

Informe a la Fundación Chile

Las Praderas de La
Precordillera y Altiplano del Norte Grande de Chile

JUAN GASTO
Departamento de Zootecnia
Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Chile

Diciembre de 1978
Santiago de Chile

Contenido

Introducción	1
Regiones naturales	2
Cactaceas columnares	2
Areas de pastoreo ocasional	9
Tolar	13
Matorral arbóreo-arbustivo	13
Bofedal	13
Salar	16
Estepa andina	21
Llaretal	22
Formación vegetalional Altos de Pica	30
Pajonal	30
Planteamiento del problema	33
Desarrollo regional	41
Fauna silvestre de caza	41
Praderas de secano	45
Bofedal	54
Llaretal	55
Terrenos de riego	55
Cuenca	56
Trashumancia	58
Cosecha de agua	59
Recreación	59
Ganadería	60
Comentarios generales	62

Agradecimientos

El autor desea agradecer al Ing. Agrónomo de la Universidad del Norte, Sede Iquique, profesor Italo Lanino, por la colaboración prestada en la realización de este estudio. Además, al profesor Luis Tapia y sus asociados de la misma Sede Universitaria por su colaboración prestada durante su estadía en Iquique e Isluga, y por las discusiones, sugerencias y apoyo al trabajo de terreno.

Al Dr. Raul Cortés de la Sede Arica de la Universidad del Norte, por el apoyo material y profesional que tanto en ésta como en ocasiones anteriores le ha prestado al autor. Además, al Ingeniero de Ejecución del CICA, Universidad del Norte, profesor Hogo Escobar Araya, especialmente por su ayuda en la identificación de las plantas colectadas. Finalmente al Sr. Luis Hernandez Zuñiga, egresado de la carrera de Ing. Forestal y al Técnico Agrícola Sr. Rosalindo Palma Bacerra, ambos de CONAF, quienes en forma personal y en representación de su Institución brindaron al autor una colaboración sin la cual no había sido posible realizar el estudio, dando además las facilidades de locomoción y alojamiento requeridas para el estudio en el Parque Lanca y alrededores.

Introducción

El presente estudio, tiene como objetivo fundamental presentar antecedentes generales acerca de las regiones naturales conocidas como Altiplano y Precordillera del Norte Grande de Chile y analizar sus posibilidades de mejoramiento, especialmente en lo referente a sus praderas. Por tratarse de un tema tan amplio, y disponerse de un tiempo limitado, no ha sido posible entrar en detalle en cada una de las materias específicas, sino que considerar globalmente el problema central.

Los recursos prateros de los sectores altos del extremo norte del país, constituyen un elemento importante del medio que rodea a las poblaciones humanas del sector. La ganadería, basada en praderas naturales y en cultivos forrajeros, constituyen la base de sustentación de la población, siendo uno de los elementos fundamentales que delimitan la magnitud, ubicación y características de los asentamientos humanos. No es posible pretender lograr un mayor desarrollo regional, sin considerar en forma destacada el desarrollo y manejo de los recursos prateros, con todos sus efectos directos e indirectos, especialmente en lo referente a la producción de forraje, cosecha de agua de la cuenca, fauna silvestre, recreación, agricultura y asentamientos humanos.

Por los razones enunciadas en los párrafos anteriores y con el objeto de presentar un plantamiento global, el presente estudio ha sido dividido en cuatro partes. En la primera se hace una breve descripción de las principales comunidades vegetales, indicándose especialmente las especies dominantes, de manera de identificar los elementos constitutivos más destacados. En la segunda parte del estudio se presenta un plantamiento general ecosistémico, tendiente a establecer las bases de estudio y desarrollo regional dentro de un marco del ecodesarrollo. En la tercera parte del estudio se analiza y plantea el desarrollo de la región. Finalmente, se presentan las recomendaciones generales, que a juicio del autor, deben ser consideradas en cualquier programa de desarrollo. Dado que no existen resultados experimentales locales, no ha sido posible dar una respuesta cuantitativa al problema planteado.

Regiones naturales

Las formaciones vegetales características de la región estudiada son las que a continuación se indican. Dado que cada una de ellas presenta comunidades-tipo se indica en forma separada algunas de las mas características. Se ha empleado como elemento cartográfico básico, el mapa vegetacional elaborado por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales-CORFO realizado a través de un convenio con SERPLAC de la I Región, el cual se adjunta (Figura 1).

Cactáceas columnares

Corresponde a la formación que se ubica a menor altitud, en las estratos alpinos inmediatamente superiores al Desierto de Atacama, aproximadamente desde 2000 m sobre el nivel del mar (Figura 2). Se presentan las siguientes comunidades vegetales, que se desarrollan en terrenos escarpados:

Ecotono Desierto de Atacama-Cactaceas columnares. Los primeros vestigios de ^vvegetación corresponden a comunidades muy ralas que se presentan especialmente en los costados de los quebradas donde aparecen ejemplares aislados de los géneros Atriplex y Tissa, además de otras especies que no fue posible identificar. No se observan restos vegetales abundantes de las especies efímeras, que posiblemente se desarrollan en número limitado, luego de producirse algunas precipitaciones ocasionales en los años mas favorables. Una cactácea columnar destaca en este ecotono, la cual es además la de mayor estatura; se trata de una especie del genero Browningia.

Browningia-Atriplex. Inmediamente sobre el ecotono del desierto se ubican comunidades donde Browningia alcanza mayor densidad y domina sobre las estratatas inferiores, cuyas formas vitales mas destacadas corresponden a nanofanerófitas y caméfitas de los generos Tarasa, Chenopodium, Tissa y Atriplex, además de Solanum chilense. Ocasionalmente aparecen especies efímeras en las años que se registran precipitaciones ocasionales.



a

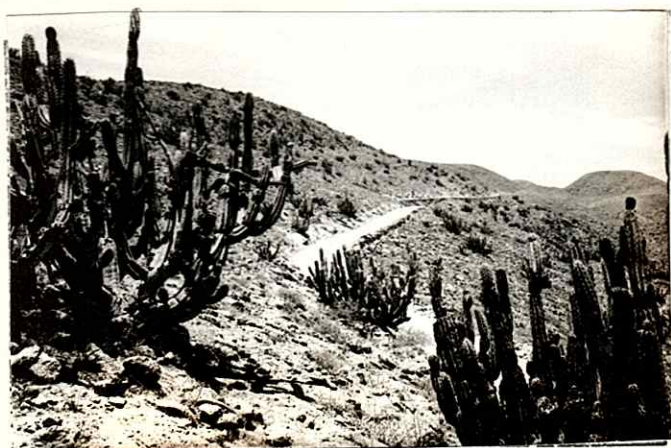


Provingia cardinals

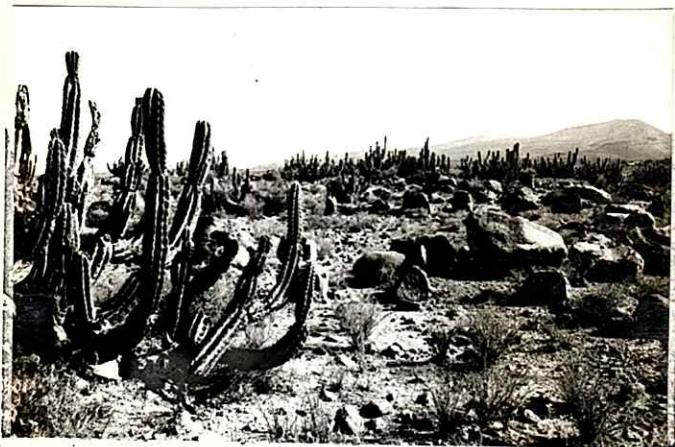
b



c

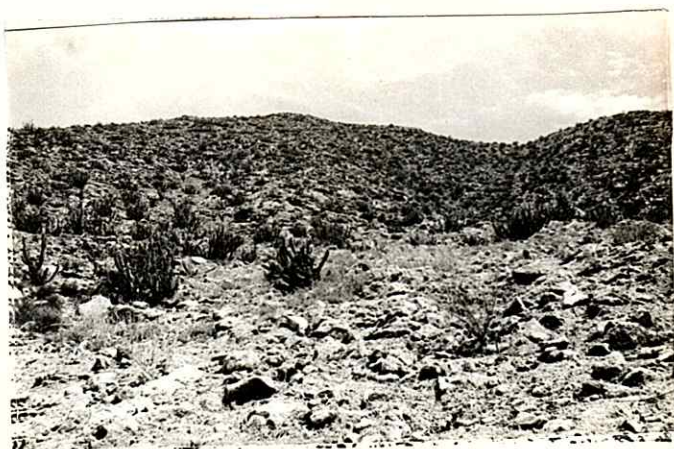


d



Soekrensis
stansburiana?

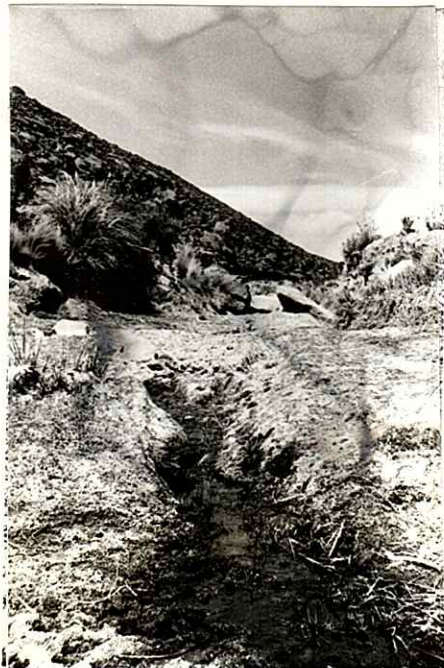
e



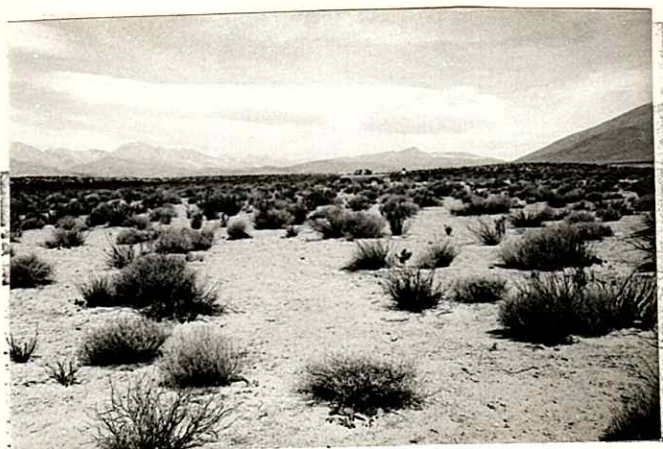
f



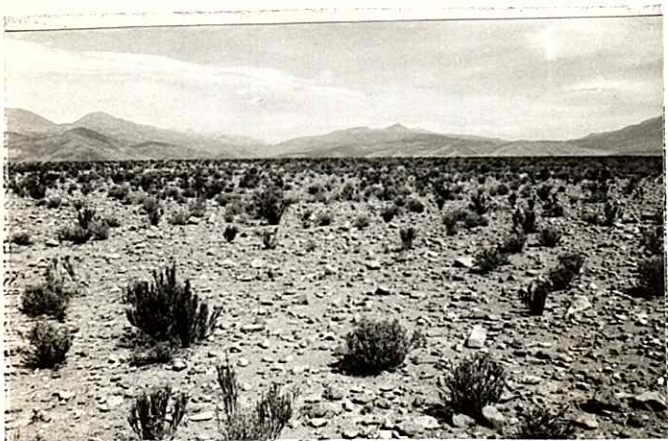
8



9



.i



j

Figura 2. Cactáceas columnares. a. Ecotono desierto de Atacama -cactáceas columnares; b y c. *Browningia-Atriplex*; d, e y f. Cactacea columnar procumbente-camefitas; g. Quebrada depositacional; h. Comunidad salina riparia; i y j. Pampa de Oxaya.

Cactácea columnar procumbente-Caméfitas. La estrata dominante alcanza mayor densidad que las anteriores al igual que la de caméfitas subdominante, que en este caso está representada principalmente por Ephedra y Tissa, encontrándose ejemplares aislados de Balbisia stitchkinii y de Piqueria pinnifolia. Estas dos últimas especies, a medida que aumenta la altitud, elevan gradualmente su dominancia. Alcanza gran desarrollo alrededor de los 2500 m.s.n.m. Se presentan además abundantes cactaceas postradas algunas de las cuales corresponden al género Opuntia.

Quebrada depositacional. Las especies dominantes varían de acuerdo a las características del material de depósito y a los aportes hídricos. En general, se caracterizan por presentar un mayor desarrollo de la vegetación y una mayor variabilidad de especies que en las estratas inferiores. Entre las especies características de la fauna silvestre que utiliza estas comunidades se destaca el guanaco (Lama guanicoe) que consume además la vegetación propia de los secanos circundantes. Las especies vegetales más destacadas de esta comunidad son: Adesmia atacamensis, Duhalia lycioides y Baccharis petiolata. Se encuentran otras especies de los géneros Baccharis, Tissa, Ephedra y Chenopodium.

Comunidades salinas-riparias. Los ambientes circundantes a los cauces de agua, provenientes de fuentes permanentes tales como vertientes o vegas, que van en su curso descendentes incrementando su contenido salino, concluyen por formar en su curso inferior salares riparios. La vegetación presente bajo tales circunstancias es la propia del ambiente, la cual se caracteriza por su alta tolerancia a la salinidad. Las especies dominantes corresponden a los géneros y especies: Baccharis incanum, Duhalia lycioides, Balbisia stitchkinii, Cortaderia sp. y diversas gramíneas de baja palatabilidad. La vegetación toma un aspecto de vega salina, donde el ganado se concentra y sobrepastorea.

Pampas de precordillera. Corresponde a comunidades casi puras dominadas por dos especies de los géneros Atriplex y Fabiana, y en menor proporción Ephedra. Los ejemplares de arbustos se encuentran esparcidos dando la apariencia de una distribución regular, aunque al azar, dejando amplios espacios desnudos entre ellos. Ocasionalmente se encuentran gramíneas perennes distribuidas entre los arbustos. Entre las pampas precordilleranas, destaca por su tamaño y uniformidad la de Oxaya.

Áreas de pastoreo ocasional

Comprende las formaciones que se encuentran sobre los 3000 m.s.n.m. y abarca un sector ubicado en sentido norte-sur, inmediatamente sobre la formación de cactáceas columnares (Figura 3). Las comunidades más importantes son las siguientes:

Faldeos de precordillera. La mayor precipitación y las pendientes pronunciadas de los cerros de la precordillera son los principales mecanismos reguladores de las comunidades vegetales más extensas. Las especies dominantes son: Lophopappus tarapacanus, Fabiana deserticola, Adesmia leuchopogon, Chuquiraga sp. y Baccharis incanum. Los suelos, en general, son pobres, delgados y pedregosos. La capacidad sustentadora del pastizal es baja y su utilización potencial es estacional, durante los meses de lluvia en el verano o inmediatamente después.

Vegas de precordillera. Bajo ciertas condiciones geológicas y climáticas se producen afloramientos hídricos que cubren pequeños sectores de suelo que se mantienen húmedos durante la mayor parte del año. La vegetación que allí se desarrolla está adaptada al habitat edáfico y climático propio de la vega y se caracteriza por presentar una apariencia cespitosa y siempre-verde.

Pasturas y cultivos. Los terrenos depositacionales de origen aluvial, coluvial, u otros, donde la calidad del suelo y las disponibilidades hídricas lo permiten se encuentran cubiertos de cultivos y pasturas, especialmente alfalfa, habas, papas,



a



b



c



d



e



f



g



h



i

Figura 3. Areas de pastoreo ocasional. a y b. Faldeos de precordillera; c y d. Vegas de precordillera; e. Cultivos en terrazas en Quebrada de Tarapacá; f y g. Sectores regados de precordillera cerca de Lupica; h. Terrazas abandonadas en quebrada al este de Ticnamar; i. Cultivo asociado de habas y arbejas en Belén.

arvejas quinoa, maiz y otros. Usualmente corresponden a terrazas de cultivos.

Tolar

Corresponde al matorral bajo cuya densidad va de media a alta. La mayor precipitación, asociada con la altitud sobre el nivel del mar es la causa del mayor desarrollo vegetacional. Las especies dominantes corresponden a los géneros Fabiana, Senecio, Adesmia, Lophopappus ^{*Panicum*} y otros que le dan el caracter peculiar a la vegetación. En la parte alta del tolar las graminéas perennes acoironadas comienzan a predominar y ocasionalmente se forman comunidades casi puras de esta forma vital (Figura 4).

Matorral arbóreo-arbustivo

Se ubica en las altas cumbres, inmediatamente sobre el pajonal que a menudo se desarrolla sobre el tolar. La estrata microfanerófita baja dominante es rala y se sobrepone a una inferior de nanafanerófitas y caméfitas de estatura reducida. La especie arbórea dominante corresponde a arbolillos de pequeña estatura de Polylepis tarapacana (Queñoa). Entre las especies arbustivas se destaca; Chuquiraga oppositifolia, Lophopappus tarapacanus, Diplostegium tarapacanicum, D. cinereum, Fabiana sp. y otras que se presentan en forma ocasional, entre las que destacan gramíneas perennes de diversos géneros. Los valles y quebradas no tienen una zonación muy definida, regulándose solo por la calidad del agua y por el tipo de material depositacional, además del ancho del cauce y de su territorio circundante (Figura 5).

Bofedal

El bofedal es una turba alcalina pantanosa ubicado en depresiones de quebradas o en laderas donde aflora agua subterránea. Se caracteriza además, por los suelos orgánicos que se han ido formando luego de largos períodos de génesis, donde el conjunto de condiciones de bajas temperaturas, humedad elevada y pastoreo intensivo ha generado los suelos y vegetación propios de esta formación. El movimientos hídrico en el suelo y su evapotranspiración, unido a las características del material generador, dan al



Figura 4.. Tolar.



b



a



c

Figura 5. Matorral arbóreo-arbustivo. a. Polylepis tarapacana cerca del lago Chungará; b y c. Matorral de la misma especie cerca de Chapiquiña.

bofedal su característica de humedad y salinidad edáfica (Figura 6).

La vegetación del bofedal, es la de una cubierta cespitosa continua, que toma una coloración verde intenso durante la estación de crecimiento de los meses mas cálidos y amarillenta durante el período de sequía en los meses mas frios.

Los bofedades pueden caracterizarse en torno a una gradiente hídrica y salina en las siguientes comunidades ecológicas:

Agua corriente: donde debido a la fuerza del líquido no existe vegetación arraigada.

Plantas sumergidas: diversas especies vegetales, en ambientes donde la velocidad del agua lo permite, se desarrollan bajo el nivel hídrico y producen alimento que puede ser consumido por el ganado.

Plantas flotantes: Varias especies de plantas se arrigan al fondo del cauce y mantienen su follaje al nivel de la superficie hídrica. El ganado doméstico y la fauna silvestre se alimenta de estas especies.

Vega: Es la etapa cespitosa que está dominada por Oxychloe y una gramínea conocida vulgarmente como "Chillagua".

Vega seca-salina. Aparece una comunidad cespitosa dominada por una gramínea que cubre en forma monófito, conocida vulgarmente como "quena".

Ecotono bofedal-pajonal. En el ecotono del bofedal con el pajonal se forma una angosta faja de tola, dominada por Parastrephia cuadrangularis, constituyendo comunidades prácticamente puras (Figura 7).

Salar

Los cauces que conducen a depresiones cerradas, de acuerdo a la magnitud del gasto y a las condiciones de evapotranspiración conducen en la formación de salares. En la depresión central el salar está constituido por una gruesa capa salina. La concentración salina decrece gradualmente hacia la periferia hasta llegar a una zona en que aparecen las comunidades dominadas principalmente por una gramínea, cuyo nombre vernáculo es quena.

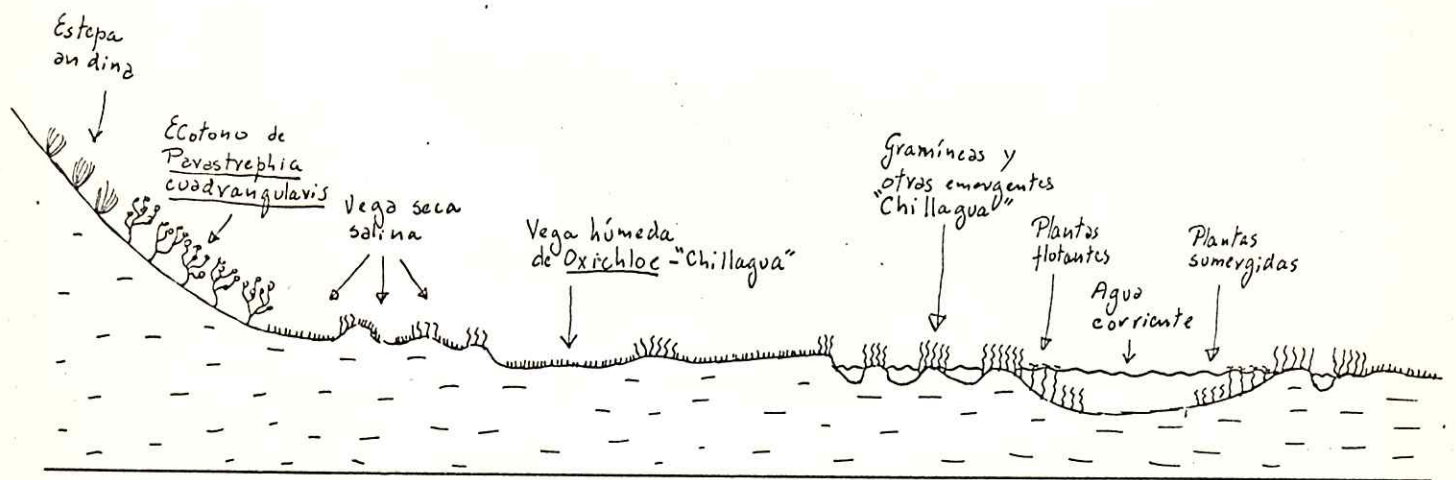
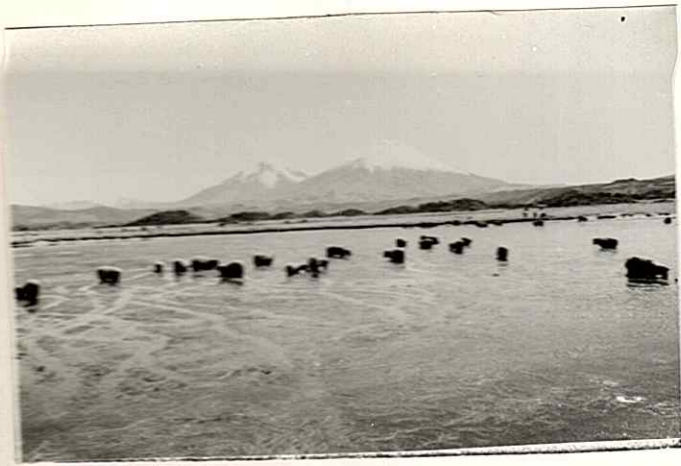


Figura 6. Esquema generalizado del bofedal y su ecotono con el pajonal.



a



b



c



d



e



f



g



h

Figura 7. Bofedal; a. Ovejas pastando plantas sumergidas en laguna del bofedal; b. Plantas flotantes; c. Agua corriente; d. Borde del agua corriente; e. Vega con vicuñas; f. Vista general del Bofedal de Guayatiri; g. Construcción de acequia para riego del bofedal; h. Vega salina del bofedal.

Además se presentan otras especies de alta tolerancia a la salinidad (Figuras 8 y 9).

El ecotono con el pajonal, al igual que en el caso del bofedal lo constituye un cinturón de Parastrephia cuadrangularis, continuando luego el pajonal.

Etapa andina

Es la formación mas generalizada y uniforme del altiplano. Presenta una apariencia monótona donde se repite su topografía plana o casi plana, dominada por gramíneas amacolladas, de follaje endurecido, a menudo de ^{los} géneros Festuca y Stipa. En los lugares donde las gramíneas de mayor estatura desaparecen, frecuentemente son reemplazadas por una gramínea perenne de escaso desarrollo, Deyeuxia breviaristata. Durante la temporada de lluvias, en el verano o invierno altiplánico esta especie presenta la mayor tasa de desarrollo y suministra una alta proporción del alimento que ingiere la fauna silvestre y el ganado camélido doméstico. Además, existe otra especie que forma una cubierta de escasa estatura sobre el nivel del suelo, la cual no es consumida por el ganado: Picnophyllum molle y Werneria aretioides. Otras especies importante son: Parastrephia lepydophylla y Chuquiraga insignens, esta última consumida ocasionalmente por herbívoros domésticos y fauna silvestre (Figura 10).

Llaretales

Las comunidades de llareta de la alta Cordillera presentan una fisionomía muy peculiar. La estrata dominante esta representada por esta Umbeliferae (Laretia compacta) que forma masas endurecidas con el follaje de la planta, conservando los restos vegetales producidos en los años anteriores. El aspecto final es de ejemplares aisladas de gran tamaño, de color verde oscuro, de forma irregular, aunque generalmente redondeada. La estrata inferior está dominada por gramíneas perennes amacolladas, propias de la Estepa Andina. Otras especies subordinadas son Parastrephia cuadrangularis, Picnophyllum molle y Werneria aretioides (Figura 11).

La productividad acumulada en forma de fitomasa, presenta entre sus constituyentes una sustancia de alto poder energético que hace que la especie dominante haya sido en el pasado ampliamente empleada como combustible.

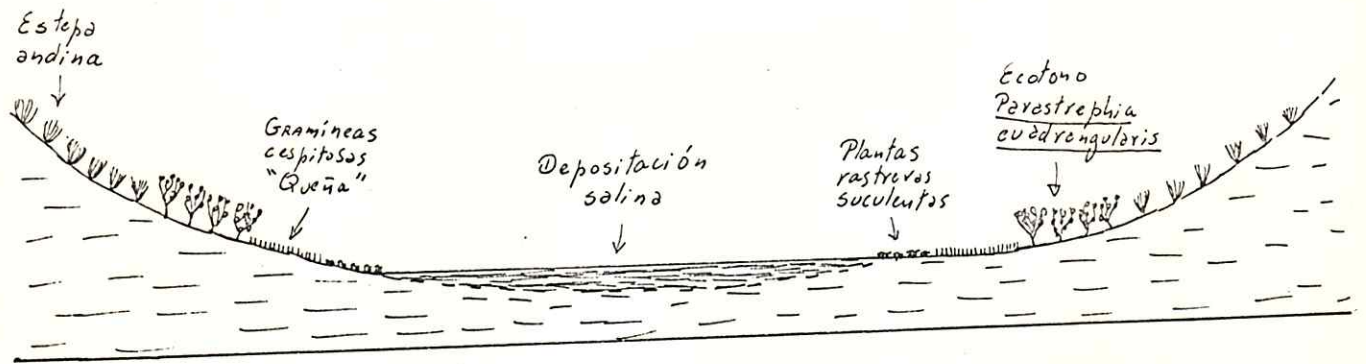


Figura 8. Esquema generalizado de un salar.

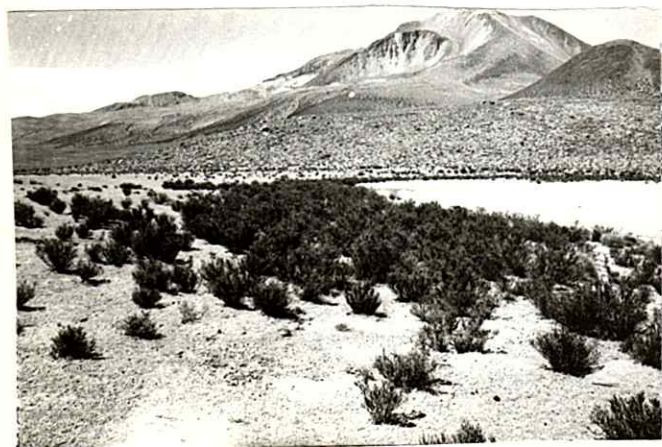


Deycoxia curvula

a



b

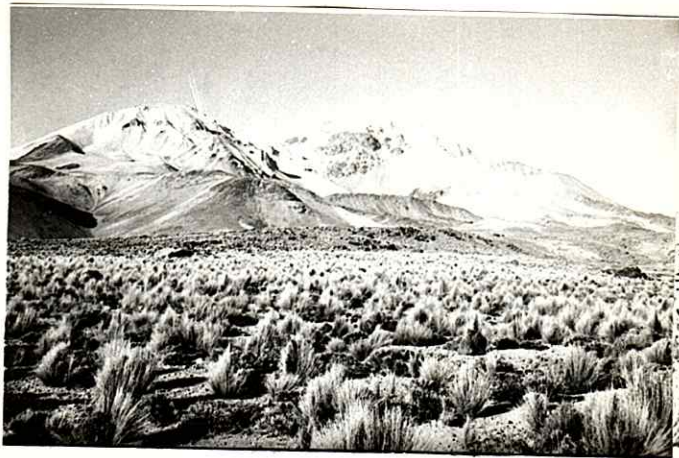


c

Figura 9. Salar altiplánico. a. Detalle de pradera de Queña en el ecotono sal-pradera; b. Vista general de la pradera de Queña; c. Ecotono salar-pastizal dominado exclusivamente por Parastrephia cuadrangularis.

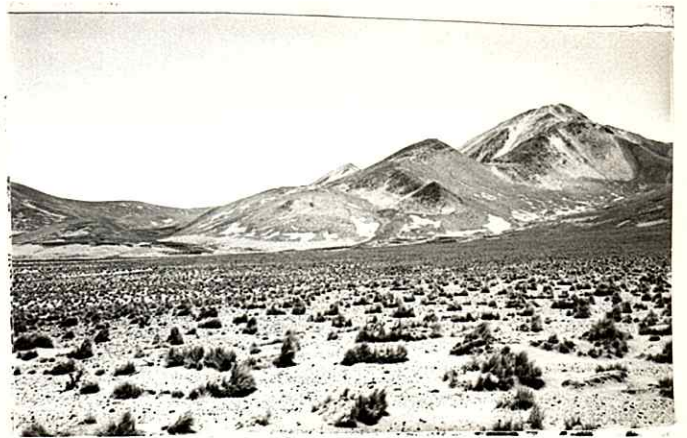


a



*Festuca
orthoceras.*

b



c



Festuca orthophylla

d



e

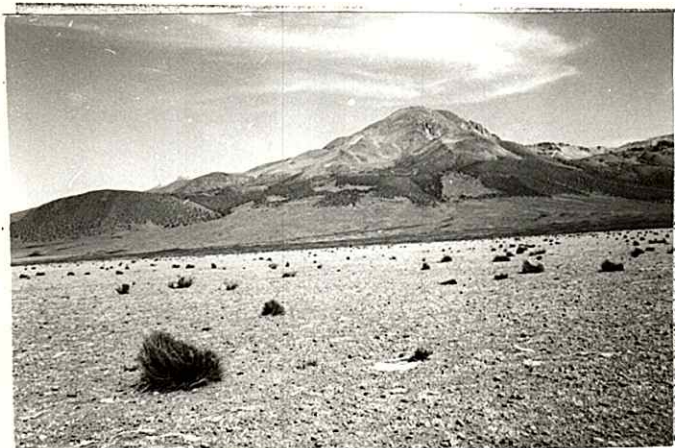


f



F. orthophylla

g



Dryoxia breviflora

+

F. orthophylla

h



i



j



k



l

Figura 10. Estepa andina. a. Detalle; b. Vista general; c. Pradera envejecida, vista general; d y e. Detalle de la anterior con crecimiento periférico; f y g. Grupo de camélidos domesticos en la misma pradera; h. Pradera dominada por Deyeuxia brevيارistata; i y j. Riego y cultivos de sectores originalmente con estepa andina; k y l. Ancuta en el ecotono del bofedal y estepa andina, cuyos pobladores sobreviven de la baja productividad del ecosistema.



a



b



c

Azolla compacta

Figura 11. Llaretal. a. Vista general de llaretal cerca de lago Cotacotani; b. Detalle de planta; c. Llaretal en ecotono con estepa andina.

Formación vegetacional altos de Pica

Presenta ejemplares aislados de dos especies de arbustos, una de las cuales es del género Atriplex. La mayor densidad de plantas se haya en los costados de las quebradas, donde posiblemente es mas húmedo. A medida que se avanza en altitud, se incrementa la diversidad, densidad y tamaño de las especies. La topografía corresponde a un planalto con escasa pendiente, cubierto de pavimento de erosión.

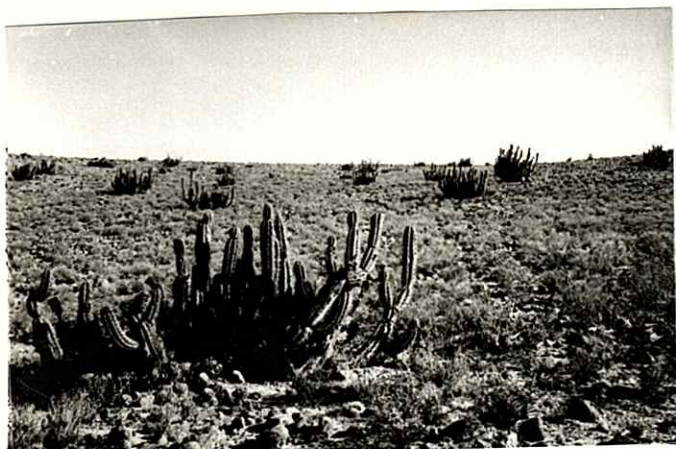
Las cactáceas columnares se prolongan, ocasionalmente dentro de esta formación, aunque son características del extremo norte. Se presentan ejemplares aisladas de Browningia y de otra cactácea propias de la formación mas septentrional. Aparecen también colonias de pequeñas Opuntias. Como especies acompañantes existe arbustos de los géneros Adesmia y Ephedra, además de especies efímeras que aparecen en la temporada de lluvias (Figura 12).

Pajonal

Corresponde a laderas y planaltos dominados por gramíneas perennes amacolladas. Las especies subordinadas son Parastrephia quadrangularis, P. leiodophila y Adesmia sp. Existe abundancia de sectores quemados del pastizal, cuyo rebrote presenta un follaje mas tierno (Figura 13).



a



b

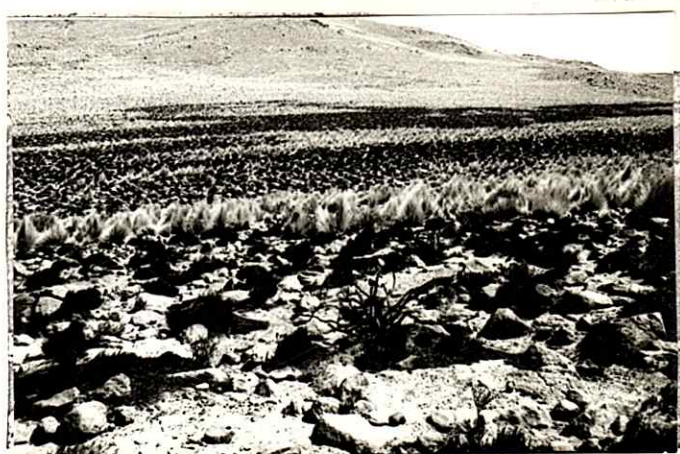
Figura 12. Formación vegetacional altos de Pica.



a



b



c



d

Festuca ovina

Figura 13. Pajonal. a. Vista general. b. Vista general de sector quemado como práctica de manejo; c. Detalle de lo anterior; d. Rebrote de forraje tierno después del fuego.

Planteamiento del problema

La unidad ecológica básica para programar el desarrollo del Norte Grande es el ecosistema, el cual es el resultado de la integración o interdependencia ordenada de los elementos vivos y no vivos de la naturaleza. El ecosistema ha sido definido como un arreglo de componentes bióticos y abiótico, o un conjunto o colección de elementos que están conectados o relacionados de manera que constituyen una unidad o un todo. Conexión y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía o información.

El ecosistema constituye la síntesis de los componentes físicos y biológicos con la característica de integrar en una sola unidad elementos de naturaleza tan diversa como los que caracterizan a los recursos naturales y al hombre. Los recursos naturales pueden ser estudiados a cualquier nivel de complejidad o jerárquico, es decir, desde el nivel subatómico hasta de la biósfera, pudiendo incluso sobrepasar ambos extremos. Se requiere por lo tanto establecer un centro de referencia y origen desde el cual sea posible relacionar la complejidad ecosistémica. Este nivel se ha denominado ecosistema predial y se debe considerar como la unidad básica del desarrollo.

Desde un punto de vista conceptual y funcional resulta preferible considerar al hombre como un elemento interno del sistema del árido; el cual en alguna forma dirige, modifica y planifica las acciones que se pueden ejercer sobre al sistema, del cual espera una respuesta determinada. El concepto de ecosistema origen parte de la necesidad de definir un nivel de organización e integración que permita marcar los componentes que caracterizan a los sistemas complejos en los que interviene el hombre. El ecosistema puede ser considerado como la unidad básica de los recursos naturales en los que se centra la acción de cualquier disciplina.

Es posible, por lo tanto, definir al ecosistema como la unidad ecológica básica cuya complejidad es el producto de la integración de cinco subsistemas biogeoestructura (E_{b_i}), socioestructura (E_{h_i}), tecnoestructura (E_{n_i}), entorno ecosistémico (E_{e_i}) y sistemas externos incidentes (E_{c_i}), constituidos por un tipo de complejidad dado por la unidad en referencia.

En base a lo anterior, el ecosistema se puede considerar como:

$$E_i = \{ E_{b_i}, E_{h_i}, E_{n_i}, E_{e_i}, E_{c_i} \}$$

tal que los componentes estén conectados entre sí de manera que el conjunto actúa como una unidad.

No es posible aislar al hombre dentro del contexto de la naturaleza porque en su estructura se encuentran componentes topológicos propios de la naturaleza, por lo cual intrínsecamente es una parte de ella. La naturaleza a su vez está contenida en el hombre como una unidad socioestructural. Las situaciones dinámicas que gobiernan la evolución de los fenómenos naturales son básicamente las mismas de las que gobiernan la evolución del hombre y las sociedades.

La interacción de la socioestructura con la biogeoestructura genera estructuras y arquitecturas diferentes a las propias de cada uno de estos componentes, produciéndose de esta manera arreglos topológicos de baja probabilidad de ocurrencia en el recurso natural, sin la intervención del hombre. La transformación de la estructura y arquitectura de algunos componentes biogeoestructurales, diseñados bajo el alero del intelecto humano como elemento rector de la transformación del recurso natural, genera la tecnoestructura.

El estado del ecosistema está definido por:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho(\mathcal{E}, \beta) \\ \beta &= \beta(\mathcal{E}, \Lambda) \\ \Lambda &= \Lambda(\mathcal{G}, \eta); \mathcal{G}(\eta) \end{aligned}$$

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

sus estímulos \mathcal{E} ,
el comportamiento β ,
su arquitectura Λ , etc.

determinada ésta a su vez por:

su arreglo topológico \mathcal{G} , y el número y dimensión de los componentes η

El estado del ecosistema predial destinado primordialmente a actividades de producción puede variar dentro de márgenes muy amplios, pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio detenido de su estado inicial y de su transformación, llevada a cabo con un criterio de optimización antrópica, base del ecodesarrollo.

Para lograr lo anterior es necesario modificar \mathcal{E} , \mathcal{V} ó η de los componentes E_{b_1} , E_{n_1} , E_{h_1} , E_{e_1} , E_{c_1} , aplicándole a cada uno de ellos un operador ecosistémico de manera que permita a todo el ecosistema origen, alcanzar el estado óptimo E_0^j . Simbólicamente se tiene:

$$E_i^j \xrightarrow{\tilde{\Pi}_{i_0}^1} E_0^j, \text{ o bien,}$$

$$\{E_{b_1}, E_{n_1}, E_{h_1}, E_{e_1}, E_{c_1}\} \xrightarrow{\tilde{\Pi}_{i_0}^1} \{E_{b_k}, E_{n_k}, E_{h_k}, E_{e_k}, E_{c_k}\}$$

donde $\tilde{\Pi}_{i_0}^1$ es el operador ecosistémico que permite efectuar el cambio de estado a través de una ruta 1.

Lo anterior no implica, sin embargo, que se tenga que transformar a cada uno de los sistemas componentes en óptimos; por lo que se ha denotado por k. Los estados transformados de cada uno de los componentes del sistema predial no corresponden necesariamente a un estado óptimo E_0 , aunque en conjunto lo son.

En general se tiene que si $E_i^j(t_1)$ es el estado inicial del sistema y $E_k^j(t_k)$ es el estado final, el cambio de estado $E_i^j \longrightarrow E_k^j$ requiere de la aplicación de un operador funcional $\tilde{\Pi}_{ik}^1$. La ruta de transformación 1 se define como el conjunto de estrategias (e_m) utilizadas en la transformación.

En vista que los estímulos corresponden a la adición de materia, energía e información al sistema involucran, por lo tanto la aplicación de un trabajo. La dependencia del operador funcional $\tilde{\Pi}_{ik}^1$ con los estímulos implica la existencia de una función que mide la cantidad de trabajo requerido para lograr la transformación. El término trabajo se utiliza bajo la acepción de energía generalizada, incluyendo la energía aplicada como tal al ecosistema

y a la materia cuantificada en términos de energía requerida para su transformación y aplicación. Este trabajo se puede cuantificar en términos de unidades de energía empleados en la transformación ecosistémica pudiendo expresarse en cualquier unidad energética.

En general, al operador ecosistémico $\tilde{\Pi}_{ij}^l$ que permita transformar el estado ecosistémico desde E_i a E_j esta dado por una relación R_l tal que:

$$\tilde{\Pi}_{ij}^l = R_l(\omega_{ij}; t_{ij}; P_{ij}) \text{ donde,}$$

ω_{ij} : es el trabajo requerido para transformar al ecosistema desde el estado i al j

t_{ij} : es el tiempo requerido para efectuar la transformación desde el estado i al j

P_{ij} : es la probabilidad de efectuar la transformación desde estado i al j , y

R_l : es la relación entre ω_{ij} , t_{ij} y P_{ij} , al seguir la ruta l y pasar del estado i al j .

Un operador funcional es, por lo tanto, un estímulo que debe aplicarse a un ecosistema predial del árido en estado E_i para transformarse en un estado E_j , en un tiempo t_{ij} , con cierta probabilidad P_{ij} de éxito de transformación y con cierto trabajo ω_{ij} .

Planteado así, al ecodesarrollo persigue transformar el ecosistema origen en uno óptimo desde el punto de vista antrópico para lo cual debe determinarse ¿Cual es el estado inicial (E_{ij})? ¿Cual es el estado final óptimo o meta (E_o)? y ¿Como llegar a dicho estado ($\tilde{\Pi}_{io}$)?

Los ecosistemas pueden, por lo tanto, modificarse a través de la aplicación de operadores de transformación que modifiquen la arquitectura del sistema o su funcionamiento, mediante la aplicación de estímulos adicionales. Dado al bajo potencial productivo de una alta proporción de los sistemas del Altiplano y Precordillera del Norte Grande, a menudo se ha planteado la ventaja de transformar la arquitectura del sistema más bien que su funcionamiento.

Los argumentos que, a menudo, hacen aparecer como más aconsejable la transformación de la arquitectura se centran en las ventajas que presentan la modificación por una sola vez del comportamiento ecosistémico, ya que existe una estrecha relación entre comportamiento y arquitectura. La modificación de la arquitectura no ocurre en la mayoría de los casos en forma intencionada, sino que es el residuo de la cosecha descontrolada de los elementos de mayor valor del ecosistema, como son: forraje, madera, leña, fertilidad del suelo y otros. La crudeza del medio ha hecho que el hombre para subsistir haya cosechado cualquier elemento que le pueda ser de valor o bien que pueda ser comercializado. En ello reside la motivación que se observa en la sobreutilización de los recursos naturales. Usualmente se confunde el significado de la cosecha ecosistema con su productividad. Son muy pocos los esfuerzos sistemáticos que se han realizado para mejorar la arquitectura del sistema.

El funcionamiento puede mejorarse a través de la importación de estímulos externos tales como fertilizantes minerales, ganado, agua para riego o bebida, semillas, pesticidas y otros. Dado el alto costo de estos estímulos, o la escasez que a menudo se presenta de algunos de ellos, especialmente el agua, el mejoramiento de los sistemas a través de la adición de estímulos para mejorar su funcionamiento está restringido cuantitativa y cualitativamente a condiciones particulares. En todo caso, debe aplicarse en ecosistemas cuya arquitectura haya sido mejorada previamente.

La aplicación de operadores de transformación a los ecosistemas del árido requiere de una cuidadosa selección que considere específicamente el esfuerzo que deba invertirse, el tiempo requerido para lograr la transformación y las probabilidades de éxito. A menudo se elige estrategias que pretenden provocar cambio de estado del sistema en períodos muy breves, lo cual involucra una alta inversión energética y altas probabilidades de fracaso.

En el caso de transformación del estado de los ecosistemas del árido se requiere en una primera etapa definir los atributos del estado óptimo para luego proceder a aplicar los operadores de transformación que permitan alcanzar el cambio de estado deseado. Entre los atributos de mayor

importancia que deben caracterizar al estado meta u óptimo está la diversidad del sistema, compatible con el grado de estabilidad que deba contener, la biomasa en pie, la tasa de circulación y recirculación de biomasa, el grado de canalización antrópica y otros que raramente se consideran cuando simplemente se plantea la cosecha del sistema.

El conocimiento del proceso sistemogénico natural de los sistemas del árido juega un importante papel en la elección de los operadores. La tecnología que se aplique en el proceso de transformación del sistema no debe sobrepasar ciertos límites, especialmente en lo que se refiere al costo energético de transformación del sistema, como asimismo, no generar sistemas cuyo costo ecológico de mantención sea excesivo. Lo anterior significa que, en general, el proceso de transformación debe contemplar logros prolongados, donde la tecnología que se aplique no esté divorciada del proceso sistemogénico natural.

Cualquiera que sea el objetivo antrópico del ecosistema, su comparación con el óptimo debe considerar los siguientes atributos:

- Costo ecológico de mantención de la arquitectura (CM)
- Costo ecológico de funcionamiento (CF)
- Costo ecológico de almacenamiento (CA)
- Costo ecológico de cosecha (CC)
- Producto ecológico bruto (PB)

La diferencia entre el producto obtenido y los costos constituye la utilidad ecológica neta (UN) del sistema en su arquitectura y funcionamiento en el estado inicial. Se tiene por lo tanto:

$$\text{Utilidad ecológica neta del sistema} = \text{Producto ecológico bruto} - \left[\begin{array}{cccc} \text{Costo} & \text{Costo} & \text{Costo} & \text{Costo} \\ \text{ecológico} & \text{ecológico} & \text{ecológico} & \text{ecológico} \\ \text{de} & \text{de} & \text{de alma-} & \text{de} \\ \text{mantención} & \text{funciona-} & \text{cenamiento} & \text{cosecha} \\ \text{arquitectura} & \text{miento} & & \end{array} \right]$$

$$UN = PB - (CM + CF + CA + CC)$$

La sumatoria de estos cuatro costos constituye el costo de operación del ecosistema (CO):

$$CO = CM + CF + CA + CC$$

La productividad de sistema (PB) es igual al número de unidades producidas (M) multiplicado por su tamaño unitario (V).

$$P + M V$$

El producto ecológico bruto total es igual a la suma del rendimiento de cada uno de los componentes multiplicado por su valor unitario (U) respectivo:

$$PB_T = \sum_{i=1}^{n=T} R_i U_i$$

El producto bruto total (PB_T) del ecosistema, por lo tanto, es igual a la sumatoria del producto del número de unidades producidas por el elemento i respectivo, multiplicado por su tamaño unitario, por la fracción cosechable y por el valor unitario de la fracción.

El modelo ecosistémico, en su estado inicial tiene una arquitectura y funcionamiento definido, por lo cual su utilidad ecológica neta puede ser calculada en un instante dado.

La respuesta del ecosistema (\mathcal{P}) es función del estímulo (\mathcal{E}) aplicado y del comportamiento β del sistema al ser sometido al estímulo:

$$PB = \mathcal{f}(\mathcal{E}, \beta)$$

El comportamiento del sistema depende, como ya se ha indicado, de sus atributos arquitectónicos y del nivel de aplicación del estímulo, lo cual se traduce en un cambio de estado del sistema, situación que en el presente trabajo recibe el nombre de productividad bruta.

Los posibles modelos que se simulen o diseñen deben ser comparados con el modelo real. En el proceso de transformación desde el estado inicial E_1 a un universo de alternativas, una de las cuales corresponde al estado óptimo E_0 , debe agregarse los costos ecológicos de transformación:

Costo ecológico de destrucción de la arquitectura original (CD)

Costo ecológico de remoción de los elementos destruidos (CR)

Costo ecológico de preparación del biotopo (CP)

Costo ecológico de construcción de la nueva arquitectura (CCA)

El costo ecológico total de transformación de la nueva arquitectura (CT) es igual a la suma de los cuatro costos anteriores:

$$CT = CD + CR + CP + CCA$$

Además debe incluirse, al igual que en el cálculo de la utilidad ecológica neta de un sistema estable, el costo neta de un sistema estable, el costo ecológico de mantenimiento de la arquitectura, de funcionamiento, de almacenamiento y de cosecha, la sumatoria de lo cual constituye el costo de operación del nuevo modelo de sistema:

$$UN = PB_T - (CO + CT)$$

Desarrollo regional

El desarrollo de la socioestructura al igual que el de la tecnoestructura deben estar basados en el incremento de la capacidad productiva de la biogeoeestructura. La cosecha de la biogeoeestructura debe estar balanceada con su productividad de manera de lograrse un manejo conservacionista del recurso natural.

Las condiciones adversas del medio, especialmente en lo referente a la precipitación, temperatura y salinidad hacen que la región presente obstáculos difíciles de sobrepasar, en cualquier programa de desarrollo. El largo período de evolución de la población humana en un medio tan adverso y su éxito relativo alcanzado ha permitido ajustar el medio al hombre y viceversa, y desarrollar la tecnoestructura que además de ser adecuada a sus necesidades sea compatible con la biogeoeestructura.

A la luz de los conocimientos actuales es posible, sin embargo, lograr un mayor desarrollo regional, para lo cual se requiere provocar algunos cambios. Dada la fragilidad del sistema, se corre el peligro de desestabilizar el sistema de manera de ocasionar alteraciones que podrían finalmente ser perjudiciales para la socioestructura y biogeoeestructura. Es por ello que cualquier cambio que se proponga, debe ser cuidadosamente estudiado, antes de procederse a su aplicación extensiva.

Algunas de las áreas relacionadas con la productividad primaria de la pradera, donde existe posibilidades de mejoramiento ecosistémico, se indican a continuación.

Fauna silvestre de caza

La productividad primaria de la pradera está limitada por el medio abiótico, especialmente temperatura y disponibilidades hídricas. La fauna silvestre de caza es un estilo de producción animal que, en lo fundamental, sólo difiere levemente de la ganadería tradicional. Las diferencias principales radican en algunas prácticas usuales de manejo del animal, especialmente en lo relacionado con el apotreramiento, lo cual dice relación con la frecuencia, época e intensidad de utilización de la pradera, que es realizado por pastores. Otra modalidad que les hace diferentes son las modalidades de

captura, pues la caza o cosecha de la fauna silvestre representa además una actividad recreativa.

La productividad secundaria proveniente de la fauna silvestre suele ser superior a la del ganado, especialmente cuando ésta utiliza nichos ecológicos mantenidos parcialmente desocupados por el ganado. La fauna silvestre, puede ser competitiva con el ganado cuando ambos comparten el mismo habitat, nicho y territorio. En ambientes adversos donde la productividad primaria de la bioma pratense es limitada, a menudo, es mas conveniente concentrar la productividad en la fauna silvestre, pues debido a un mayor simpleza y menor costo de apotreramiento y manejo, la productividad neta del sistema es mas elevada, alcanzando en algunos estudios cifras cercanas o superiores al 20 % ó 30 %. En términos económicos las diferencias suelen ser aún mayores.

La capacidad sustentadora de la pradera puede ser evaluada en unidades animal. En el caso de existir competencia entre el ganado doméstico y la fauna silvestre, la carga animal total no debe sobrepasar a la correspondiente a la capacidad sustentadora total. Dado que la pradera que cubre el bofedal y las de secano de los alrededores está siendo actualmente sobreutilizada, es dudoso pensar en la posibilidad de incrementar abruptamente la densidad de los camélidos silvestres, especialmente de la vicuña, que es la principal especie silvestre del altiplano.

La vicuña es una especie territorial que vive en grupos de 6 a 8 animales, uno de los cuales es macho que dirige el grupo y el resto son hembras. Ocupan un territorio de tamaño variable cuyo extremo inferiores es usualmente el bofedal y el superior la ladera o cumbre de los cerros. Luego de permanecer en la cumbre o en la parte alta de la ladera, durante la noche, el grupo desciende lentamente durante la mañana, para arribar a media mañana al bofedal cuando éste ya se ha descongelado. Permanecen allí pastoreando hasta el atardecer, para luego comenzar su ascenso hacia la ladera o la cumbre.

La población de vicuñas en el Parque Lauca, que cubre aproximadamente 450 000 hectáreas siendo 246 000 potenciales para esta especie, ha variado en la siguiente forma:

Año	Número de vicuñas	Densidad absoluta	Densidad ecológica
		----- hectáreas/ vicuña -----	
1971	400	1125	615
1973	1093	412	225
1974	1253	359	196
1975	2149	209	114
1976	3057	147	80
1977	4087	110	60
1978 (Censo preliminar)	6001	75	41

A manera de ejemplo se indica a continuación la estructura de los grupos durante la estación de 1975:

Grupos familiares	128
Cantidad de crias por grupo	2,2
Cantidad de crias/hembra	0,36
Relación hembras:machos	6:1
Número de grupos de machos	102

La estructura de los grupos es de gran variabilidad citándose a manera de ejemplo los siguientes:

<u>Grupo</u>	<u>Machos</u>	<u>Hembras</u>	<u>Crias</u>
1	1	5	4
2	1	2	2
3	1	3	1
4	1	9	7

Los grupos de machos son de tamaño aun mas variable encontrándose en los censos grupos de 45, 30, 10, 63 e incluso mayores. Estos grupos deambulan en el sector en busca de alimento y de territorio.

La capacidad sustentadora de vicuñas en el complejo de pastizal de secano y bofedal del Parque Lauca no se conoce con precisión. Las estimaciones que se han dado son variables. Algunos estudios la estiman en 25 000 ejemplares y otros llegan hasta 112.500, asimilándose a las estimaciones peruanas de 0,25 vicuña por hectárea-año. Este valor es posiblemente muy elevado para el caso del Altiplano de Tarapacá, estimándose en 0,20 vicuñas por hectárea y 300.300 hectáreas, es decir, una capacidad de 60 000 vicuñas. Siendo la región susceptible de mantener vicuñas, de tamaño superior a la superficie del parque la masa de animales que se puede soportar es aún mayor. Se considera que la zona de adaptación de la especie se extendería por el altiplano hasta la latitud de Copiapó.

La tasa de natalidad es variable de año en año, estimándose en promedio, en 30% a 40% por lo cual la productividad del sistema puede ser elevada. En el caso de pretenderse copar la capacidad sustentadora de la pradera con la fauna silvestre, debe disminuirse el ganado doméstico hasta límites que dejen de ser conflictivos por el consumo de forraje.

El precio de los productos se ha estimado en:

carne	US \$ 2,00	el kg
piel	US \$ 20,00	la unidad, y
lana	US \$ 40,00	el kg.

Los precios en el futuro deberán variar de acuerdo a la oferta y demanda del producto. El rendimiento de lana alcanza a 0,2 kg cada dos años y el de carne a 20 kg por cria.

Otra especie animal que puede cohabitar con la vicuña es Suri o Avestruz del Norte (Pterocnemia pennata) que comparte el mismo territorio, aunque ocupan diferentes nichos.

En los matorrales ubicados a menor altura, entre 3000 y 3500 m sobre el nivel del mar existe poblaciones naturales de Huemul del Norte (Hippocamelus antisensis), especialmente en los alrededores de Putre, donde, durante

el censo preliminar de 1978 se contabilizó alrededor de 1100 ejemplares. Entre 2500 y 3000 m sobre el nivel del mar, el guanaco (Lama guanicoe), se encuentra en forma natural. Estas especies no han sido manejadas adecuadamente por períodos muy largos, por lo cual sus poblaciones se encuentran muy por debajo de la capacidad sustentadora de la pradera.

Otras especies de mamíferos y aves, especialmente acuáticas, son de valor biológico y económico, las cuales, al ser sometidas a un manejo adecuado podrían aumentar en importancia. La mayor parte de estas especies no ocupan nichos competitivos con el ganado.

El valor económico de la zomasa proveniente de la fauna silvestre de caza es mayor que iguales cantidades provenientes del ganado doméstico. Es por ello que puede ser de interés regional estudiar la fauna silvestre de caza como un estilo de utilización y manejo de los recursos naturales pratenses.

El desarrollo de la fauna viene necesariamente asociado al desarrollo de los parques nacionales, turismo, recreación, hoteles, caza, y otras actividades que incrementan el ingreso de la región. Además, dado que las ciudades principales de la región se ubican en ambientes desérticos, puede constituir un escenario adecuado para la recreación de la población urbana.

Dado que el desarrollo de la fauna de caza, significaría un cambio de actitud importante en el uso de los recursos naturales y en las actividades y fuentes de trabajo de la población, es necesario previamente realizar los estudios pertinentes que permitan evaluar el impacto de este rubro, especialmente en la socioestructura, tecnoestructura y biogeoestructura, además de los sistemas incidentes.

Praderas de secano

Dadas las condiciones adversas del medio, donde las precipitaciones usualmente fluctúan entre 0 y 200 mm al año, alcanzando ocasionalmente 300 mm, la productividad pratense es reducida. Por las mismas razones, la calidad del forraje es también baja. Es posible elevar la productividad primaria de la pradera a través de la aplicación de estrategias diversas, algunas de las cuales, en circunstancias especiales, pueden ser aplicadas ventajosamente.

Ante de procederse a tomar decisiones definitivas sobre transformaciones del ecosistema pratense debe investigarse cuidadosamente lo siguiente:

¿Dónde hacer las transformaciones?

¿Cuándo transformarlo?

¿Cómo ejecutar el proceso?

¿Que elementos transformar?

De manera específica, algunas consideraciones que deben hacerse antes de tomar decisiones respecto a las ventajas de transformación ecosistémica son:

Necesidades de transformación ecosistémica. Esta primera consideración implica la comparación de la productividad bruta del ecosistema en su estado inicial, con la probable luego de ejecutada la transformación. La resiembra o plantación artificial no es la única estrategia de mejoramiento biocenósico para lograr una composición botánica adecuada.

En fitocenosis en condición mala, donde sólo existen algunas especies deseables, aunque con bajo vigor, la reducción de la presión de cosecha o el mejoramiento del manejo pueden inducir al restablecimiento de la condición. Las especies deseables pueden, en esta forma, aumentar su tamaño, recuperar su vigor o reinvasir la fitocenosis mejorando su desarrollo y productividad.

El control mecánico selectivo de algunas especies poco deseables, la quema y la aplicación de herbicidas selectivos puede reducir la competencia sobre las especies deseables y restablecer finalmente, o mejorar, la calidad original de la biocenosis con menor esfuerzo que a través de la resiembra o plantación. En otros casos, las fitocenosis artificiales pueden superar a las naturales mejoradas por medios sucesionales.

Las especies nocivas de la fitocenosis pueden agruparse en cuatro grupos:

Aquellas que producen escasa cantidad de biomasa y que obstruyen el uso de la fitocenosis.

Las especies que producen biomasa de baja calidad antrópica y que concluyen por reducir la capacidad sustentadora de la pradera.

Las especies tóxicas, y

Las especies que incrementan la inestabilidad del sistema, tal como aquellas que elevan el peligro de incendio o de erosión.

Factibilidad de preparación del biotopo. La pendiente del terreno puede hacer inconveniente el uso de maquinaria pesada o de técnicas especiales requeridas para bajar los costos. La pedregosidad y rocosidad superficial o de las estratas superiores del suelo también afectan las posibilidades de empleo de maquinaria o tecnología intermedia en la resiembra o replantación.

La presencia de suelos inestables en sí o por efecto de su posición en la pendiente, viento, concentración hídrica u otros factores pueden hacer al medio abiótico erosionable en exceso, con lo cual, los peligros de destrucción pueden ser tan elevados que no hagan aconsejables la nueva arquitectura.

Los estands densos y desarrollados son indicativos de buenas características edáficas, condiciones hídricas favorables y, en general, de ecotopos de alta capacidad productiva. Las posibilidades de éxito en la edificación de nuevas arquitecturas son mayores y la productividad de la fitocenosis es también elevada. Los beneficios obtenidos por la transformación, compensan, en un corto plazo el esfuerzo desplegado en el mejoramiento de la fitocenosis.

Los estands originales poco desarrollados no garantizan la calidad de la nueva arquitectura ni compensan por el esfuerzo que debe invertirse en su transformación. Sólo se justifican cuando el ecosistema transformado puede jugar un papel importante en el manejo y utilización del conjunto de ecosistemas, aun cuando su transformación, considerada en forma aislada no compense el esfuerzo. Las fitocenosis de escaso desarrollo y que forman comunidades muy

ralas indican, a menudo, suelos pobres, clima inadecuado o, en general, biotopos desfavorables. Antes de tomarse decisiones debe tomarse las precauciones pertinentes de manera de poder evitar un fracaso posterior.

Control parcial de especies constitutivas de las estratas leñosas. Las poblaciones de algunas especies correspondientes a estratas deseables para la nueva arquitectura diseñada pueden aparecer en la fitocenosis original con valores muy bajos de importancia relativa. El control de las estratas y poblaciones dominantes, cuando se trata de especies poco deseables, puede hacer que desocupen nichos y territorios, con lo cual se induzca un estímulo a poblaciones de especies deseables que originalmente presentaban un bajo valor de importancia relativa. El programa de control parcial de algunas poblaciones y estratas debe considerar esta posibilidad. El control inicial o eliminación de la arquitectura fitocenósica original puede ser mas intensivo, lográndose en esta forma una eliminación simultánea de aquellas poblaciones no dominantes pero susceptibles de transformarse en dominantes al encontrar territorios desocupados. Las poblaciones no controladas en el proceso de eliminación pueden ser la fuente productora de diséminulas donde se reinicie la reinvasión del estand.

Resiembra o replantación. La planificación de la transformación de la arquitectura original puede incluir la edificación de nuevas arquitecturas pratenses a través de la siembra artificial o trasplante de poblaciones mejoradas. La siembra puede ser necesaria en aquellas fitocenosis donde las especies deseables contribuyen en proporciones muy bajas.

En praderas se habla a menudo de la conveniencia de resemar cuando las poblaciones representativas del climax original no sobrepasan el 20%. La mayoría de las praderas naturales del

secano altiplánico y de la precordillera no ofrecen condiciones adecuadas para la resiembra con especies exóticas mejoradas debido a características edáficas, topográficas, climáticas, pendiente, pedregosidad u otras.

Sucesiones ecológicas. La transformación de la cubierta vegetal, puede a menudo lograrse en forma eficiente y económica a través del manejo de las sucesiones ecológicas mediante el ganado o fauna silvestre de caza y su efecto sobre la pradera. En circunstancias favorables, es posible mejorar la composición botánica de la pradera y, por ende, su productividad a través de las sucesiones ecológicas, lo cual conduce al mejoramiento de la condición. Esta estrategia debe aplicarse a la generalidad de las praderas del altiplano y a algunas de la precordillera. No ocurre lo mismo con la resiembra artificial con especies mejoradas que estaría reservada sólo para circunstancias muy especiales, principalmente en ambientes muy favorables.

Probabilidades de éxito. En el proceso de transformación del ecosistema en el estado original E_i por otro cualquiera E_j debe establecerse la relación entre sus atributos y la productividad, en términos probabilísticos. Dado que los estímulos y el comportamiento del sistema varía estacional y anualmente, debido a factores ambientales externos, la productividad del sistema transformado debe calcularse en términos probabilísticos de acuerdo a valores estadísticos que cuantifiquen la probabilidad del evento, en este caso, el éxito de la resiembra.

Ambiente abiótico. Los mejores ambientes abióticos ofrecen las mayores probabilidades de éxito de la nueva arquitectura fitocenósica. Los primeros ecosistemas que se elijan para ser transformados deben ser aquellos con suelos profundos, con atributos físicos adecuados, fértiles y de buena calidad y que corresponden

a los ambientes más favorables. Se considera que en términos generales, en el caso de los pastizales, precipitaciones superiores a 300 mm anuales, aseguran frecuentemente un buen establecimiento. Precipitaciones menores de 250 a 300 mm también pueden ofrecer buenas probabilidades de éxito. El riesgo de fracasar aumenta con precipitaciones menores (Figura 14).

Posibilidades de manejo del área. El mejoramiento de la fitocenosis por medio de resiembra y plantación, sólo se justifica si además se controla el manejo del área. La regulación de la presión de cosecha, como así mismo de la época de utilización deben quedar establecidos en los programas de resiembra. No tiene justificación resembrar o replantar artificialmente fitocenosis, si ello no viene acompañado de la infraestructura que permita manejar adecuadamente la nueva arquitectura y si, además, no se le aplica el esfuerzo de mantención necesario para la conservación de su estado.

Algunas arquitecturas, aunque son de ejecución factible, son de tan difícil mantención que requieren de una inversión muy elevada de esfuerzo o costo de mantención (CM), razón por lo cual el resultado final, en términos de utilidad ecológica neta (UN) puede hacerla inaconsejable debido a su alto costo de operación (CO).

En el caso de las praderas de secano del Altiplano y Precordillera donde se requiere usualmente en promedio entre cincuenta hectáreas-año por unidad animal ovina o su equivalente o en camélidos o cérvidos, el costo de apotreramiento, aguadas y otras, puede ser tan elevado que hagan inaconsejable la resiembra.

Las tradiciones de pastores de la población de la región dejan ver un serio obstáculo cultural y de costumbres en las prácticas de manejo del ganado y utilización de la pradera. Ningún programa de transformación pratense tendrá éxito si no se considera un manejo adecuado del pastizal. Ello debe necesariamente venir acompañado de las transformaciones socioestructurales pertinentes, lo cual presenta serias dificultades de índole práctica.

Justificación de los costos. En términos ecológicos, la justificación de los costos debe hacerse comparando la productividad bruta, los costos de operación y de transformación del ecosistema original y de la alternativa de transformación. No basta con que los costos estén justificados, es necesario contar con los medios para efectuar la transformación.

Uso múltiple. La productividad bruta total del sistema debe ser analizada en términos generales donde se considere la totalidad de los productos cosechados tales como: fauna silvestre de caza, recreación, agua de escurrimiento, granos, raíces, ganado, follaje y otros productos que directa o indirecta pueden ser cosechados del sistema. Las comunidades naturales o artificiales mas diversificadas contienen una mayor cantidad de nichos susceptibles de ser utilizados por organismos que canalizan su productividad a través de cauces mas diversos. La productividad total del sistema debe considerar el conjunto de cada uno de los productos, de su fracción cosechable y de su valor unitario. La decisión final debe hacerse en términos de la mejor combinación de alternativas de uso múltiple.

Circunstancias adecuadas de transformación. Se considera tanto a las condiciones adecuadas para un transformación como al momento oportuna para la ejecución.

Elección de la biocenosis. Las especies animales y vegetales que se incluyen en la nueva biocenosis y sus modalidades de organización deben, además de ajustarse al medio programado, ser altamente productivas, corresponder a los valores de calidad antrópica especificados y presentar grados de estabilidad correspondientes a las circunstancias singenéticas del sistema.

Mantenimiento del sistema. La mantención del sistema, tanto durante su etapa inicial como madura debe ser compatible con los requerimientos del modelo diseñado. En la práctica significa controlar la competencia que ejercen las malezas, los predadores y los parásitos que tienden a alterar el ecosistema diseñado, además de controlar a otros agentes ambientales que actúan sobre la biocenosis o ecotopo, que tienden a degradar la unidad ecológica.

Es posible pensar que, debido a las condiciones ambientales limitativas, especialmente de precipitación y temperatura, el éxito de la resiembra de las praderas naturales de secano con especies exóticas mejoradas es dudoso. En general no debe esperarse incrementos considerables de la productividad.

En condiciones especiales de clima y suelo, preferentemente en los sustratos de mejor calidad y donde se reciben escurrimientos adicionales desde otros sectores, el aumento de la productividad debido a la resiembra puede justificar el esfuerzo. Lo anterior puede hacerse efectivo también a la fertilización de praderas de secano.

Algunas de las técnicas especiales de mejoramiento de praderas de secano, que sólo tratan de modificar algunos elementos de la pradera pueden resultar convenientes pues, bajo tales circunstancias, los modestos incrementos en la productividad se compensarían con los costos también reducidos.

La estrategia principal de mejoramiento de las praderas de secano debe basarse en las sucesiones ecológicas. El manejo de la pradera debe conducir al desencadenamiento de sucesiones que conduzcan a disclímaces más productivos, donde la transformación de la fitocenosis sea realizada por el ganado y fauna silvestre que cumpla simultáneamente el doble propósito de utilizar la pradera y ser de instrumento de manejo y transformación praterense. En este sentido la modificación de la época, intensidad y frecuencia de utilización de la pradera por el ganado debe ser el principal mecanismo de manejo y mejoramiento de las praderas de secano.

Con los antecedentes disponibles en la actualidad no es posible predecir la magnitud del aumento de la productividad de las praderas de secano de la precordillera y del altiplano. Sólo es posible afirmar que el incremento que puede esperarse es más bien reducido y que posiblemente no se justifican grandes inversiones en la resiembra generalizada de praderas debido a la relación costo-beneficio. En el caso del mejoramiento a través del manejo y utilización por el ganado la relación costo-beneficio es más favorable, además de ser de aplicación más generalizada. Su implementación, sin embargo, puede significar la construcción de enormes longitudes de alambradas, lo cual significaría una inversión considerable.

En una primera etapa se requiere realizar investigaciones de praderas, especialmente en áreas tales como: resiembra, introducción de especies mejoradas, fertilización, manejo del agua de escurrimiento, microrelieves, uso de la pradera por diversas especies de ganado y fauna silvestre, frecuencia, época e intensidad de utilización y manejo de la fertilidad del suelo. Además se requiere estudiar la complementación entre los bofedales y praderas de riego con las praderas de secano, especialmente en lo referente al desarrollo de praderas de propósitos especiales tales como veranadas, invernadas, campos de parición y otros.

La trashumancia del ganado hacia y desde las diversas regiones altitudinales debe ser uno de los temas que reciba mayor atención. En este respecto debe considerarse especialmente, además del altiplano y precordillera, las pampas donde se acumula agua proveniente de la precordillera y cordillera, tal como la Pampa del Tamarugal y los Valles Transversales del Desierto, especialmente donde las condiciones de suelo, clima y plagas no permiten una buena fruticultura, horticultura o cultivos en general.

Sin una adecuada experimentación previa no es recomendable iniciar planes generalizados de desarrollo regional. Dada la simpleza de las praderas de secano, la experimentación e investigación requerida no debe ser muy elaborada y los resultados esenciales pueden lograrse en un período breve. Los antecedentes que se dispone, hacen pensar en la conveniencia de realizar la investigación praterense relacionada con los temas discutidos anteriormente.

Bofedales

La cubierta vegetal que caracteriza a los terrenos de turba alcalina pantanosa del altiplano o bofedal constituyen la base de sustentación ganadera de la región. Tanto el ganado doméstico como la fauna silvestre de caza, obtienen la mayor parte de su alimento del bofedal.

Debido a la abundancia de agua, las condiciones para el crecimiento de la pradera son mas favorables y por lo tanto, su productividad es también mayor. Contrasta con lo anterior la concentración salina y alcalina del suelo y agua, lo cual constituye un mecanismo que tiende a reducir el potencial productivo.

Es posible elevar la productividad del pastizal a través de manejo del agua, salinidad del suelo y manejo de la fertilidad. La investigación que se realice debe centrar su atención en estos aspectos, lo cual puede ser altamente redituable.

La utilización del bofedal se caracteriza por el pastoreo continuado con cargas animales elevadas, posiblemente exesivas. El pastoreo rotativo, además de permitir el ajuste de la carga animal y de sus interacciones con el manejo del agua y fertilidad, podría contribuir al incremento de la productividad del herbívoro doméstico y fauna silvestre. Otra alternativa, en lugar del pastoreo rotativo sería el pastoreo continuado con intensidades moderadas de utilización, lo cual permitiría un mayor crecimiento de la pradera que al ser utilizada con presiones excesivas.

La base del desarrollo ganadero y de los asentamientos humanos del altiplano debe ser el bofedal, cuya utilización debe necesariamente integrarse con las praderas de secano.

El manejo del agua de escurrimiento superficial proveniente de las precipitaciones que se registran en el invierno altiplánico puede contribuir a la regulación del contenido salino del suelo como asimismo, al balance hídrico. El desarrollo de estructuras tan simples como los desparramadores y amansadores de agua puede contribuir a aumentar la superficie del bofedal, elevar la eficiencia hídrica, reducir la concentración salina y, por consiguiente, su superficie y productividad por unidad de área.

La investigación que se realice en el bofedal puede ser altamente redituable dado que su potencial productivo es elevado y que existe un remanente hídrico que no se utiliza eficientemente.

Llaretales

Una comunidad que merece especial atención en relación a las posibilidades de mejoramiento y desarrollo regional son los Llaretales, o comunidades atiplánicas de secano dominadas por Laretia compacta y gramíneas amacolladas perennes. La llareta ha constituido tradicionalmente uno de los principales recursos energéticos de la zona.

Su forma vital le permite acumular eficientemente sustancias energéticas, por lo cual debiera investigarse la posibilidad de incrementar esta comunidad vegetal. Durante las últimas décadas la sobreexplotación de la llareta condujo a una reducción excesiva de las poblaciones. Existe extensas sectores susceptibles de mantener poblaciones densas de la especie y ser utilizadas simultáneamente por herbívoros y como fuente de combustibles.

Aunque algunos estudios indicarían que la especie tiene una baja tasa de crecimiento, es posible que investigación más acuciosa permita demostrar que la productividad por unidad de superficie puede ser elevada, al ser sometida a un manejo adecuado de la población. El area dedicada a mantener poblaciones de llareta se podría incrementar al conocerse más profundamente su biología y los factores que inciden en sus tasas de natalidad y mortalidad, además del crecimiento poblacional.

Terrenos de riego

Dado que en el Altiplano existen disponibilidades elevadas de agua que no se utiliza y que su efecto sobre los cultivos y pasturas es, también alto, se recomienda investigar el desarrollo de los diversos cultivos de alimentos y forrajes bajo condiciones de riego. El problema principal de las cuencas existentes se centra en la salinidad del suelo y agua y eficiencia del riego.

Debe investigarse la posibilidad de mantenerse cultivos forrajeros tales como alfalfa, remolacha forrajera, agropyro y otros de alta tolerancia a la salinidad, que produzcan forraje suplementario susceptible de almacenarse para las épocas de escasés o para períodos en que los requerimientos del ganado sean mayores. En ambientes donde las estaciones son tan marcadas,

como ocurre en el Altiplano, el almacenaje de forraje juega un papel importante en el desarrollo ganadero.

Los cultivos de alimentos, susceptibles de mantenerse en los sectores de riego, pueden ser competitivos con los cultivos forrajeros. Es por ello que la investigación en ambas áreas debe ser complementaria. Todo parece indicar las ventajas de investigar en esta área.

En la precordillera, el problema es en algunos aspectos similar, aunque las condiciones climáticas, hídricas y edáficas son mas favorables. Es por ello que su productividad es también mayor. Climáticamente ofrece posibilidades de mantener cultivos forrajeros, además de cereales, chacras y hortalizas en condiciones ventajosas tanto para el consumo como para la producción de semillas y otros fines. El manejo del agua y de los cultivos podría ser mejorado considerablemente, siendo una de las áreas que ofrece mayores expectativas.

Los terrenos de praderas y matorrales de secano que circundan a los de riego de la Precordillera, son de menores posibilidades que los del Altiplano, debido a su elevada pendiente y menor precipitación. Es por ello que la integración secano, riego no es tan fundamental, aunque merece, sin embargo, un estudio experimental para lograr información mas detallada que la disponible en la actualidad.

Es en los terrenos de riego tanto en la precordillera como del altiplano donde debe centrarse un alto porcentaje de la investigación y experimentación agrícola de la zona. No existe en la actualidad ningún campo experimental ni centro que investigue sistemáticamente este aspecto tan importante de la productividad que incide necesariamente en el estilo de vida de la población.

Cuenca

En ecosistemas de montaña, donde las condiciones climáticas, edáficas, vegetacionales y faunísticas varían abruptamente, cualquier estudio de manejo y utilización de los recursos naturales renovables debe considerar su ordenamiento espacial en la cuenca. El uso que se le dé a cada una de las regiones ecológicas de la cuenca debe corresponder al óptimo global y no necesariamente al del sector específico (Figura 15).

La organización tradicional de la población humana ha considerado esta diversidad de potenciales de uso y productividad del recurso, estableciendo los asentamientos humanos en los lugares considerados como mas favorables. Los mejores lugares de la cuenca, usualmente corresponden a las tierras de cultivos donde se practica la agricultura mas intensiva o bien cultivos forrajeros. Los ambientes mas desfavorables son destinados a praderas, bosques, cosecha de agua o algún otro.

El grado de artificialización y la diversidad de usos de cada uno de los sectores debe ser investigada de manera de no provocar alteraciones que afecten negativamente su estabilidad y productividad. Asimismo, debido a la diversidad altitudinal y de ambientes climáticos y edáficos se requiere optimizar para cada sector su estacionalidad de uso.

Trashumancia

Concatenado con la diversidad altitudinal y de climas y suelos se encuentra el proceso de estacionalidad de uso de cada uno de los sectores de la cuenca. Ello lleva necesariamente a procesos estacionales de trashumancia del ganado y de las personas, ya sea de quien realiza el trabajo o de las familias o poblaciones completas.

En el caso del Norte Grande, donde la gradación altitudinal es tan definida, tradicionalmente la migración estacional de la población, unido a la trashumancia del ganado, ha sido una práctica usual de supervivencia y optimización del sistema. La trashumancia desde valles, oasis o pampas a los sectores mas altos de precordillera o altiplano permite optimizar el uso de la pradera generando así mejores condiciones para la vida humana.

En la transformación de los ecosistemas del Norte Grande, no puede dejarse de considerar este aspecto del problema. Desde el punto de vista de la pradera, no cabe duda que la optimización del sistema se logra con la utilización trashumante de los diversos sectores altitudinales y edáficos. Ello podría, sin embargo, estar en contraposición con el óptimo antropológico y social, de manera que la solución final debe considerar ambos aspectos.

En el caso de practicarse una ganadería trashumante, en cada una de las regiones ecológicas debe regularse la frecuencia, época e intensidad

de utilización de la pradera. Ello crea problemas prácticos de difícil solución al tratarse de praderas de bajo potencial productivo como ocurre con el secano de la zona, pues el costo de apotreramiento es proporcionalmente muy elevado. Especial mención merece, al respecto, el caso de la Pampa del Tamarugal y de los suelos salinos o muy delgados de los Valles Transversales del Desierto.

Cosecha de agua

La cosecha de agua de la cuenca debe ser uno de los objetivos primordiales del manejo, tanto en lo que se refiere a su cantidad, como a la calidad y distribución estacional. Dadas las condiciones climáticas del sistema y al tipo de vegetación pratense que caracteriza al secano del sistema es poco probable que pueda incrementarse la cosecha hídrica de las cuencas.

La distribución estacional de la cosecha puede modificarse favorablemente a través de la construcción de pequeñas obras de ingeniería que tengan por objetivo reducir el escurrimiento excesivo que se produce durante el Invierno Altiplánico y consecuentemente aumentar la infiltración. Ello se puede lograr con la construcción de pequeños bordes en curvos de nivel que conduzcan el agua hacia cultivos o praderas, además de amansadores de agua que retengan el agua por períodos breves luego de registrarse la precipitación para posteriormente ser infiltrada o utilizada en la cuenca. Esto último, mejora la calidad del agua, además de reducir el peligro de las avenidas tan propias de la zona durante los meses de verano, las cuales pueden ocasionar daños de consideración en el curso medio e inferior de los valles y ríos.

Recreación

Desde el punto de vista del uso múltiple de las praderas, además de forraje, ganado, fauna silvestre y cosecha de agua, puede esperarse una productividad elevada en términos de recreación. Debe investigarse la utilidad susceptible de lograrse al transformarse la pradera para optimizar este rubro.

Una de las razones que respaldan la necesidad de investigar este uso de la pradera es la cercanía de centros poblados en el sector costero y central, desprovistos de un escenario recreacional diversificado, pues se encuentran rodeados por el Desierto de Atacama, aunque el mar presenta posibilidades alternativas de recreación. Otra de las razones es su belleza escénica sui generis donde se combinan llanuras cubiertas de praderas, abundante fauna silvestre de caza, especialmente vicuña y avestruz, ganado doméstico camélido de llamas y alpacas, todo lo cual se encuentra rodeado del marco escénico imponente que le dan las montañas, volcanes, lagos y bofedades que se mezclan en una armonía única de belleza. Unido a ello se suman las tradiciones culturales propias de región, lo cual le da un atractivo aún mayor. Las disponibilidades de agua corriente y termal podrían elaborar un escenario aún mas favorable.

Existe, sin embargo, limitantes de distancia desde otras centros mas poblados y de altitud que podrían limitar seriamente el desarrollo recreacional del área. Dadas las posibilidades de la zona, es necesario, sin embargo, hacer un estudio económico mas detallado de manera de evaluar cuantitativamente esta posibilidad.

Ganadería

La ganadería que se practica en el Altiplano y Precordillera está limitada en su productividad por las disponibilidades globales de forraje de la zona, además de las problemas inherentes al ganado mismo tales como fertilidad, mortalidad embrionaria, enfermedades, problemas nutricionales, suplementación y otros, que de una manera u otra afectan la productividad del ganado. Todo ello debe ser investigado y difundido, de manera de solucionar los problemas susceptibles de serlo.

Desde el punto de vista pratense, uno de las problemas más obvios es la intensidad de pastoreo, lo cual afecta al consumo de alimento por el ganado. El pastoreo intensivo que se practica en forma generalizada deja constantemente un escaso remanente de forraje sobre el suelo. El ganado ovino o camélido que utiliza la pradera debe pacer diariamente durante períodos prolongados para cosechar el alimento requerido, que no alcanza a satisfacer los requerimientos nutritivos para su mantención. Es por ello que en el caso de los ovinos, se observa una marcada reducción de su peso corporal y en las otras especies una reducción de su fertilidad. Es necesario ajustar la carga animal a la capacidad sustentadora de la pradera de

manera de adecuar el consumo per capita optimizándose la productividad por unidad de superficie.

La carencia que existe en la actualidad de información experimental local, no permite hacer comparaciones valideras, tendientes a optimizar los sistemas de manejo y utilización de los recursos pratenses.

Comentarios generales

Cualquiera que sea la solución que se le dé al problema de los pastizales de la Precordillera y Altiplano del Norte Grande, debe basarse en el principio de Uso Múltiple de la Tierra que establece que el óptimo corresponde a la mejor combinación simultánea de los siguientes usos principales: producción de forraje, producción de ganado (lana, pelo, leche, carne, plumas, huesos, etc.), cosecha de agua, agricultura regada de cultivos, cultivos forrajeros bajo riego, cultivos de secano, fauna silvestre de caza, recreación, urbano-industrial-vial, producción de madera y combustibles.

Las praderas de secano ofrecen escasas posibilidades de mejoramiento mediante resiembra. En general, deben ser mejoradas mediante el manejo sucesional de las mismas. En zonas donde las precipitaciones sobrepasan 250 mm ó 300 mm al año y en los mejores ambientes edáficos, podría pensarse en resembrar, aunque sólo cuando las condiciones de deterioro de la fitocenosis así lo aconsejara, o cuando el potencial productivo de la pradera resembrada sobrepasara a la natural. En zonas donde las precipitaciones sea inferiores a 250 mm ó 300 mm sólo debe hacerse transformaciones menores de la pradera tendientes a desencadenar sucesiones secundarias que conduzcan a su disclimax mas favorable.

Las praderas de secano tienen posiblemente una productividad real por unidad de superficie bajísima, siendo su potencial proporcionalmente muy superior, aunque en términos absolutos es también bajo. Además, su capacidad de generar empleo, por unidad de superficie, es también baja. Dada su enorme extensión y su importancia relativa debido a su ubicación, geográfica y dentro de las cuencas es necesario realizar la investigación básica que permita cuantificar el problema y sus posibles soluciones. Resulta abismante que, en el momento actual, no exista ningún tipo de información experimental sobre la materia.

La producción de los bofedales puede ser elevada por dos procedimientos generales: aumentando la superficie del bofedal o mejorando su productividad unitaria. El mejoramiento del manejo del bofedal puede lograrse regulando la intensidad, época y frecuencia de utilización por el ganado, lo cual implica un costo de apotreramiento. Además, mejorando el manejo del

agua y de la salinidad del suelo. Este aumento puede ser considerable. El aumento de superficie de bofedales puede lograrse con un mayor aprovechamiento de los cauces naturales permanentes y de una mejor utilización del escurrimiento superficial de las aguas lluvia. Este aumento puede ser considerable, de acuerdo a las características propias de la cuenca.

La investigación que se realice en el bofedal puede ser altamente redituable dada que su potencial productivo es elevado y que existe un remanente hídrico que no se utiliza eficientemente.

Un alto porcentaje de las praderas de secano y de los bofedades se encuentran sobrepastoreadas y degradadas. Una reducción en la carga actual significaría un incremento de su productividad ganadera.

La fauna silvestre puede y debe desarrollarse como una fuente de alimento y de trabajo y con fines recreativos y de caza. La productividad de zomasa de la fauna silvestre de caza puede ser igual o mayor que la del ganado ya que utiliza algunos nichos que éste deja desocupado. El total puede incrementarse ya que su valor específico de la fauna es mayor. Genera además otras actividades tales como turismo y recreación, que puede hacer mas productiva la actividad, tanto en términos económicos como de fuentes de trabajo.

La capacidad sustentadora total de las praderas de la región debe ser compartida en forma competitiva y complementaria por la fauna silvestre y ganado doméstico. Algunos nichos reducidos pueden ser utilizados en forma exclusiva por cada uno de los grupos. Dentro de los límites del uso competitivo de la pradera, el incremento de la fauna necesariamente implica un reducción del ganado doméstico y viceversa.

No existen datos cuantitativos de la productividad actual ni potencial de los diversos ecosistemas de la región. Sólo una investigación bien planificada puede entregar esa información.

Las tradiciones de pastores de la población de la región dejan ver un serio abstráculo cultural y de costumbres en las prácticas de manejo del ganado y utilización de la pradera. Ningún programa de transformación pratenso tendrá éxito si no se considera un manejo adecuado del pastizal. Ello debe necesariamente venir acompañado de las transformaciones socioestructurales pertinentes, lo cual presenta serias dificultades de índole práctica.

La cosecha de agua de las praderas puede ser mejorada en su estacionalidad, calidad y distribución dentro de la cuenca. El uso que se le dé al agua cosechada en las praderas puede mejorarse a través de una mejor tecnología de riego y de cultivos.

Es en los terrenos de riego y bofedales, tanto de la Precordillera como del Altiplano donde debe centrarse un alto porcentaje de la investigación y experimentación agrícola de la zona. No existe en la actualidad ningún campo experimental ni centro que investigue sistemáticamente este aspecto tan importante de la productividad que incide necesariamente en el estilo de vida de la población.

La transformación de cada uno de los ecosistemas de la región debe realizarse sin perderse de vista la macrounidad de cuenca. En ecosistemas de montaña, donde las condiciones climáticas, edáficas, vegetacionales y faunísticas varían abruptamente, cualquier estudio de manejo y utilización de los recursos naturales renovables debe considerar su ordenamiento espacial en la cuenca. El uso que se le dé a cada región ecológica y comunidad en la cuenca debe corresponder al óptimo global y no necesariamente al del sector específico. Especial mención merece la complementación del secano con el riego y bofedades.

No debe descartarse la posibilidad de buscar soluciones trashumantes del ganado y de la población humana, pues las condiciones propias del habitat, hacen pensar que podría ser el óptimo.

Dentro del secano algunas de las comunidades ecológicas deben recibir un tratamiento especial debido a las posibilidades de ofrecer un mayor potencial productivo, como es el caso de los llaretales. Otras comunidades pueden tener especies dominantes con sustancias químicas de alto valor específico, las cuales podrían ser de explotación económica, dentro de un marco ecológico conservacionista.

Dado que prácticamente no existen resultados experimentales sobre las materias tratadas, se recomienda organizar y realizar la investigación que produzca esta información. Para realizar la investigación y experimentación se requiere al menos de una modesta infraestructura experimental que

permita en cada una de las regiones ecológicas del Altiplano y de la Precordillera, realizar sistemáticamente la investigación que deba ejecutarse in situ, tanto en ambientes de secano, como de riego y en los bofedades.

Especial atención debe darse a la planificación de la investigación, la cual debe centrarse dentro del marco ecológico del ecosistema. Cualquier intento inicial de atomizar esta unidad holocénica tiende a desmenuar el problema en fragmentos que tienden a hacer la solución más difícil. Si se planifica adecuadamente la experimentación e investigación, es posible lograr la mínima información requerida en un período breve, posiblemente de 2 a 3 años.