtenido

los conocimientos que en ella

se expresan y que me han

servido de guía en mi

trabajo de tesis.

A MIS PADRES

Por darme la oportunidad de estudiar.

AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo desea expresar sus agradecimientos a las siguientes personas:

- Al profesor guía y tutor Ingeniero Agrónomo, Mg.Sc. Sr. Alfredo Olivares Espinoza, por su constante apoyo y enseñanzas durante la permanencia del autor en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.
- Al profesor colaborador, gestor de la idea central de esta tesis, Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Sr. Juan Miguel Gastó Coderch, quien me enseñó a asumir una actitud ecológica, por sus constantes enseñanzas y apoyo en la confección de esta tesis.
- Al Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Sr. Edmundo Acevedo Hinojosa, por sus acertados consejos y apoyo en la confección de esta tesis.
- Al personal de la Sección Ovejería de la Estación Experimental Agronómica La Rinconada de Maipú, Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile por su colaboración en el trabajo de terreno.

Este trabajo se realizó gracias a la colaboración de los siguientes proyectos de investigación:

- Desarrollo de Sistemas de Producción de Carne Ovina en Ecosistemas Mediterráneos. O.E.A. - Universidad de Chile.
- Proyecto 51/78 de la Dirección de Investigación de la Universidad Católica de Chile.

INDICE

	<u>Págs.</u>
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO GENERAL	3
2.1 El ecosistema como unidad de carga y descarga	3
2.1.1 Carga	3
2.1.2 Crecimiento exponencial	4
2.1.3 Crecimiento asintótico	5
2.1.4 Crecimiento sigmoideo	6
2.1.5 Medidas del crecimiento	8
2.1.6 Descarga	10
2.2 Procesos de descarga	11
2.3 Estabilización de la carga	15
2.4 Atributos del cosechador	17
2.4.1 Costo ecológico de cosecha	17
2.4.2 Intensidad de pastoreo	19
2.5 Interacción entre el nivel productor y el nivel consumidor	21
2.5.1 Fitomasa en pie no cosechable	21
2.5.2 Tasa intrínseca de descarga	24
2.6 Modelo general de descarga	26
2.6.1 Carga y descarga	28
2.6.2 La descarga como un flujo	30
3. ESTUDIO DE CASO	35
3.1 Materiales y métodos	35
3.2 Resultados y discusión	39
4. CONCLUSIONES	51
5. RESUMEN	52
5.1 Summary	53
6. BIBLIOGRAFIA	54

1. INTRODUCCION

En las ciencias silvoagropecuarias el profesional está enfrentado a la tarea de manejar ecosistemas. Dentro del manejo del ecosistema existen dos instancias principales, una de ellas es la producción o carga y la otra la cosecha o descarga.

En la toma de decisión el profesional necesita de una herramienta que sea de valor predictivo en el comportamiento del ecosistema, en cualquiera de estas dos instancias. De ahí que en el presente trabajo se concentren los esfuerzos en conseguir una expresión matemática que describa el comportamiento de la cosecha ecosistémica, tomándose como ejemplo una pradera natural de secano utilizada por ovinos.

Esta tarea se puede enfrentar por dos vías. Una es hacerlo desde el punto de vista microscópico, es decir plantearlo en un nivel de complejidad inferior al del ecosistema. Odum (1971) lo describe como ver la parte dentro de la parte. El camino alternativo es el punto de vista macroscópico, el que permite describir el fenómeno sin entrar en detalles internos. En el presente estudio se ha optado por el punto de vista macroscópico debido a la gran complejidad del problema.

Los objetivos de esta tesis son:

- a) Formalizar el problema de la descarga ecosistémica.
- b) Determinar y cuantificar los parámetros que definen el proceso de descarga.
- c) Determinar cuales son las variables pertinentes al proceso de descarga.
- d) Comprobar si la descarga de la pradera natural por ovinos se ajusta a una ecuación general de descarga.

- e) Plantear el proceso general de la cosecha de pradera por el herbívoro.

Se plantea la hipótesis que la descarga del ecosistema es un proceso que puede ser representado por una función matemática, cuya ecuación general corresponde a una ley o principio.

2. PLANTEAMIENTO GENERAL

2.1 El ecosistema como una unidad de carga y descarga

El ecosistema constituye un todo dinámico, el cual funciona de acuerdo con el principio holocénico. Su condición de dinamismo hace que el sistema o los elementos del sistema mantengan un flujo constante de materia, energía e información. Cuando los flujos de entrada y salida son de magnitudes diferentes, el sistema o el componente del sistema está acumulando o está descargando. Si los flujos son de igual magnitud, el sistema o el elemento del sistema está en equilibrio. El cambio en estos flujos es el que genera los cambios de estado del sistema.

El ecosistema consta de dos atributos fundamentales que definen su estado, uno es la arquitectura Λ y otro el comportamiento β (Armijo, Nava y Gastó, 1978).

Armijo, Nava y Gastó (1976, 1978) y Olivares y Gastó (1978) consideran a la arquitectura del ecosistema como una unidad capaz de almacenar y liberar materia, energía e información. Por lo anterior, consideran característico del ecosistema manifestar una capacidad de almacenamiento, un costo de almacenamiento, una tasa de carga, una eficiencia de conservación de la carga y una tasa de descarga. El cambio de estado de un ecosistema es un proceso que puede ser continuo y cíclico, que como se mencionó consta de dos procesos que normalmente ocurren en forma simultánea, carga y descarga.

2.1.1 Carga

Los conceptos de carga y descarga aparecen en el vocabulario ecológico a comienzos de esta década. Odum (1971) emplea el concep

to de carga Q y lo define como masa almacenada con energía asociada, pudiendo ser energía, como luz, sonido u otra onda .

Otros autores definen carga como la cantidad de materia, energía e información de un ecosistema en un momento dado. Corresponde, por lo tanto, a la suma de los diversos tipos de energía generalizada contenida en el ecosistema en un momento dado. La generalización está dada por:

$$Q(t) = \sum c_i U_i (t) \quad (1)$$

donde:

U_i = energía del tipo i contenida en el ecosistema

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

Estos autores (Armijo, Nava y Gastó, 1976, 1978; Olivares y Gastó, 1979) suponen, también, que existe una densidad de carga δQ de la arquitectura, que tiene la función siguiente:

$$\frac{d \delta Q}{dt} = f(Q, C_q, t) \quad (2)$$

donde:

C_q = es la capacidad potencial de carga y t es el tiempo.

La función f puede tener diferente forma dependiendo del proceso que se trate.

2.1.2 Crecimiento exponencial

La función que describe el crecimiento en un ambiente ilimitado tiene la forma:

$$Q = Q_0 e^{kt} \quad (3)$$

donde:

Q_0 es la cantidad inicial de organismos

Q es la variable dependiente que expresa la carga al tiempo t .

k es la tasa intrínseca de crecimiento, la que se considera constante.

Esta función se usa para describir, por ejemplo, el crecimiento de las poblaciones de microorganismos (Sussman, 1964; Erickson, 1976).

2.1.3 Crecimiento asintótico

Otro tipo de función utilizada para expresar el crecimiento corresponde a la forma:

$$Q = Q_{\text{máx.}} (1 - e^{-kt}) \quad (4)$$

donde:

$Q_{\text{máx.}}$ es la asíntota superior que corresponde a saturación

k es la tasa intrínseca de crecimiento, la que se considera constante.

La curva resultante tiende a una asíntota superior, la que corresponde al nivel máximo de carga. Esta curva se utiliza para describir el crecimiento de partes de la planta o plantas completas escindidas (Erickson, 1976); también se ha utilizado para describir la acumulación de mantillo de un bosque (Olson, 1963). La carga de un acumulador, en igual forma, sigue esta función (Kalashnikov, 1959).

2.1.4 Crecimiento sigmoideo

Debido a que el recurso es finito la población no puede crecer exponencialmente por tiempo indefinido (Pianka, 1978). Una de las más típicas formas que tiene el crecimiento corresponde a la llamada función sigmoidea, de la cual existen muchas versiones.

Algunos autores han intentado describir el crecimiento a través de la llama reacción monomolecular autocatalítica, la que supone al crecimiento análogo a una reacción química autocatalítica, dada por la ecuación:

$$dQ/dt = k Q(Q_{\text{máx.}} - Q) \quad (5)$$

Esta ecuación supone que la tasa de carga es proporcional al producto de la carga existente por la carga faltante para alcanzar el máximo (Whaley, 1961; Erickson, 1976). Esta función presenta el problema que es simétrica y gran parte de los fenómenos de carga en la naturaleza, no son simétricos.

Buscando una solución para superar el problema de la simetría se llegó a obtener la llamada ecuación de Gompertz, que es la de forma:

$$Q = a(e^{-ce})^{-kt} \quad (6)$$

donde:

a, c y k son constantes arbitrarias. Estas constantes son evaluadas por aproximación tentativa (Erickson, 1976).

En ecología de poblaciones se usa la ecuación de Verhulst-Pearl para describir el crecimiento. Se parte del supuesto que existe una relación lineal entre la tasa instantánea real de aumen

to r_a y la densidad de la población. Así, cuando la densidad es mínima, la tasa instantánea real de aumento (r_a) es máxima. La capacidad sustentadora K se alcanza cuando la tasa instantánea real de aumento es igual a cero y la tasa reproductiva neta R_0 es igual a uno. La ecuación diferencial que la describe es:

$$dQ/dt = rQ - rQ(Q/K) \quad (7)$$

si $z = r/K$, entonces (8)

$$dQ/dt = rQ - zQ^2 \quad (9)$$

En esta ecuación r es la tasa intrínseca de crecimiento de la población; el segundo término de la ecuación representa la reducción en la tasa de aumento de la población, que depende de la densidad (Pianka, 1978).

La ecuación sigmoídea describe el crecimiento poblacional en un ambiente limitado ecuación que posee dos etapas separadas por el punto de inflexión. La primera etapa τ_1 abarca desde el tiempo Cero hasta el tiempo en que se produce la inflexión. La forma de esta etapa puede ser asimilada a una curva de crecimiento exponencial (Sussman, 1961; Erickson, 1976). Esta etapa puede ser designada como la de construcción del arreglo topológico (Brougham, 1955; Armijo, Nava y Gastó, 1976, 1978; Olivares y Gastó, 1978). La segunda etapa del proceso τ_2 corresponde al crecimiento del sistema y ocurre entre el tiempo t_1 al punto de inflexión y el tiempo en que la curva alcanza su valor de carga máxima. La forma de este tramo puede ser asimilada a una curva de crecimiento asintótico (ecuación 4).

Se afirma que el comportamiento del ecosistema es análogo al de un acumulador, entonces ¿Por qué la curva de carga de un acumulador y la curva de carga de un ecosistema, sigmoídea generalmente,

no tienen la misma forma? La respuesta se debe buscar en los atributos que poseen ambos sistemas. El acumulador posee un atributo intrínseco, la tensión del condensador E . El ecosistema, en cambio, debe desarrollar esta carga potencial; es por ello que la fase de construcción del arreglo topológico tiene forma exponencial, en esta etapa se considera a la acumulación subordinada a la función de colonización del espacio, luego de desarrollada la carga potencial viene el período de acumulación propiamente tal (Figura 1).

Algunos autores han tratado de ajustar funciones de crecimiento a exponenciales sucesivas, líneas rectas sucesivas o a polinomios. Aunque algunas de éstas pueden presentar un buen ajuste, parece biológicamente inadecuado aceptarlas como representativas del crecimiento (Williams, 1964).

2.1.5 Medidas del crecimiento

Los estudios de análisis de crecimiento en vegetales han obligado a los investigadores a relacionar la carga con otras variables tales como área foliar, tiempo, etc. Ello ha dado origen a múltiples relaciones que se reseñan brevemente:

- a) Tasa de crecimiento. Corresponde a la primera derivada de la carga en función del tiempo. Expresa las variaciones de la carga al transcurrir un tiempo Δt (Erickson, 1976).
- b) Tasa de crecimiento relativo TCR. Está definida como el incremento del peso de la planta, en unidades de masa, por unidad de masa total, por unidad de tiempo.

Pianka (1978) la llama tasa instantánea real de aumento (Black, 1957; Williams, 1964; Erickson, 1976).

$$\text{TCR} = \text{TAN} \times \text{RAF} \quad (\text{Black, 1957}) \quad (10)$$

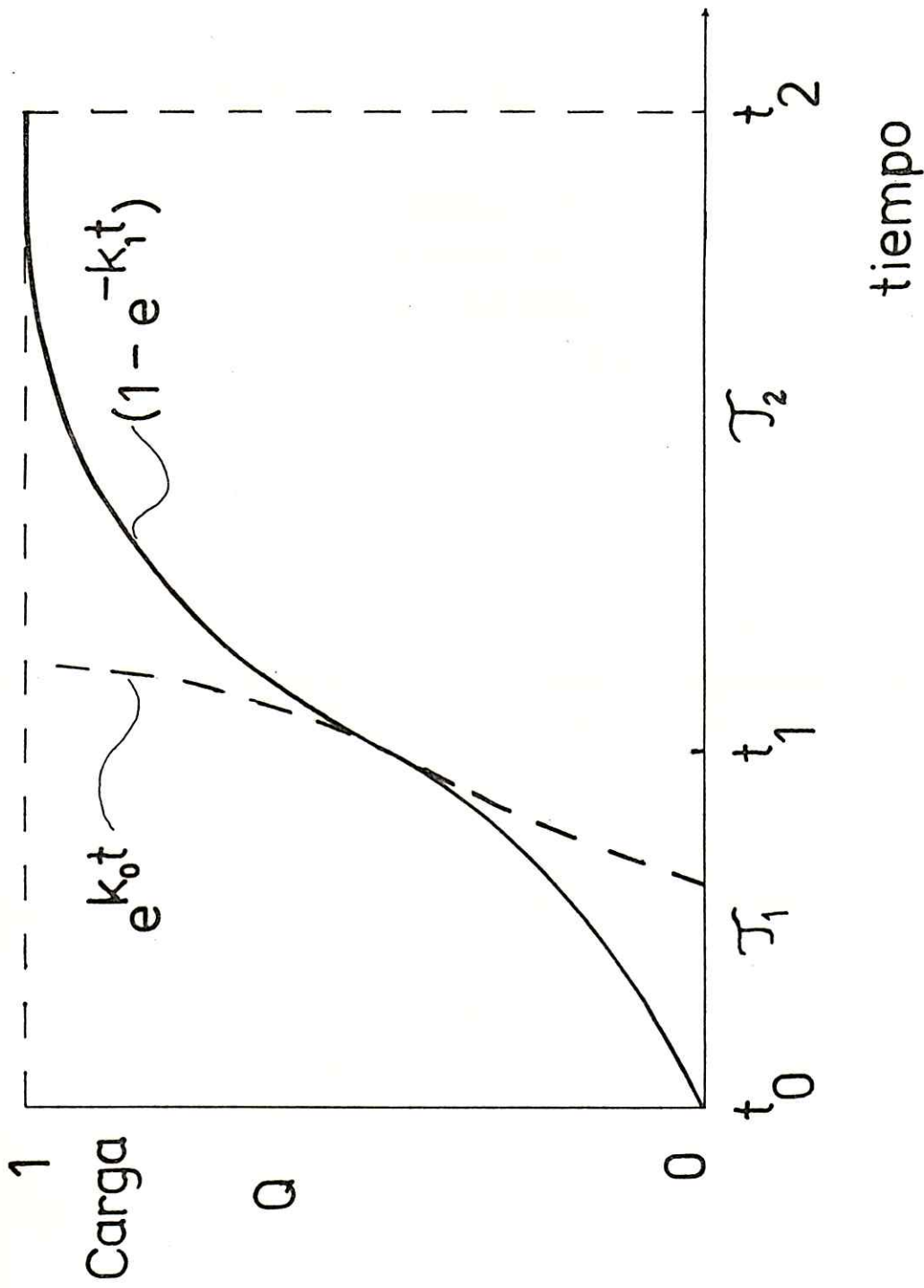


Figura 1. Descomposición de la curva de crecimiento sigmoidea. τ corresponde al período de desarrollo de la carga potencial. τ_1 corresponde al período de acumulación propiamente tal.

Está representado por la ecuación diferencial:

$$DCE = \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} = \frac{d \log Q}{dt} \quad (11)$$

- c) Relación de área foliar RAF. Corresponde a la razón del área foliar con el peso de toda la planta (Black, 1957).
- d) Tasa de asimilación neta TAN. Es el incremento en el peso seco de la planta por unidad de área foliar (Black, 1957; McCloud, Bula y Shaw, 1964).

$$TAN = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{L_2 - L_1} \quad (12)$$

- e) Tasa de crecimiento del cultivo C. La tasa de crecimiento del cultivo por unidad de área es el producto de la eficiencia foliar E por el índice de área foliar. C se expresa como materia seca producida por unidad de área de suelo por unidad de tiempo y E es la materia seca producida por unidad de área de hoja por unidad de tiempo (Brown y Blaser, 1968).
- f) Índice de área foliar IAF. Corresponde al área de hoja por unidad de área de suelo (Brown y Blaser, 1968; Eagles, 1973).
- g) Área foliar específica. Está definida como el área foliar ocupada por unidad de materia seca (Loomis y Williams, 1969; Eagles, 1973).

2.1.6 Descarga

El concepto de descarga ha sido abordado por diferentes autores, los cuales coinciden en el sentido que éste tiene. Odum (1971) definió descarga como la liberación de energía acumulada. Otros

autores lo definen como la fracción de la respuesta ρ del sistema que se retira, lo cual depende del comportamiento β_C (Nava, Armijo y Gastó, 1978).

El período de descarga puede ser dividido en dos tramos. El primer tramo corresponde a la cosecha del crecimiento (η). El otro tramo consiste en la desarticulación de los componentes topológicos $\sigma(\eta)$, concluyendo cuando el sistema alcanza el nivel de carga mínimo (Nava, Armijo y Gastó, 1978; Olivares y Gastó, 1978).

2.2 Procesos de descarga

Existen en la naturaleza diversos fenómenos que poseen comportamientos similares, lo cual hace pensar que no son simples coincidencias, sino que se trata de fenómenos gobernados por un mismo principio. Al respecto, Cañas y Gastó (1974) señalan que las leyes de la termodinámica son válidas en cualquier sistema y, por supuesto, en los ecosistemas silvoagropecuarios.

A continuación se enumeran algunos fenómenos que corresponden a procesos de descarga, a saber:

- a) La degradación del mantillo producido por la caída de hojas de un bosque se ajusta a la siguiente ecuación:

$$\frac{X}{X_0} = e^{-kt} \quad (13)$$

donde:

X_0 es la cantidad inicial de mantillo,

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

k es un coeficiente de descomposición (Olson, 1963;

Clarck y Paul, 1970).

- b) El perfil de intensidad luminosa en una comunidad vegetal se origina en la intercepción de la luz por el follaje, produciéndose un gradiente luminoso (Saeki, 1963). Tras observar este fenómeno en varias comunidades herbáceas Monsi y Saeki en 1953 demostraron que el comportamiento de la intensidad luminosa, en una comunidad vegetal, está dado por la ecuación:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-kF} \quad (14)$$

donde:

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

I_0 es la intensidad de luz incidente sobre la comunidad.

I es la intensidad de luz a una altura x, y

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

- c) La expresión integrada para la cinética de una reacción de primer orden tiene la ecuación:

$$[A] = [A]_0 e^{-kt} \quad (15)$$

en que [A] es la concentración actual al de A, $[A]_0$ es la concentración inicial de A, t es el tiempo transcurrido y k es un coeficiente de reacción. Un ejemplo de este tipo de reacciones es la descomposición de una partícula radioactiva (Pauling, 1967).

- d) La reducción de las cohortes en una población de salmón atlántico (Salmo salar) sigue la siguiente ecuación:

$$N_t = N_0 e^{-zt} \quad (16)$$

donde:

- N_t es el número de individuos presentes al tiempo t ,
 N_0 es el número de individuos presentes al comienzo del período, y
 z es el coeficiente exponencial de desaparición o tasa neta de pérdida que es igual a la mortalidad más migración, considerada constante (Gee, Milner y Hems-worth, 1978).

- e) La desaparición de productos desde el rúmen se ciñe a la ecuación siguiente:

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

donde:

- X es la fracción de producto al tiempo t , y
 k es el coeficiente de desaparición del producto.

El término producto puede ser una fracción de la planta como hojas o tallos o algún elemento nutritivo como proteína (Laredo y Minson, 1975; Berger y Yokohama, 1977). Queda expresado en relación a uno, considerado como el total.

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

$$\frac{dU}{dt} + \frac{1}{rC} U = 0 \quad (18)$$

donde:

- U es el valor instantáneo de la tensión del condensador.
 C es la capacidad del condensador, y
 r es la resistencia.

$$\text{para } t = 0 ; U = E \quad (19)$$

En que 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:

$$U = E e^{-t/RC} \quad (20)$$

(Kalashnikov, 1959)

- g) La presión de pastoreo sobre el fitoplancton por el zooplancton, está dada por la ecuación diferencial siguiente:

$$\frac{1}{p} \frac{dp}{dt} = a(n) - \omega \quad (21)$$

Cuya solución es:

$$p = p_0 e^{(a(n) - \omega)t} \quad \text{cuando } a(n) \rightarrow 0 \quad (22)$$

siendo:

p la cantidad de fitoplancton al tiempo t ,

p_0 la cantidad inicial de organismos al tiempo t_0 ,

(n) función de cantidad de nutrientes; que describe el crecimiento del fitoplancton, y
tasa de eliminación (Phillips, 1978).

Colinvaux (1973) describe un experimento en el cual una población de copépodos del género Galanus predan fitoplancton compuesto por algas Clamidomonas, obteniéndose la ecuación:

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (23)$$

donde:

- C_t concentración de Clamidomonas al tiempo t ,
 C_o concentración inicial de Clamidomonas, y
 k coeficiente de desaparición.

2.3 Estabilización de la carga

El ecosistema debe almacenar energía, materia e información. Existen unidades especializadas en almacenar cierto tipo de estímulos, conforme a su naturaleza. El diseñar acumuladores ecosistémicos significa organizar arreglos topológicos para tales procesos, lo que involucra un costo de transformación. Necesita, además, de un sistema conductor de los productos transformados a las unidades de acumulación. La carga constituye una acumulación de estímulos, los que pueden ser fácilmente cosechados o descargados, por lo que es necesario incurrir en gastos para producir mecanismos que evitan la descarga aunque su efectividad no sea total. Es posible suponer que mientras mayor sea el almacenamiento mayor será su costo (Nava, Armijo y Gastó, 1978).

Debido a la universalidad de las leyes del equilibrio (Prigogine, 1978), la estabilización de la carga está relacionada directamente al problema del equilibrio en sistemas.

La teoría de catástrofes establece la existencia de atractores (Tohm, 1975), los cuales actuarían como campos de atracción sobre el sistema. Estos atractores poseen barreras, las cuales hacen que el sistema, en ciertos estados, tenga un equilibrio más estable o menos estable. Los estados de equilibrio son atractores para los estados de no equilibrio (Prigogine, 1978).

Para enfrentar el problema de la estabilidad de la carga no se debe olvidar que los sistemas inestables o incoherentemente organizados son rápidamente destruidos o modificados y que sólo perduran aquellos sistemas coherentemente organizados y estables (Wilson, 1968).

Los medios que poseen los vegetales para protegerse de la predación son diferentes a los de los animales. La distribución espacio-temporal de una especie puede ser una táctica valiosa de estabilización de la carga. Con una distribución desordenada en el tiempo o en el espacio puede escapar al predación sólo porque su disponibilidad es impredecible. Algunas especies han desarrollado estrategias de estabilización de la carga mediante adaptaciones morfológicas tales como pelos, cutículas, espinas, etc. Un ejemplo notable de utilización de la epidermis y la cutícula como estabilizadores de la carga lo constituye el caso de Passiflora adenopoda, que ha desarrollado tricomas con forma de ganchos, para protegerse del ataque de larvas herbívoras (Gilbert, 1971). Otra estrategia adoptada por los vegetales para la estabilización de la carga es la producción de sustancias dañinas o la excreción de sustancias que hagan poco atractiva la presa para el predador (Jones, 1962; Raymond, 1968; Spedding, 1971). La coevolución de los organismos ha jugado un papel importante dentro de las estrategias de estabilización de la carga (Pianka, 1978).

Los vegetales han desarrollado mecanismos de diversa naturaleza mediante los cuales estabilizan su carga. Para cosecharlos es necesario superar la barrera impuesta por los mecanismos de estabilización de la carga, para lo cual se necesita adicionar energía. El concepto es análogo al principio de Arrhenius.

Se puede afirmar que la energía de activación E_a es proporcional a la estabilidad de la carga E_c , es decir a mayor estabilidad es necesario adicionar mayor cantidad de energía para producir la descarga.

$$E_a \propto E_c \quad (24)$$

2.4 Atributos del cosechador

Los animales herbívoros obtienen la materia y energía del forraje capturado; materia y energía que le son indispensables para cumplir sus funciones de crecimiento, mantención y reproducción.

Los animales en el cumplimiento de sus funciones, deben tomar decisiones de realizar actividades tales como dormir, cortejar, comer, etc., de tal manera que puedan maximizar sus probabilidades de sobrevivencia y éxito reproductivo. En la teoría clásica de toma de decisiones existen dos tipos importantes de variables. Una es la evaluación del atractivo relativo de opciones alternativas, lo que se llama utilidad. La otra variable, llamada probabilidad, considera las consecuencias de tomar cada opción (McFarland, 1977).

2.4.1 Costo ecológico de cosecha

La cosecha de forraje por un herbívoro trae unida a sí un costo de captura (Pianka, 1978), el que ha sido llamado costo ecológico de cosecha (Cañas y Gastó, 1974). La magnitud del costo de cosecha depende de la densidad calórica tanto del predator como de la presa. Los factores que intervienen pueden expresarse por la ecuación:

$$\text{Costo de cosecha} = f(\text{cia}, \text{ca}, \text{cf}, \text{cma}, \text{iaf}, \text{c}, \text{vn}) \quad (25)$$

donde el costo de cosecha es función de las características intrínsecas del animal (cia), el comportamiento animal (ca), las características de la fitocenosis (cf), las características del medio abiótico (cma), la interacción animal-fitocenosis (iaf), la cosecha (c) y el valor nutritivo (vn) (Cañas y Gastó, 1974).

El costo ecológico de cosecha puede ser expresado como el gasto, en términos energéticos, realizado por el animal al obtener una presa, el cual incluye la probabilidad de captura de esa presa. Esta relación parece razonablemente correcta en la medida que al disminuir las probabilidades de éxito en la obtención de una presa el costo de cosecha tiende a maximizarse.

El costo ecológico de cosecha por unidad atrapada es alto en bajas densidades de población de la presa. Es por ello que no resulta conveniente cosechar los últimos individuos de una población-presa (May, 1976).

La relación entre la energía que entrega una presa determinada y la energía gastada en obtener esa presa corresponde a la eficiencia de cosecha. De acuerdo con ello, a medida que la densidad de la presa disminuye la eficiencia de cosecha es menor.

El costo ecológico de cosecha no tiene relación directa con la energía de activación, la cual representa la energía necesaria para superar la barrera puesta por el atractor. Ello impide que la descarga se lleve a cabo en forma espontánea. El costo ecológico de cosecha incluye toda la energía gastada en conseguir la presa y la relaciona con la probabilidad de obtener esa presa.

Las tácticas óptimas de pacimiento implican una minimización del costo ecológico de cosecha (Pianka, 1978). Al respecto, la acción antrópica del manejo de ganado tiende a minimizar el costo de cosecha del forraje; por un lado disminuyendo los gastos que el animal debe hacer para obtener su presa y, por otro, asegurando una alta probabilidad de éxito en esta tarea, todo lo cual redundará en una mayor productividad neta.

2.4.2 Intensidad de pastoreo

La solución general del problema de la cosecha requiere de un tratamiento de igual naturaleza. Esto hace necesario aclarar las variables que se deben considerar para plantear la función de descarga.

Se considera a la fitomasa aérea en pie por unidad de área como la variable dependiente, que expresa los cambios en la carga, y como variables independientes tiempo y zoomasa cosechadora.

Se puede dar a la cosecha un tratamiento en el cual la descarga es función sólo del tiempo (Colinvaux, 1973). El no considerar el efecto de la zoomasa cosechadora hace agregar a la pendiente de la curva de descarga el efecto debido a zoomasa. Si se tiene una curva de descarga de una pradera cosechada por una zoomasa A y otra curva, de la misma pradera, cosechada por una zoomasa B, tal que $A < B$; la pendiente de la primera curva será menor que la pendiente de la segunda curva.

Para dar una solución general al problema de la cosecha Olivares y Gastó (1978) proponen una unidad de intensidad de pastoreo que incluya el tiempo de permanencia del cosechador. Introdu

cen el concepto de zoomasa cosechadora-tiempo de cosecha por unidad de superficie expresado, en este caso, en toneladas-hora/ha. Una tonelada-hora/ha corresponde a la permanencia de una tonelada de organismos cosechadores, durante una hora, en una superficie de una hectárea. Si se mantienen constantes la zoomasa y la superficie lo que varía es el tiempo.

$$\text{Ton-hora/ha} = (t \sum W_i) (A)^{-1} \quad (26)$$

donde:

t es el tiempo, en horas,

W_i es el peso individual de los organismos cosechadores,

A es la superficie sometida a pastoreo.

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

Más estrictamente correcto es relacionar el peso metabólico del animal con el producto cosechado (Spedding, 1971; Cordova, 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 suma una tonelada, durante una hora, en una superficie de una hectárea.

$$\text{ton metabólica-hora/ha} = (t \sum W_i^{0.75}) (A)^{-1} \quad (27)$$

donde:

$W_i^{0.75}$ es el peso metabólico de los individuos,

t es el tiempo en horas, y

A es la superficie sometida a pastoreo.

2.5 Interacción entre el nivel productor y el nivel consumidor

El nicho ocupado por el cosechador está determinado tanto por las características del cosechador como por las características del nivel trófico inmediatamente inferior. Es por ello que la curva de descarga de una presa determinada por un cosechador determinado tiene una forma típica, debido a que los parámetros de la función de descarga toman valores característicos para esa relación predator-presa. Los valores de estos parámetros están determinados por las limitaciones del cosechador y las características de la presa.

2.5.1 Fitomasa en pie no cosechable

La cosecha de los organismos-presa puede ser total o parcial. A cada relación predator-presa corresponde una función de carga presente no cosechable determinada (C), la cual expresa la fracción de la carga no cosechable por el predator.

La Figura 2 muestra la función de fitomasa en pie no disponible para el nicho ocupado por el cosechador, en este caso animales herbívoros. En ella se expresan las variaciones de la materia seca no disponible para el consumo, en función del tiempo (época). La primera fase de esta curva, desde t_0 hasta t_1 , corresponde al tramo pradera-dependiente. Debido a la imposibilidad física del animal, determinada por algunas características anatómicas, de preda las plantas en sus primeros estados de desarrollo; la cantidad de forraje remanente corresponde al crecimiento de la pradera. En esta fase existe un consumo potencial que no se satisface debido a las limitantes ya señaladas.

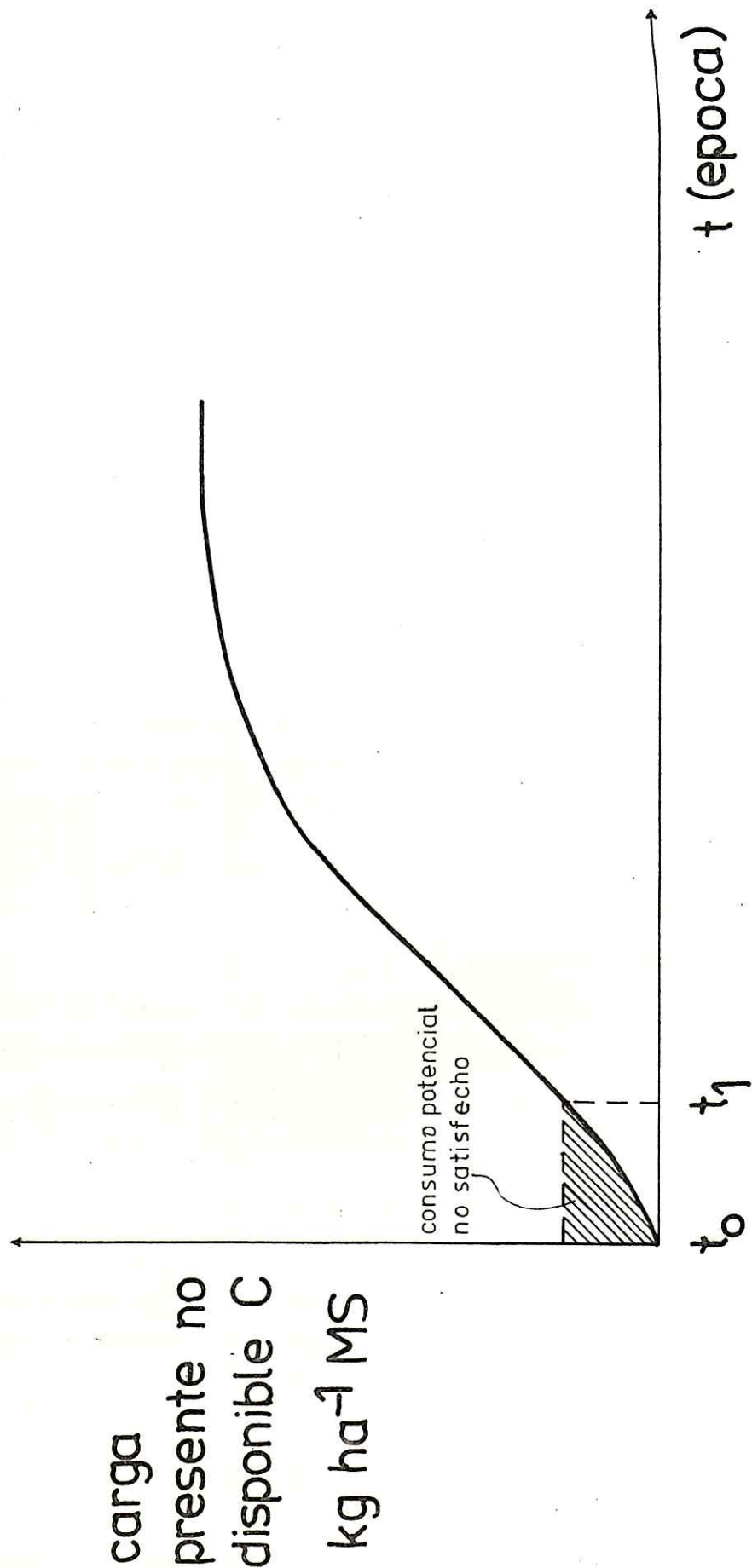


Figura 2. Carga presente no disponible en función a la época de cosecha, para el nicho ocupado por el cosechador herbívoro.

La fase que continúa es la de interacción pradera-animal, en la que existe un aumento considerable del remanente, coincidiendo con el período de construcción del arreglo topológico. El fin de esta etapa coincide con la zona donde ocurre el punto de inflexión de la curva de crecimiento de la pradera.

En la última etapa de la curva de fitomasa no cosechable se produce una tendencia al equilibrio del remanente. Esta tendencia es producto del término de la colonización del espacio por los organismos presa y el aumento de tamaño de los componentes topológicos. En esta fase la fracción no cosechable por el ganado tiende a ser constante. El remanente tiende a aumentar a medida que el crecimiento aumenta, alcanzando el equilibrio cerca de la madurez.

La fracción no cosechable de la carga es función tanto de las características del animal como de la planta y el medio.

$$C = f(T, ca, cp, cma) \quad (28)$$

Esta relación señala que el forraje no cosechable es función de la época (T), de las características del animal (ca), de las características de la presa (cp) y las características del medio abiótico (cma).

Epoca (T) es una medida relativa del tiempo. Corresponde al lapso que se encuentra un tiempo t_i , considerado, respecto de un tiempo t_0 determinado. En el caso de praderas y cultivos anuales se trata de la distancia relativa al momento de la germinación.

Al señalar que una fracción del forraje presente no es cosechable por el animal se está indicando que la fracción disponible corresponde a lo presente al tiempo t menos lo no cosechable al tiempo t .

Al nicho ocupado por cada predator tiene su propia curva de carga presente no cosechable. En algunos casos la fracción no disponible tiene valor cercano a cero.

2.5.2 Tasa intrínseca de descarga

Al cosechar su presa el predator lo hace a una tasa determinada; esta tasa está regulada por el valor de la tasa intrínseca de descarga (k). Mientras mayor es el valor de la tasa intrínseca de descarga, la tasa de descarga, también, es mayor.

Para todas las relaciones predator-presa existe una función única que describe las variaciones en la tasa intrínseca de descarga, cuyos parámetros toman valores definidos para cada binomio predator-presa. La Figura 3 muestra las variaciones en la tasa intrínseca de descarga en función del tiempo (época). La primera etapa coincide con la primera fase de la curva de fitomasa en pie no cosechable. Al no producirse descarga la tasa intrínseca de descarga toma valor cero. A partir de t_1 la tasa comienza a aumentar; luego disminuye la magnitud de sus incrementos hasta lograr el equilibrio en un k máximo, haciéndose independiente de la época.

La tasa intrínseca de descarga depende de:

$$k = (T, ca, cp, cc, cma) \quad (29)$$

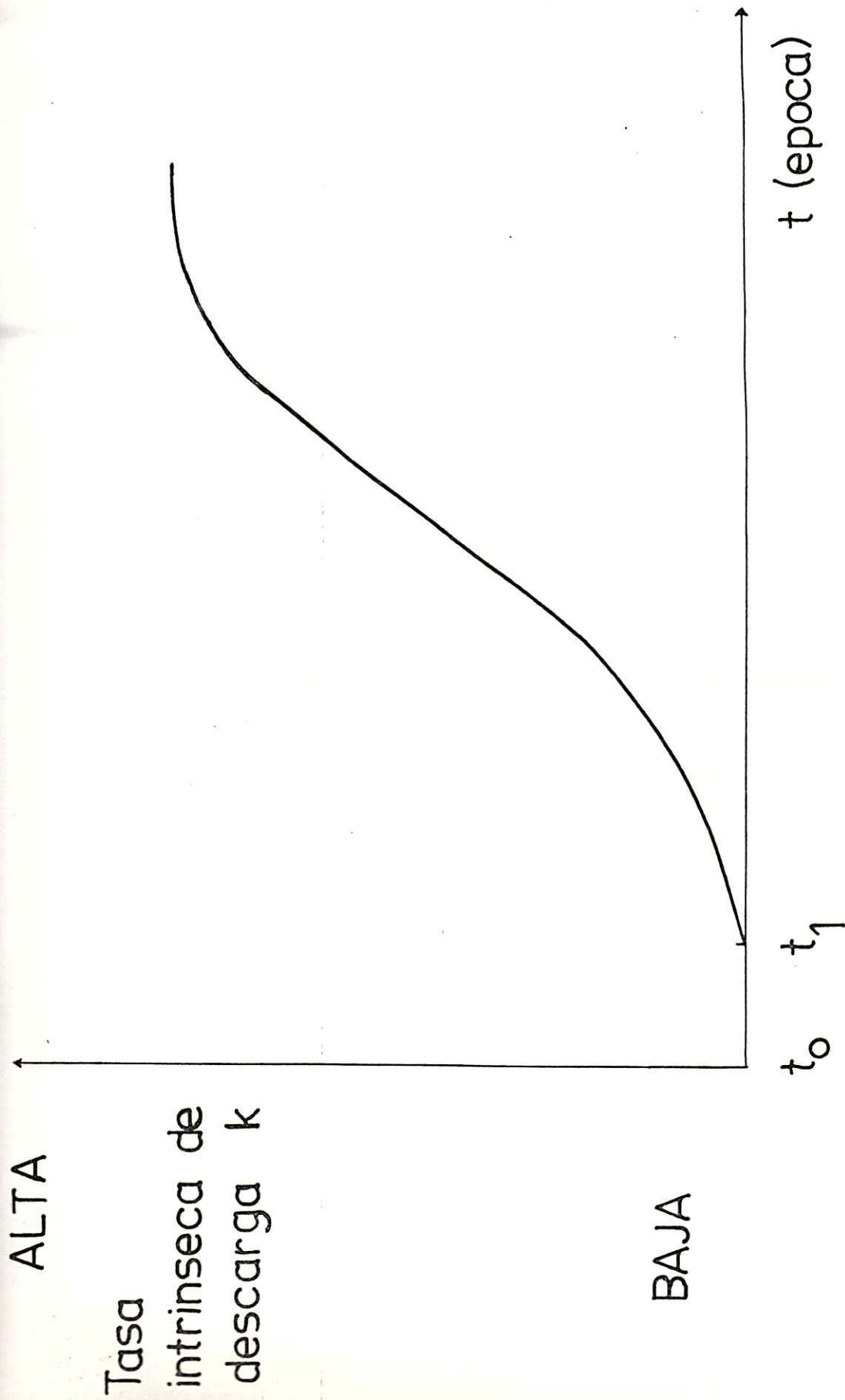


Figura 3. Variaciones en la tasa intrínseca de descarga en función de la época de cosecha, para el nicho ocupado por el cosechador herbívoro.

Esta ecuación señala que la tasa intrínseca de descarga es función de la época (T), las características del animal (ca), las características de la presa (cp), el costo ecológico de cosecha (cc) y las características del medio abiótico (cma).

2.6 Modelo general de descarga

El plantear una ecuación de descarga supone, en primer término, establecer las premisas y límites dentro de los cuales la función tiene validez.

La función de descarga propuesta funciona bajo los siguientes postulados:

- La tasa de carga del sistema es cero o muy cercana a cero.
- La descarga depende de la densidad de carga presente.

El primer postulado señala que carga y descarga son procesos no simultáneos.

Se consideran constantes los siguientes valores:

Q_0 = valor de carga máximo presente al momento de iniciar la descarga.

C = corresponde a la carga presente que no puede ser cosechada por el animal.

k = es la tasa intrínseca de descarga.

Q_0 , C y k pueden ser consideradas constantes dado un sistema y un tiempo t determinados.

La variable dependiente corresponde a Q , que es la cantidad de carga presente, la cual se expresa en kg/ha de materia seca y la variable independiente se expresa en unidades de intensidad de pastoreo (v) en ton-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 cantidad no cosechable C ; siendo además, proporcional a la tasa intrínseca de descarga k , entonces:

$$\frac{dQ}{dv} = -k(Q - C) \quad (30)$$

$$(Q - C) = u \quad (31)$$

$$\text{entonces, } dQ = du \quad (32)$$

$$\frac{du}{dv} = -ku \quad (33)$$

$$du = -ku \, dv \quad (34)$$

$$\frac{du}{u} = -k \, dv \quad (35)$$

$$\int \frac{du}{u} = -k \int dv \quad (36)$$

$$\ln u + d_1 = -kv + d_2 \quad (37)$$

$$d_2 - d_1 = \ln P \quad (38)$$

$$P = Q_0 - C \quad (39)$$

$$\ln u = -kv + \ln P \quad (40)$$

$$\ln u - \ln P = -kv \quad (41)$$

$$\ln(u/P) = -kv \quad (42)$$

$$\frac{Q - C}{P} = e^{-kv} \quad (43)$$

$$Q/P = e^{-kv} + C/P \quad /xP \quad (44)$$

$$Q = P e^{-kv} + C \quad (45)$$

$$Q = (Q_0 - C) e^{-kv} + C \quad (46)$$

2.6.1 Carga y descarga

La función propuesta está definida sólo para los casos en que la tasa de carga es cero o muy cercana a cero. Para abordar el problema de una manera más general se debe considerar que el cambio neto producido en el sistema corresponde a la carga menos la descarga (Olson, 1963; Noy-Meir, 1975), planteado de esta forma y de acuerdo a la ley de conservación de la energía se tiene que:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t} - \frac{\partial Q}{\partial v} \quad (47)$$

Esta ecuación señala que los cambios en la carga $(\frac{\partial Q}{\partial t})$ son consecuencia de los cambios producidos por el crecimiento en el tiempo $(\frac{\partial G}{\partial t})$ menos los cambios producidos por la cosecha al aumentar la intensidad de pastoreo $(\frac{\partial Q}{\partial v})$.

Si se considera una densidad de pastoreo constante, tal que ella sea suficiente para producir una utilización intensiva de la

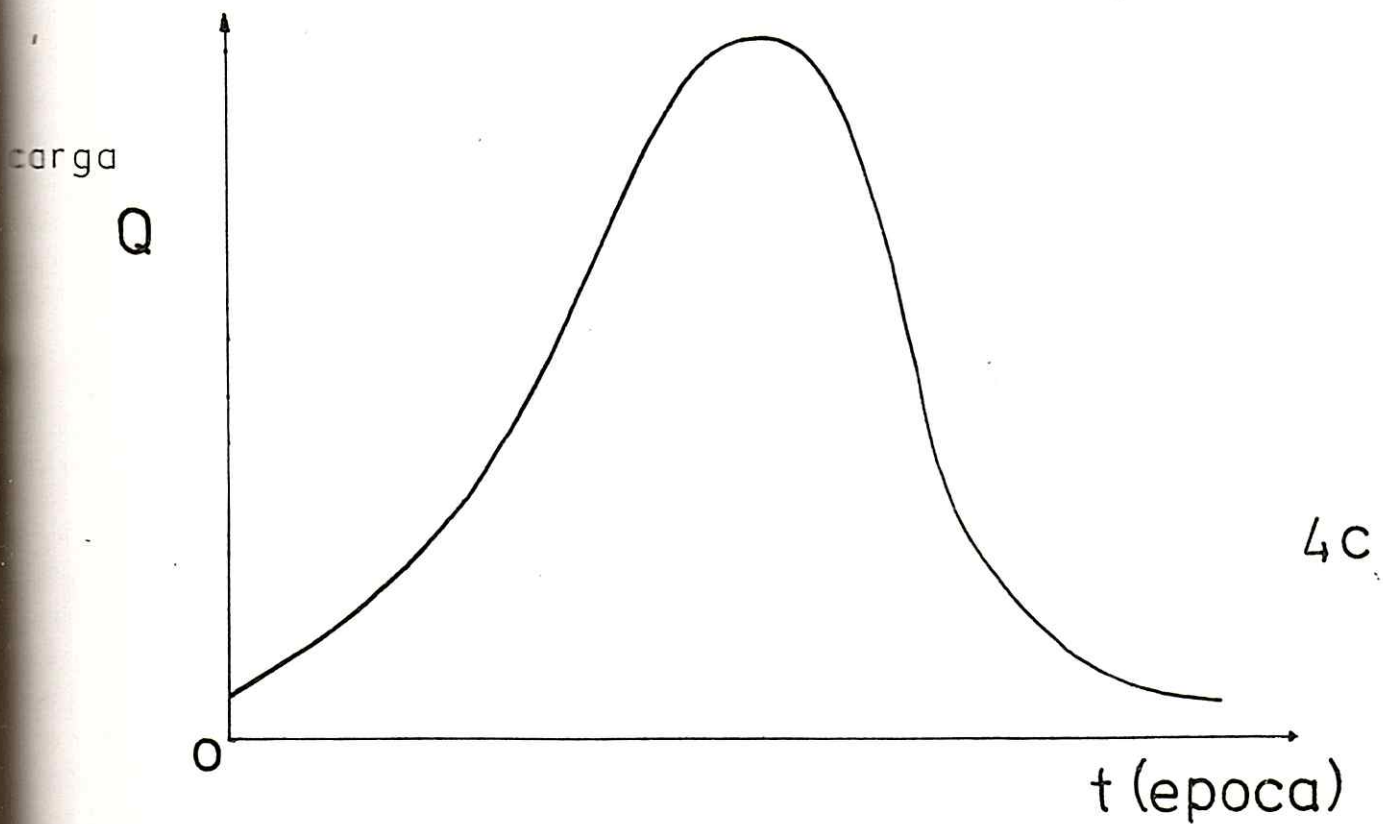
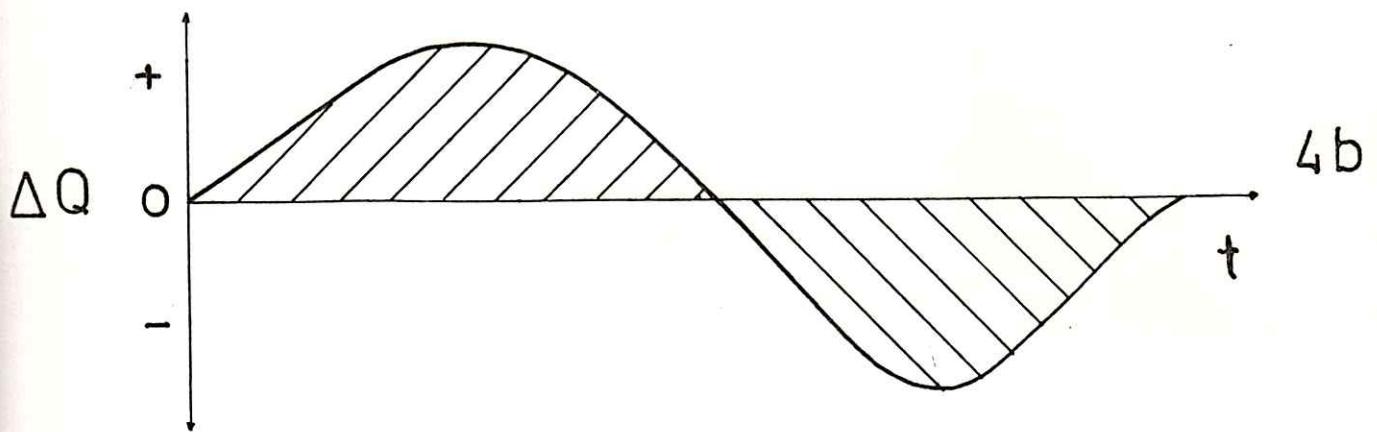
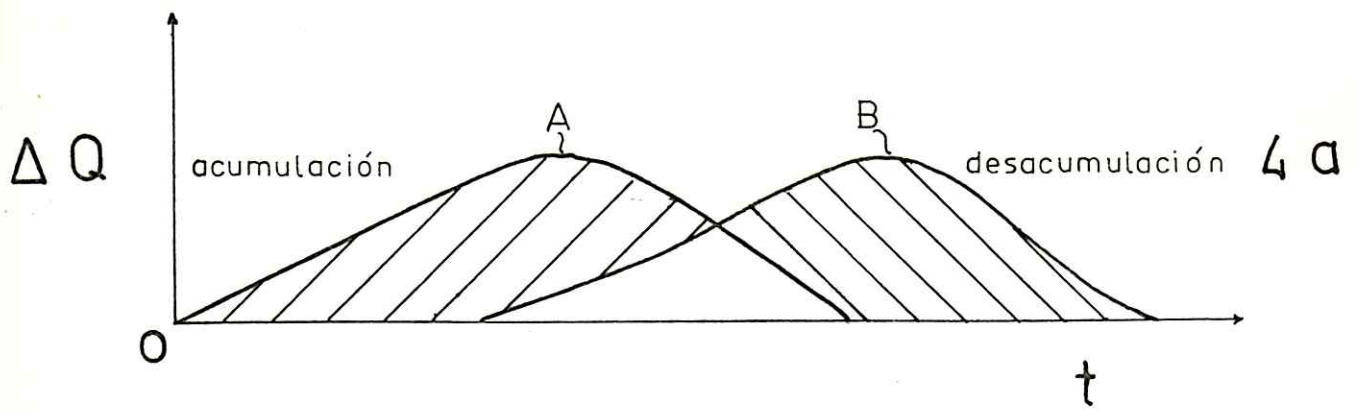


Figura 4. a) muestra las variaciones en la carga debidas al crecimiento (A) y a la cosecha (B). b) cambio neto de la carga. c) expresion integrada del cambio neto.

pradera, coincidiendo con el período de escasez crítico, es posible expresar las variaciones en el cambio neto debidas a la cosecha en función del tiempo. El caso planteado puede ser asimilado al pastoreo continuo.

La solución gráfica del problema aparece en la Figura 4. Las variaciones tanto del crecimiento como de la cosecha en función del tiempo aparecen en la Figura 4a, se puede apreciar una zona de acumulación de carga y otra de desacumulación. La acumulación se produce al ser el crecimiento mayor que la cosecha. La desacumulación se produce al ser mayor la descarga que la carga. La Figura 4b expresa lo anterior de manera diferente. En ella, se puede ver un punto en el cual el cambio en la carga es igual a cero, punto que coincide con la intersección de las curvas.

La expresión integrada de este proceso se muestra en la Figura 4c. El valor máximo de Q se alcanza cuando las variaciones debidas al crecimiento o carga son de igual magnitud que las variaciones debidas a la descarga, lo que coincide con el punto de compensación. Algunas curvas del tipo propuesto han sido descritas por varios autores (Kohn, 1974; Duffey *et al.*, 1974; Tadmor, Eyal y Benjamin, 1974; Brown, 1977).

2.6.2 La descarga como un flujo

Considerando un medio homogéneo se puede plantear la cosecha de la pradera por el ganado como un flujo. Por definición, flujo corresponde a una cantidad de materia, energía e información (Becht, 1974) que pasa a través de un área determinada en un tiempo dado. Lo anterior se puede expresar como:

$$J = \frac{Q}{A t}$$

En esta ecuación, J corresponde al flujo, Q representa la cantidad de materia o energía que fluye, A corresponde al área a través de la cual fluye la materia o energía y t es el tiempo en el cual ocurre el flujo.

En la cosecha de la pradera por el ganado, la variable tiempo (t) está considerada en la variable intensidad de pastoreo (v). Por analogía, en el caso de la cosecha de la pradera por el ganado, el flujo de forraje toma la forma:

$$J'_p = \frac{Q}{A v} \quad (49)$$

De tal manera que el flujo de forraje J'_p expresa la cantidad de forraje consumido Q , en un área determinada A sometida a pastoreo, a una intensidad de pastoreo dada v . De acuerdo con lo anterior el flujo de forraje tiene las siguientes unidades:

$$J'_p = \frac{\text{masa de forraje}}{\text{superficie} \times (\text{zoomasa/superficie}) \times \text{tiempo}} \quad (50)$$

Si se expresa la masa en kilos de materia seca, la superficie en hectáreas, la zoomasa cosechadora en toneladas y el tiempo en horas, el flujo tiene las siguientes unidades:

$$J'_p = \frac{\text{kg de materia seca}}{\text{ha} \times (\text{ton-hora})/\text{ha}} \quad (51)$$

Simplificando se tiene:

$$J'_p = \frac{\text{kg de materia seca}}{\text{ton-hora}} \quad (52)$$

Otra manera de expresar flujo es la siguiente:

$$J = -K \frac{\Delta\Phi}{L} \quad (53)$$

En esta ecuación J corresponde al flujo, K representa la conductividad del medio, $\Delta\Phi$ es la diferencia de potenciales entre los puntos en consideración y L corresponde a la distancia que se encuentran los puntos considerados. Con base en la fórmula presentada se puede afirmar que si no ocurre flujo, su causa puede ser que la conductividad del medio sea nula, que la distancia a la que se encuentran los puntos considerados sea grande o que no haya diferencia de potenciales.

El flujo de forraje (J'_p) está determinado por la diferencia de potenciales existente entre el estado actual y el estado final, llamados potencial actual (Q) y potencial mínimo consumible (C). El potencial corresponde a una propiedad de la arquitectura de la pradera, la cual es función del arreglo topológico $\sigma(\eta)$ y del tamaño η_1 y número de los componentes η_2 . 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 kilos de materia seca por unidad de área de forraje presente y el potencial mínimo consumible es el valor en kg de MS por unidad de área de forraje no disponible para el ganado. Los estados considerados se encuentran a una distancia topológica (L_A), determinada por la arquitectura de los estados considerados.

El potencial mínimo consumible tiene una ecuación que corresponde a la función (C) de fitomasa no cosechable (Figura 2). Los parámetros de esta función toman valores determinados para cada bi nomio presa-predator.

La conductividad del medio expresa la oposición puesta por el medio para que la pradera pase del estado con potencial Q al estado con potencial C , está representada por la ecuación:

$$K' = f(T, ca, cp, cc, cma, Q) \quad (54)$$

En esta ecuación la conductividad del medio K' es función de la época (T), de las características del animal (ca), de las características de la pradera (cp), del costo ecológico de cosecha (c) (cc); de las características del medio abiótico (cma) y la carga de la pradera (Q). La conductividad del medio se expresa en unidades de distancia por intensidad de pastoreo⁻¹.

Por analogía con la ecuación 53 se tiene que el flujo de forraje queda representado por la siguiente ecuación:

$$J'_P = K' \frac{Q - C}{L_A} \quad (55)$$

La complejidad de la relación conductividad-distancia lleva a plantear el flujo de forraje como:

$$J'_P = \frac{Q - C}{R_P} \quad (56)$$

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

$$R_P = L_A / K' \quad (57)$$

La resistencia al pastoreo tiene unidades de ton-hora.

En el manejo que el hombre da al ganado, la construcción de cercos y obstáculos que impiden a éste tener acceso a la pradera, tiene por objeto aumentar la resistencia al pastoreo. Igualmente los mecanismos de estabilización de la carga tienen por objeto aumentar la resistencia al pastoreo. La resistencia al pastoreo aumenta al disminuir la conductividad del medio.

El bajo consumo de forraje en praderas de baja densidad calórica se debe a que la diferencia de potenciales ($Q - C$) es de pequeña magnitud y la resistencia al pastoreo es alta; o sea la relación Q/A tiende a ser mínima.

3. ESTUDIO DE CASO

Para comprobar en terreno el funcionamiento de la ecuación propuesta (ecuación 45), se realizó una experiencia de descarga de la pradera por el ganado.

3.1 Materiales y métodos

Los ensayos de cosecha de la pradera o descarga tuvieron lugar en la Sección Ovejería de la Hacienda La Rinconada de Maipú, de la Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Está ubicada dentro de la región mediterránea de pluviometría limitada (Gastó y Contreras, 1972).

En el lugar del ensayo predominaron las especies de crecimiento invernal y de autoresiembr a o terófitas. Entre las especies dominantes destacan Erodium cicutarium, Erodium botrys, Trisetobromus hirtus y Vulpia dertonensis.

Los suelos son de origen aluvial, de muy reciente formación, con escaso desarrollo del perfil, textura franco arcillosa, con abundancia de piedras angulosas pequeñas, aunque algo redondeadas. La pendiente del terreno es de 3 %. La precipitación media del lugar es de 290,3 mm y la mediana 295,6 mm (Valdivia, 1975). La duración de la estación seca es de 8 meses.

Los períodos de descarga se realizaron en cinco estados fenológicos, tomando como indicador las especies gramíneas. La primera época de cosecha correspondió al estado vegetativo y se realizó a comienzos de agosto. El segundo se realizó en el mes de septiembre, correspondió al estado de prefloración. El tercer período de

cosecha, a mediados de octubre, correspondió al estado de floración. El cuarto período de muestreo tuvo lugar a fines de octubre, en fructificación. El último muestreo se realizó en diciembre y correspondió al estado de madurez.

Para determinar la cantidad de forraje presente se utilizaron cuadrantes de 0,50 m x 0,25 m, los que se lanzaron 12 veces en cada oportunidad y sector de muestreo. Hace excepción a ello el primer período en el cual se utilizaron cuadrantes de 1,00 m x 0,25 m, los cuales se lanzaron 10 veces en cada oportunidad de muestreo.

La fitomasa se cosechó, en cada oportunidad, a nivel del suelo. Luego se secó en horno con aire forzado a 65°C durante 48 horas. Para los tres últimos períodos de descarga se determinó la energía bruta, mediante la combustión en bomba calorimétrica.

Previa la entrada de los animales por pastorear se realizó el primer muestreo para conocer la cantidad de fitomasa presente ofrecida al comienzo del período. La superficie de las parcelas fue de 900 m² y su forma cuadrangular.

La pradera se utilizó con ovinos hembra, borregas de dos dientes y ovejas adultas, las que se encontraban en período seco.

En el primer período de descarga se utilizó una densidad animal correspondiente a 444 ovejas por hectárea, todas de raza Merino Precoz Francés. El glupo de animales pesaba un total de 1590 kg. Los muestreos se realizaron a las siguientes intensidades de pastoreo: 0 ton-hora/ha., 12 ton-hora/ha, 68 ton-hora/ha, 374 ton-hora/ha y 794 ton-hora/ha.

En el segundo estado, el de prefloración, se utilizó una densidad animal correspondiente a 888 ovejas/ha. El grupo de ovejas pesó 4473 kg. En el grupo habían 48 animales de raza Merino Precoz Francés y 32 de raza Suffolk Down. Los muestreos se realizaron transcurridas 0 ton-hora/ha, 40 ton-hora/ha, 450 ton-hora/ha, 1621 ton-hora/ha, 2500 ton-hora/ha y 4214 ton-hora/ha.

Para el tercer período de cosecha, el de floración, se utilizó una densidad animal correspondiente a 865,8 ovejas/ha. Se usó un grupo de 78 ovejas de las cuales 32 eran de raza Suffolk Down y el resto de raza Merino Precoz Francés. El peso de los animales por pastorear fue 4206 kg. Los muestreos se realizaron al transcurrir 0 ton-hora/ha, 231 ton-hora/ha, 1002 ton-hora/ha, 2111 ton-hora/ha, y 3326 ton-hora/ha.

En el cuarto período de descarga, el de fructificación, se utilizó una densidad animal correspondiente a 888 ovejas/ha, el grupo tenía igual composición que para el segundo período. El grupo de animales utilizados en el ensayo sumaron un total de 4514 kg. Los muestreos se realizaron al transcurrir 0 ton-hora/ha, 74 ton-hora/ha, 194 ton-hora/ha, 1101 ton-hora/ha y 2302 ton-hora/ha.

En el último período, el de madurez, la descarga se realizó con una densidad animal correspondiente a 1110 ovejas/ha, todas eran de raza Merino Precoz Francés. El grupo de animales en ensayo tenía un peso de 3651 kg. Los muestreos se realizaron al transcurrir 0 ton-hora/ha, 946 ton-hora/ha, 1821 ton-hora/ha, 2851 ton-hora/ha y 3762 ton-hora/ha.

En todos los casos las ovejas fueron introducidas al potrero en la mañana, luego de ayunar toda la noche. Los animales fueron

retirados del potrero cuando se estimó que se había alcanzado un pastoreo intensivo, es decir, cuando su actividad de consumo era cercana a cero.

Las altas densidades animales utilizadas tienen por objeto descargar la pradera en un período breve de no más de 5 días. De esta manera se puede suponer que la tasa de crecimiento es de valor cercano a cero.

Los valores obtenidos se ajustaron a la ecuación de descarga propuesta (ecuación 45), en la cual la asíntota se puede estimar a partir de la tendencia que indican los puntos observados o mediante la ecuación:

$$C = \frac{Q_1 Q_2 - Q_3^2}{Q_1 + Q_2 - 2Q_3} \quad (58)$$

tal que:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (59)$$

Para los períodos cuarto y quinto se estimó el valor de la asíntota a partir de la tendencia indicada por los puntos observados. En los otros períodos de cosecha, primero, segundo y tercero se utilizó la ecuación (58) descrita (Calter, 1973).

Los ajustes tanto de las curvas de descarga como la de la ta sa intrínseca de descarga en función de la disponibilidad inicial se realizaron mediante el método de mínimos cuadrados.

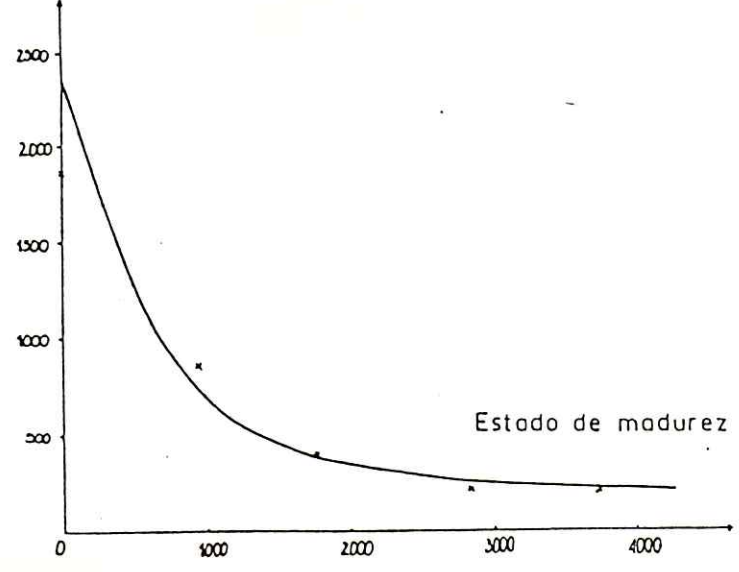
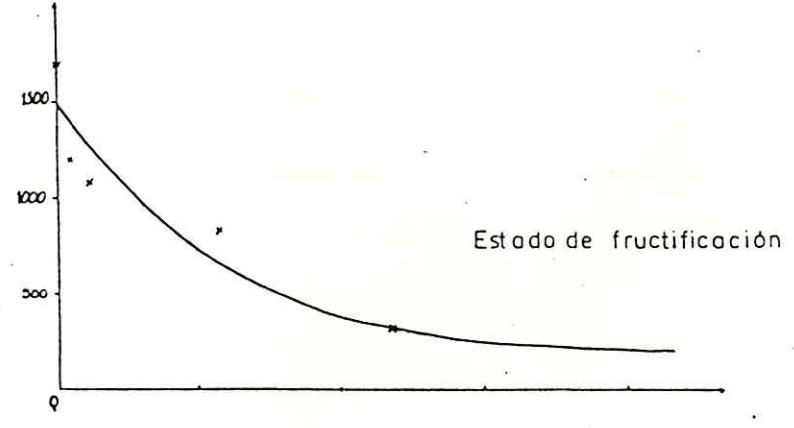
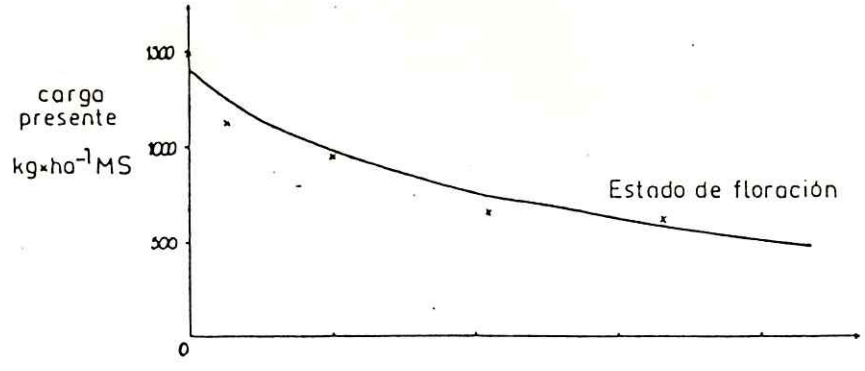
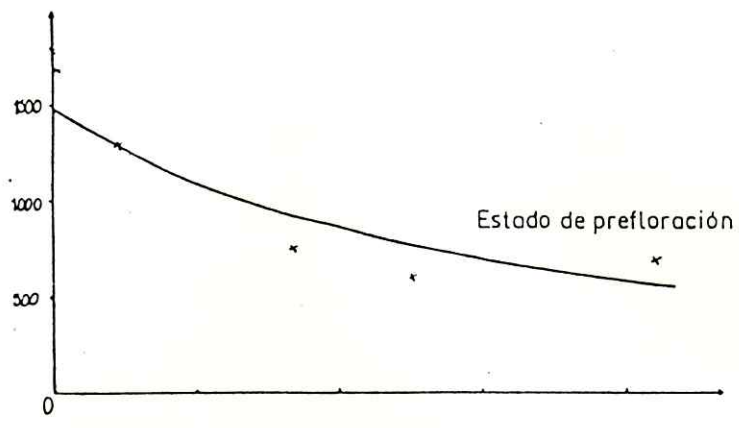
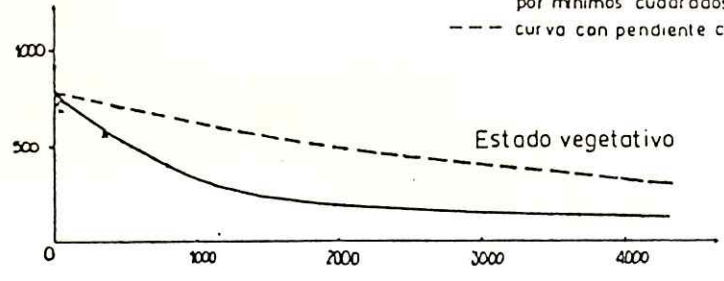
3.2 Resultados y discusión

Los resultados observados se presentan en el Cuadro 1 y Figura 5. Donde se señalan los valores de carga presente, observados en cada una de las intensidades de pastoreo, para los diferentes períodos de descarga.

Cuadro 1. Valores observados de carga presente, según la intensidad de pastoreo, para cada período de descarga.

Estado fenológico	Intensidad de pastoreo ton-hora/ha	Carga presente kg/ha de M.S.
Estado vegetativo	0	918
	12	714
	68	684
	374	570
	794	385
Prefloración	0	1809
	40	1685
	450	1304
	1631	757
	2500	612
4214	690	
Floración	0	1490
	231	1129
	1002	950
	2111	656
	3326	625
Fructificación	0	1700
	74	1235
	194	1087
	1101	860
	2302	319
Madurez	0	1865
	946	970
	1821	435
	2851	218
	3762	210

x valores observados
 — curva calculada, ajustando los valores por mínimos cuadrados
 - - - curva con pendiente corregida



intensidad de pastoreo

Con estos valores se hizo un ajuste a la función de descarga propuesta (ecuación 45). De este modo, a cada estado fenológico considerado correspondió una curva de descarga. Los valores calculados para los parámetros de la curva de descarga de la materia seca, se tabularon en el Cuadro 2.

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

Estado fenológico	Disponibilidad inicial P kg/ha de M.S.	Tasa intrínseca de descarga k	Potencial mínimo cosechable C kg/ha de MS	Coefficiente de determinación r^2
Vegetativo	672,3	$1,16 \times 10^{-3}$	118,5	0,92
Prefloración	1057	$4,42 \times 10^{-4}$	416	0,75
Floración	983,4	$3,84 \times 10^{-4}$	304,6	0,91
Fructificación	1307	$9,71 \times 10^{-4}$	200	0,93
Madurez	2286,7	$1,49 \times 10^{-3}$	200	0,96

Los equivalentes energéticos observados, para las muestras correspondientes a los estados de floración, fructificación y madurez, se presentan en el Cuadro 3. Las curvas de descarga de la energía bruta se calcularon ajustando los datos observados a la ecuación. Los valores calculados de los parámetros de las curvas de descarga de la energía bruta, para los estados fenológicos más avanzados, aparecen en el Cuadro 4.

Los coeficientes de determinación de todas las curvas de descarga calculadas son altos. Con base en este hecho se puede afirmar que la ecuación propuesta (ecuación 45) funcionó adecuadamente en las condiciones que se realizaron los ensayos.

Cuadro 3. Equivalente energético de las muestras obtenidas durante los períodos de descarga correspondientes a los tres últimos estados fenológicos.

Estado fenológico	Intensidad de pastoreo v ton-hora/ha	Equivalente energético de la muestra Kcal/gr	Parámetros del equivalente energético para el estado fenológico
Floración	0	3,925	$\bar{X} = 3,893$ $S^2 = 0,0267$
	231	3,859	
	1002	3,915	
	2111	3,882	
	3326	3,885	
Fructificación	0	3,833	$\bar{X} = 3,846$ $S^2 = 0,025$
	74	3,866	
	194	3,835	
	1101	3,819	
	2302	3,880	
Madurez	0	3,885	$\bar{X} = 3,828$ $S^2 = 0,043$
	946	3,828	
	1821	3,840	
	2851	3,764	
	3762	3,823	

Cuadro 4. Valores de los parámetros de las curvas de descarga de la energía bruta, calculadas para los tres últimos períodos de descarga.

Estado fenológico	Disponibilidad inicial P Mcal/ha	Tasa intrínseca de descarga k	Potencial mínimo cosechable Mcal/ha	Coefficiente de determinación r^2
Floración	3832,3	$3,85 \times 10^{-4}$	1172	0,90
Fructificación	5014,6	$9,67 \times 10^{-4}$	770	0,92
Madurez	8849,9	$1,49 \times 10^{-3}$	770	0,96

Los datos indican que cuando el forraje es abundante la tasa consumo es también, elevada. A medida que la diferencia de potenciales de la pradera ($Q - C$) se va haciendo menor, la magnitud del flujo disminuye.

Los datos de equivalente energético de las muestras (Cuadro 3) llaman la atención debido a la homogeneidad de ellos. El hecho que no hayan diferencias significativas en los equivalentes energéticos dentro de cada período de descarga, puede ser atribuido al efecto producido por la alta densidad animal utilizada. En efecto, una de las consecuencias de pastorear una pradera con una alta densidad animal es disminuir la selectividad (Fontenot y Blaser, 1965). Cuando la densidad calórica de los diferentes elementos que constituyen una población-presa es baja, los animales tienen una conducta de consumo totalmente no selectiva, manteniendo las proporciones de los elementos que componen la población-presa inicial (Werner y Hall, 1974; Krebs, 1977). La escasa diferencia del valor de los equivalentes energéticos de las muestras entre cada período de descarga se debe a que corresponden a estados fenológicos cercanos, por lo que el deterioro de la calidad nutritiva no alcanza a ser perceptible. 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 la tasa intrínseca de descarga de la 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 (1978) 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 (ecuación 45). Esta afirmación está supeditada al cumplimiento de las premisas establecidas para el funcionamiento de esta ecuación.

Existe una cantidad de fuentes de error en la aplicación del método de muestreo, las que deben ser consideradas. El primer factor que incide es la heterogeneidad de la pradera natural. Otro factor que incide sobre el muestreo es el hábito de crecimiento de las especies presentes. El hábito erecto de las gramíneas hace más fácil su recolección respecto de las geraniáceas. El estado fenológico de la pradera influye de manera importante; el hábito de crecimiento de las gramíneas es erecto durante toda la estación de crecimiento, en cambio, las geraniáceas, en sus primeros estados de desarrollo, tienen sus cotiledones y hojas muy apegados al suelo, luego desarrollan un hábito semi-erecto; en tanto que en los estados más avanzados de desarrollo adquieren una consistencia quebradiza. Las geraniáceas presentan, además, una corona de crecimiento que se ubica a nivel del suelo, hecho que dificulta su recolección. A medida que el forraje presente disminuye, la cosecha de la fitomasa en pie, al tomar la muestra, se hace más difícil. Finalmente, se debe considerar que el colector o los colectores de las muestras no mantienen un mismo patrón de comportamiento en todas las oportunidades de muestreo.

Los errores de muestreo se reflejan en las tendencias presentadas por las curvas empíricas, las que difieren de las tendencias que muestran las curvas teóricas, para la tasa intrínseca de descarga (k) y la fitomasa en pie no consumible por el ganado (C). El efecto mayor se puede apreciar en la curva calculada para el estado vegetativo. En este estado las fuentes de error presentes son diversas. La fitomasa en pie no recolectada representa, en los prime

ros estados fenológicos, una fracción importante de la fitomasa en pie total; de tal manera que el error se magnifica. Como consecuencia de lo anterior posiblemente se produjo una sobreestimación del valor de la tasa intrínseca de descarga y una subestimación de la fitomasa no disponible para el consumidor.

Debido al efecto del pisoteo del animal es muy difícil recuperar la fracción quebradiza a intensidades de pastoreo altas. Por esta razón los valores de fitomasa en pie no consumible por el ganado (C), para las curvas de descarga de los dos estados fenológicos más avanzados, aparecen probablemente subestimados. Como consecuencia de lo anterior los valores de fitomasa en pie no consumible por el ganado en esos estados fenológicos puede no ser de mucha exactitud. Al calcular la disponibilidad de forraje se debe descontar de la fitomasa en pie presente cantidades de materia seca en un rango aproximado de 200 kg/ha a 400 kg/ha, dependiendo del estado fenológico de la pradera. No es posible aplicar correcciones a los datos empíricos, por carecerse de antecedentes cuantitativos al respecto.

El hecho que las praderas hayan sido utilizadas por ovinos de razas diferentes supuestamente no afecta el desarrollo de los ensayos. Al respecto Arnold (1975) realizó una serie de ensayos en los que comparó el consumo de ovejas de cuatro razas diferentes. Atribuyó las diferencias encontradas a los requerimientos a nivel de mantención, es decir el peso metabólico.

Se relacionó la disponibilidad inicial en cada período de descarga, sin considerar el estado vegetativo, con la tasa intrínseca de descarga (Figura 6). Los valores se ajustaron a una función sigmoidea. El coeficiente de determinación (r^2) presenta un valor de

$$Y = \beta / (1 + be^{-ax})$$

$\beta = 1600$
 $a = 0,00283$
 $b = 42,7$
 $r^2 = 0,94$

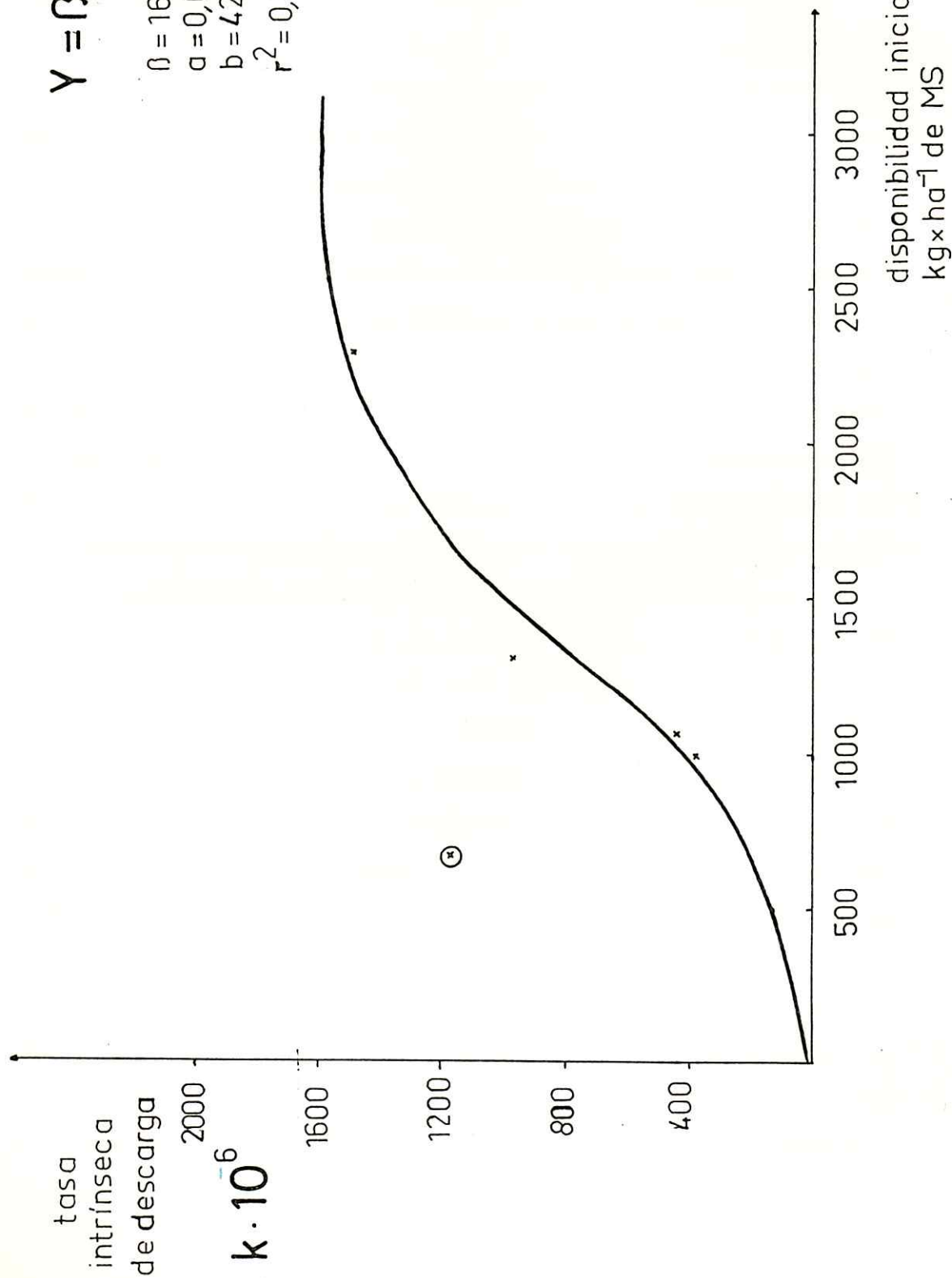


Figura 6. Variaciones en la tasa intrínseca de descarga en función de la disponibilidad inicial. \circ valor observado no considerado por estimarse errático

0,94; el cual indica que en este caso la disponibilidad de forraje actuó como factor limitante de la tasa de consumo.

Se relacionan, en un gráfico, el flujo de forraje J'_p con la intensidad de pastoreo v , para el período de descarga correspondiente al estado de madurez (Figura 7). Esta figura indica que el flujo de forraje disminuye progresivamente al aumentar la intensidad de pastoreo. La relación entre el flujo de forraje y la intensidad de pastoreo puede ser de utilidad práctica. Conocidos los requerimientos del animal para producir 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 pastoreo, 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 conocer el tiempo de permanencia necesario para alcanzar la intensidad de pastoreo v_e .

Si se considera una calidad de forraje determinada, la producción está relacionada con el consumo (Willoughby, 1959), entonces se puede planificar la utilización de la pradera de tal manera que los animales más productivos pastoreen previamente a los animales cuya productividad sea menor (Fontenot y Blaser, 1965). Esto sucede porque los requerimientos de los animales más productivos son mayores y el flujo de forraje es mayor a intensidades de pastoreo bajas.

Finalmente, la relación entre disponibilidad inicial, flujo de forraje e intensidad de pastoreo se muestra en la Figura 8. Esta relación genera una superficie de respuesta. A medida que la

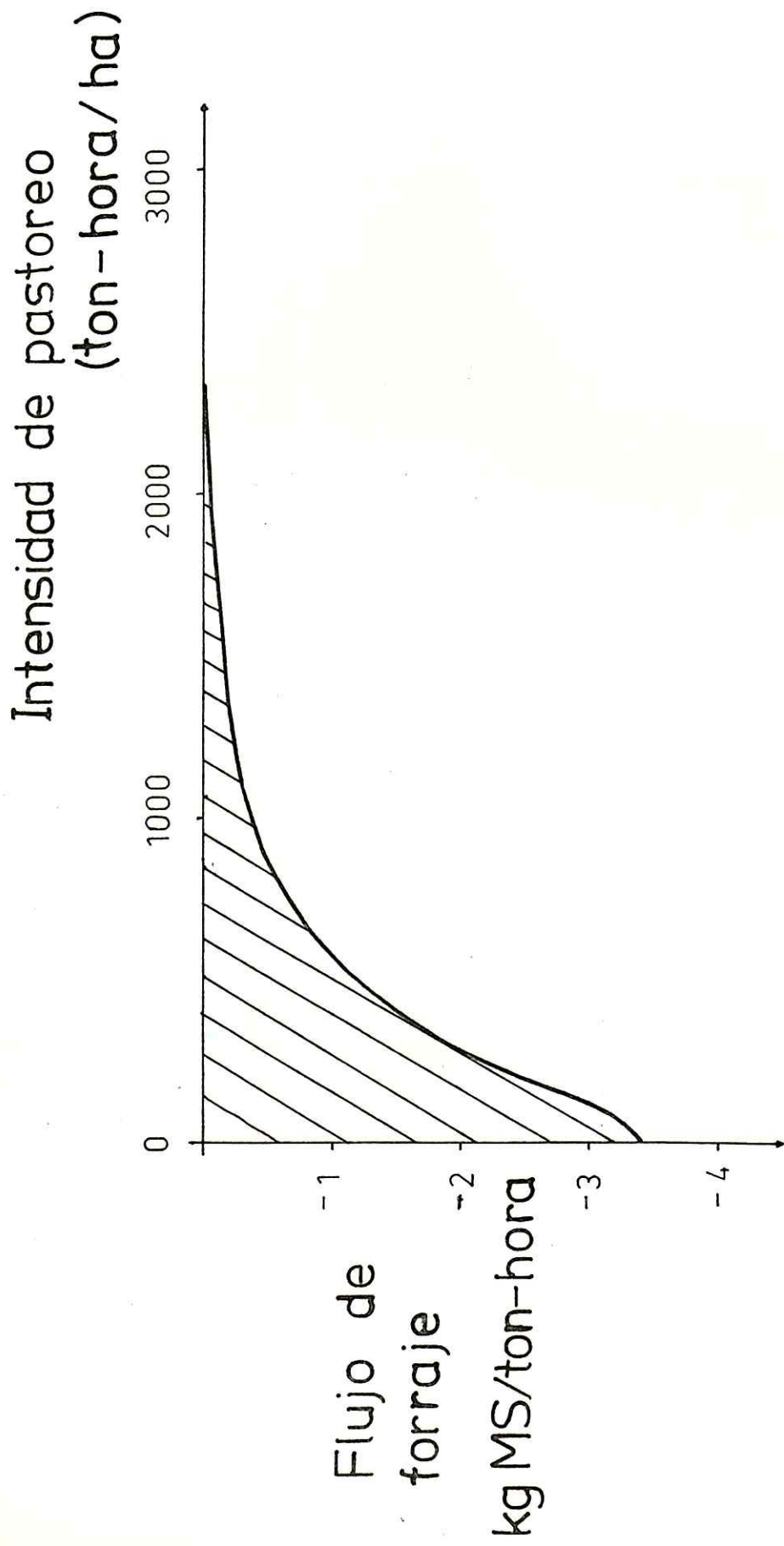


Figura 7. Variaciones en el flujo de forraje al aumentar la intensidad de pastoreo, para el estado de madurez

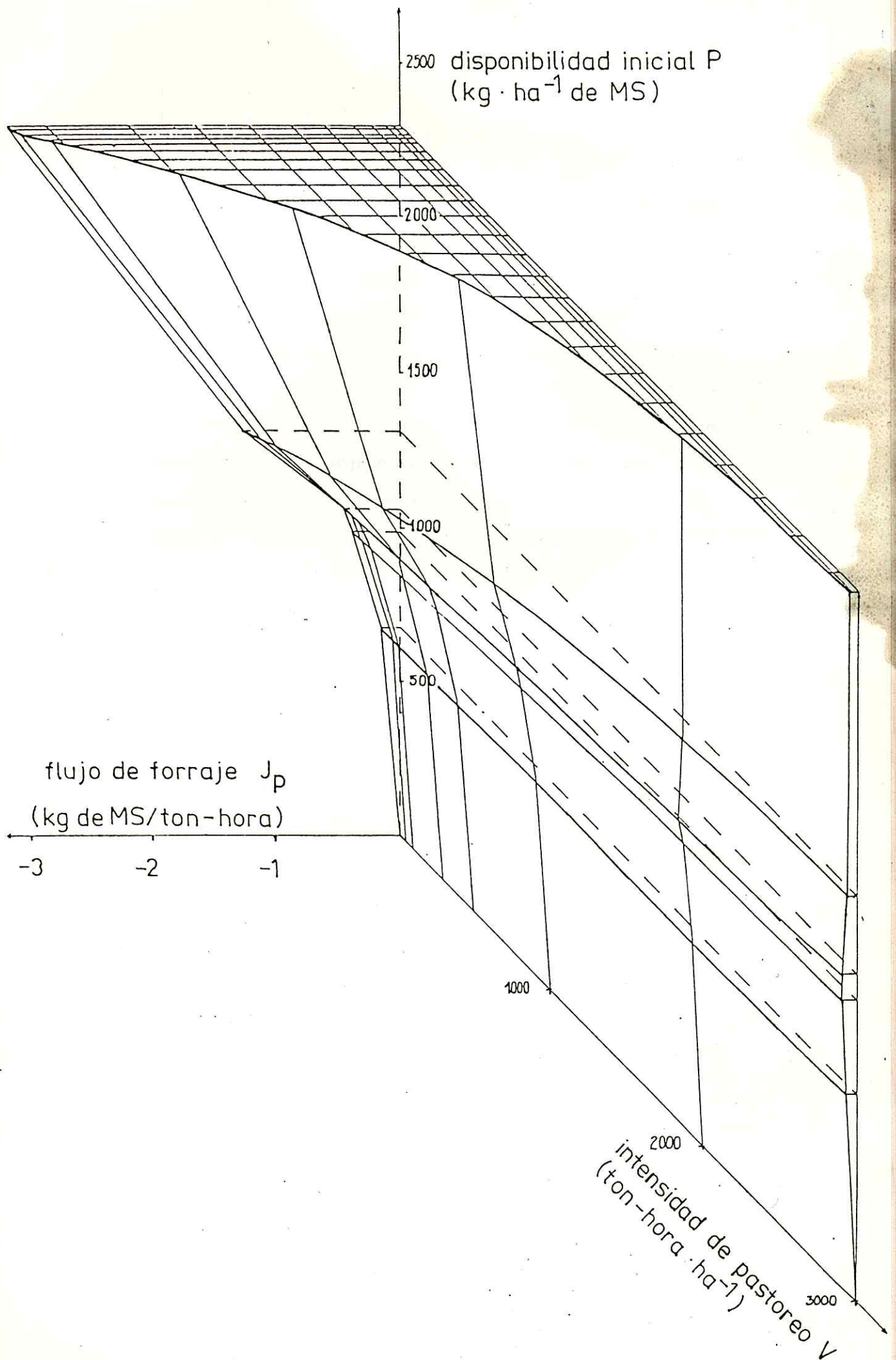


Figura 8 Superficie de respuesta que describe la utilización de la pradera

disponibilidad inicial 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 más tempranos sean menores que las pendientes de los estados fenológicos más avanzados. Se puede decir que el flujo de forraje es de baja magnitud cuando la disponibilidad inicial es baja y/o la intensidad de pastoreo es alta.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta tesis se puede concluir que:

a) Si se cumplen las premisas siguientes:

- la tasa de carga es cero o cercana a cero, y
- la descarga depende de la densidad de carga presente.

La ecuación que describe la descarga ecosistémica es:

$$Q = P e^{-kv} + C$$

donde:

Q es la carga presente a una intensidad de cosecha v;

P es la disponibilidad inicial de carga,

k es la tasa intrínseca de descarga, y

C es la carga no disponible para el cosechador.

b) Considerando que la descarga de la pradera por el ganado puede ser expresada como un flujo de forraje; que hay una disponibilidad inicial, la que varía de acuerdo a la época de utilización; y si la intensidad de pastoreo expresa la permanencia de una zoo masa de organismos cosechadores en un área sometida a pastoreo durante un tiempo determinado la pradera, desde el punto de vista de su utilización, es descrita por la superficie de respuesta generada al relacionar las tres variables mencionadas.

5. RESUMEN

El estudio ha sido dividido en dos partes principales. En la primera parte se formaliza el problema de la cosecha de la pradera por el herbívoro. Luego, en la segunda parte se presenta un estudio de caso para comprobar la hipótesis planteada. Como consecuencia del planteamiento formal del problema se propone una curva de descarga de la pradera por el herbívoro, cuya función general es:

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

en la cual Q es la cantidad de carga o forraje presente, C representa la cantidad de carga no disponible, Q_0 es la carga presente cuando la intensidad de cosecha (v) es cero y k es la tasa intrínseca de descarga. Esta función es válida cuando la tasa de carga es cercana a cero. Se plantea a la cosecha de forraje por el ganado como un flujo de forraje.

Finalmente, se concluye que la utilización de la pradera es gráficamente descrita por la superficie de respuesta generada al relacionar flujo de forraje, intensidad de cosecha y disponibilidad inicial.

5.1 Summary

The study was divided into two basic parts. On the first one, the consumption of grassland by the herbivorous is mathematically described. On the second part a case study is presented in order to prove the proposed hypothesis. As an inference from the mathematical description mentioned above, a curve for grassland discharge by herbivorous is proposed, with the following general function:

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

where Q is the amount of charge or present forage, C is the amount of nondisposable charge, Q_0 is the existing charge when the harvest intensity (v) is zero and k is the intrinsic discharge rate. This function is valid when the charging rate is close to zero. The harvesting of forage by the livestock is presented as a flow of forage.

Finally, it is concluded that the utilization of the grassland can be graphically described by a plane generated from relating flow of forage, harvest intensity and initial disponibility.

6. BIBLIOGRAFIA

1. ARMIJO, R., NAVA, R y GASTO, J. 1976. Fundamentos de transformación de ecosistemas. Universidad Autónoma Antonio Narro. Monografía técnico-científica 2. 57 p.
2. ARNOLD, G.W. 1975. Herbage intake and grazing behaviour in ewes of four breeds at different physiological states. Australian Journal of Agricultural Research 26 (6): 1017-1024.
3. BECHT, G. 1974. Systems theory. The key to holism and reductionism. Bioscience 24:569-579,
4. BERGEN, G.W. y YOKOHAMA, M.T. 1977. Productive limits to rumen fermentation. Journal of Animal Science 46(3): 573-584.
5. BLACK, J.N. 1957, The influence of varying light intensity on the growth of herbage plants. Herbage Abstracts 27(2): 89-98.
6. BROWN, T.H. 1977. A comparison of continuous grazing and deferred autumn grazing of Merino ewes and lambs at 13 stocking rates. Australian Journal of Agricultural Research 28(5):947-961.
7. BROUGHAM, R.W. 1955. A study in rate of pasture growth. Australian Journal of Agricultural Research 6:804-812.
8. BROWN, R.H. y BLASER, R.E. 1968. Leaf area index in pasture growth. Herbage Abstracts 38(1): 1-9.

9. CALTER, P. 1973. Solving problems with computers. New York, McGraw Hill. 187 p.
10. CAÑAS, R. y GASTO, J. 1974. Costo de cosecha y eficiencia de producción de ecosistemas ganaderos. Ciencia e Investigación Agraria 1(4): 177-185.
11. CLARCK, F.E. y PAUL, E.A. 1970. The microflora of grassland. Advances in Agronomy 22:375-435.
12. COLINVAUX, P. 1973. Introduction to ecology. New York. John Willey and Sons. 621 p.
13. CORDOVA, F.J., WALLACE, J.D. y PIEPER, R.D. 1978. Forage intake by grazing livestock: A review. Journal of Range Management 31(6): 430-438.
14. DUFFEY, E., MORRIS, M.G., SHEAIL, J., WARD, L.K., WELLS, D.A. y WELLS, T.C.E. 1974. Grassland ecology and wildlife management. London. Chapman & Hall. 281 p.
15. EAGLES, C.F. 1973. Effects of light intensity on growth of natural populations of Dactylis glomerata L. Annals of Botany 37:253-262.
16. ERICKSON, R.O. 1976. Modeling of plant growth. Annual Review of Plant Physiology 27:407-434.
17. FONTENOT, J.P. y BLASER, R.E. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Selection and intake by grazing animals. Journal of Animal Science 24:1202-1208.

18. GASTO, J. y CONTRERAS, D. 1972. Bioma pratense de la región mediterránea de pluviometría limitada. Estación Experimental Agronómica Facultad de Agronomía Universidad de Chile. Boletín técnico 35: 3-29.
19. GEE, A.J., MILLNER, A.J. y HEMSWORTH, R.J. 1978. The effect of density on mortality in juvenil Atlantic salmon (Salmo salar). The Journal of Animal Ecology 47(2): 497-505.
20. GILBERT, L.E. 1971. Butterfly-plant coevolution: Has Passiflora adenopoda won the selectional race with Meloiine butterflies? Science 172: 585-586.
21. JONES, D.A. 1962. Selective eating of acyanogenic form of the plant Lotus corniculatus L. by various animals. Nature 193: 1109-1110.
22. KALASHNIKOV, S.G. 1959. Electricidad. México. Grijalbo. 725 p.
23. KREBS, J. 1977. Optimal foraging: Theory and experiment. Nature 268(5621): 583-584.
24. KOHN, G.D. 1974. Superphosphate utilization in clover lay farming I. Effects on pasture and sheep production. Australian Journal of Agricultural Research 25(4): 525-535.
25. LAREDO, M.A. y MONSON, D.J. 1975. The voluntary intake and digestibility by sheep of leaf and stem fractions of Lolium perenne. Journal of British Grassland Society 30(1):73-77.

26. LOOMIS, R.S. y WILLIAMS, W.A. 1969. Productivity and morfology of crops stands: Patterns with leaves. In: Physiological Aspects of Crop Yield. Edit. Eastin, Sullivan y Van Babel. 27-47.
27. Mc FARLAND, D.J. 1977. Desicion making in animals. Nature 269: 15-21.
28. MAY, R.M. 1976. Harvesting whale and fish populations. Nature 263: 91-92.
29. NAVA, R., ARMIJO, R. y GASTO, J. 1978. Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre. México. En prensa.
30. NOY-MEIR, I. 1975. Stability of grazing systems: An application of predator-prey graphs. Journal of Ecology 63:459-481.
31. ODUM, H.T. 1971. Envorinment, power and society. New York. Willey-Interscience. 331 p.
32. OLIVARES, A. y GASTO, J. 1979. Función de cosecha por ovinos de la pradera anual mediterránea de Chile. En prensa. Avances en Producción Animal (1).
33. OLSON, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and descomposers in ecological systems. Ecology 44(2):322-331.
34. PAULING, L. 1967. Química general. 9 ed. México. Aguilar. 694 p.

35. PHILLIPS, M.O. 1978. The equilibrium and stability of simple marine biological systems. III. Fluctuations and survival. *The American Naturalist* 112(986): 745-757.
36. PIANKA, E. 1978. *Evolutionary ecology*. 2 ed. New York. Parker & Raw. 397 p.
37. PRIGOGINE, I. 1978. Time, structure and fluctuations. *Science* 201: 777-785.
38. RANGE TERM GLOSSARY COMMITTEE. 1974. A glossary of terms used in range management. 2 ed. U.S.A. 36 p.
39. RAYMOND, W.F. 1969. The nutritive value of forage crops. *Advances in Agronomy* 21: 1-108.
40. SAEKI, T. 1963. Light relations in plant communities. In: *Environmental control of plant growth*. Edit. Evans. Academic Press. 79-92.
41. SPEDDING, C.R.W. 1971. *Grassland ecology*. London. Oxford University Press. 221 p.
42. SUSSMAN, M. 1964. Growth and development. U.S.A. McIlroy & Swanson. 116 p.
43. TOHM, R. 1975. *Structural stability and morphogenesis*. New York. Benjamin & Cummings. 348 p.
44. VALDIVIA, J. 1975. Precipitaciones observadas en el Centro de Investigaciones Ecológicas y Producción Pratense, La Rinconada, Maipú, durante el período comprendido 1958-1975. Universidad de Chile, Fac. Agron. Mimeografiado.

45. WERNER, E.E. y HALL, D.J. 1974. Optimal foraging and the size selection of prey by the bluegill sunfish (Lepomis macrochirus). Ecology 55: 1042-1052.
46. WHALEY, W.G. 1961. Growth as a general process. *Monograph der Pflanzphysiologie* 14:71-112. Wachstum und Wachstumsstoffe. Springer Verlag. Berlin.
47. WILLIAMS, R.F. 1964. The quantitative description of growth. In: Grasses and grasslands. Edit. C. Barnard 89-101.
48. WILLOUGHBY, W.M. 1959. Limitation to animal production imposed by seasonal fluctuations in pastures and by management procedures. Australian Journal of Agricultural Research 10: 248-268.
49. WILSON, J.A. 1968. Increasing entropy of biological systems. Nature 219 (5153): 534-535.