

Un enfoque de los estudios ecológicos en los Andes (norte de Chile)

An Approach to Ecological Studies in The Andes
(northern Chile)

ALBERTO VELOSO M.

Departamento de Ciencias Ecológicas. Facultad de Ciencias.
Universidad de Chile. Casilla 653. Santiago.

High andean ecosystems are characterized by low diversity and low abundance of species of plants and animals when compared with temperate ecosystems of central Chile. These features are a consequence of severe abiotic conditions prevalent at high andean elevations and geological history. Nevertheless, human populations have a long history of rational use of the natural resources of this area.

New technologies and increased pressures for use of the natural resources arising from lowland human settlements, are factors of ecological perturbation. Adverse consequences are difficult to predict and must be considered in the planification and development of the area. Inherent fragility of these ecosystems, require the proposal of areas of conservation with well defined management practices including due consideration of traditional use of natural resources.

En esta presentación examinaremos algunas de las condiciones bióticas y climáticas existentes sobre 3.000 m.s.n.m. en los Andes del Norte de Chile. Los resultados corresponden en parte importante a trabajos realizados en el Proyecto MAB-6 - UNEP-UNESCO 1105-01, en el que participaron un grupo numeroso de investigadores de la Universidad de Chile. El trabajo de este proyecto está contenido principalmente en publicaciones que estructuran dos volúmenes de síntesis editados por UNESCO-ROSTLAC - Montevideo, 1982.

En este ambiente de altura existen variables climáticas que determinan severas restricciones a la diversidad de especies de plantas y animales representada, así como a sus patrones de distribución espacial. Las bajas temperaturas y el déficit hídrico también imponen severas condiciones a la población humana. Los habitantes de la región constituyen un grupo de alrededor de 4.000 personas aymara-hablantes, los cuales practican la agricultura en la vertiente occidental entre los 3.000 y 3.600 m. A mayor altitud en el altiplano hay también pequeños pueblos, pero sus habitantes viven principalmente del pastoreo de camélidos.

Recientemente el problema de la conservación de los recursos naturales en la región ha tomado actualidad, debido a la realización de obras de ingeniería en el altiplano de la Provincia de Parinacota, destinadas a extraer agua tanto del lago Chungará (4.517 m) como de la laguna Cotacotani (4.500 m). A través de estas obras se quiere utilizar estas aguas para regadío del valle de Azapa y suplementar los recursos de energía eléctrica y de agua potable de la ciudad de Arica, ubicada a nivel del mar.

Lo que está en discusión es la necesidad de definir sobre bases objetivas, producto de investigaciones interdisciplinarias, el impacto de esta actividad antrópica sobre la vegetación, la fauna y la utilización de los recursos naturales por parte de la población local.

Area de estudio

El área de estudio corresponde a una sección transversal de territorio de los Andes Centrales, entre 3.000 m. y 5.200 m., en la latitud 18°21'S., en territorio chileno, próximo al límite con Perú y Bolivia. Las observaciones de terreno estu-

vieron principalmente centradas en el Parque Nacional Lauca, durante los años 1979 a 1981, en la actualidad parte de la Reserva de la Biosfera Lauca entre los 17°56' - 18°72' L.S. y los 69°40' y 68°64' Long. W.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio corresponde a la Cordillera Occidental de los Andes, caracterizada por una abrupta pendiente y el Altiplano, el cual alcanza una altura promedio de 4.200 m y se extiende entre las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes.

En el Altiplano, al nororiente de la Provincia de Parinacota, próximos al límite con Bolivia, formando parte de la Reserva de la Biosfera Lauca, se sitúan el lago Chungará (400 millones de m³) y la laguna Cotacotani (30 a 40 millones de m³). Esta última pertenece a la hoya hidrográfica del río Lauca, que tiene su origen en la Ciénaga de Parinacota (4.350 m) y desemboca en el Salar de Coipasa en Bolivia. El lago Chungará es una cuenca endorreica cuyos aportes superficiales son el río Chungará, las vertientes Ajata y Malpaso y el estero Sopocalane. La salida de agua de este lago se produce por evaporación y por filtraciones subterráneas (Edwards y Karzulovic, 1981).

Clima

El clima de la zona de estudio está afectado por las fluctuaciones de la zona de convergencia intertropical, lo cual produce una distribución típica de la lluvia en la región, de carácter monomodal (Frere y col., 1978).

El máximo de precipitación se produce durante el verano, siendo, en promedio, menos de 500 mm anuales. Las lluvias están en correspondencia con el período de mejor eficiencia térmica (Di Castri y Hajek, 1976), lo cual es biológicamente importante para los cultivos de la vertiente occidental y para la productividad de la vegetación utilizable en pastoreo en el altiplano.

Entre los factores más importantes que restringen la productividad biológica están las heladas, que se originan por enfriamiento local del aire sobre el suelo por

debajo de 0°C y es el factor responsable de alrededor del 80% de la producción de heladas. Otra clase de "helada", llamada "helada negra", producida por la penetración de masas de aire frío del sur es menos frecuente, pero, generalmente, tiene efectos más intensos y de duración más prolongada.

El déficit anual de precipitación, en particular en la vertiente occidental, donde se practica la agricultura, aumenta por la acción de pantalla de las montañas en la circulación del aire. La aridez en la vertiente occidental aumenta hacia el sur alcanzando su máximo alrededor de los 23°S, produciendo al nivel de la vegetación una compactación de la zona andina (Villagrán, 1983).

Vegetación y fauna de vertebrados

La flora andina estudiada se compone de alrededor de 200 plantas vasculares, recolectadas entre 3.000 y 5.000 m, y corresponde a los pisos puneño y alto andino (Ruthsatz, 1977; Villagrán, 1982).

La distribución de abundancia de las formas de crecimiento de la vegetación define dos grandes complejos de formaciones vegetacionales, el "tolar", caracterizado por una gran riqueza de arbustos siempreverdes, entre los 3.000 y 4.000 m, y el "pajonal", cuya fisionomía está determinada por gramíneas perennes de crecimiento en champa entre los 4.000 y 5.000 m. Donde las gramíneas en champa están asociadas a especies en cojín.

Conjuntamente con el pajonal, en el piso superior de la vegetación existen formaciones intrazonales de pequeños bosques discontinuos de *Polylepis tarapacana* (Rosaceae) y agrupaciones de *Azorella compacta* y, principalmente, las vegas altoandinas o "bofedales". Estas últimas formaciones constituyen ecosistemas complejos, que se ubican generalmente en la región cabecera de cuenca y son originadas por particulares condiciones microclimáticas y del suelo que permiten el afloramiento de aguas provenientes de las nieves permanentes y de la estrecha asociación de estas formaciones con los lagos y lagunas de la región.

Las formaciones primarias y secundarias de vegetación dan al Altiplano y en general a la región de la puna, al menos en su límite suroeste, una fisionomía de mosaico, que es una de sus características más importantes.

La cobertura total de la vegetación generalmente no excede 60% y alcanza un máximo entre el tolar y el pajonal. El número de especies de plantas vasculares aumenta con la altura y alcanza un máximo a los 3.400 m, en áreas de fuerte pendiente, observándose un número considerablemente menor de especies en las zonas de planicie (4.200 m). Sin embargo, es interesante considerar que la diversidad de especies vuelve nuevamente a aumentar en los faldeos de los volcanes que emergen en el Altiplano.

Entre los factores que determinan los cambios de cobertura y fluctuaciones areales de la vegetación está la proximidad del desierto, cuyo establecimiento determina el límite inferior de la vegetación. Sin embargo, las tendencias a mayor altitud son más complejas. La temperatura es posiblemente un factor limitante climático de gran importancia, por otro lado, la utilización de la vegetación por los habitantes de la región con fines de pastoreo o como combustible también tiene un rol importante.

La influencia de las bajas temperaturas queda en evidencia en el piso altoandino, por la predominancia de gramíneas en champa y principalmente por plantas de cojín en relación a los arbustos leñosos representados.

De acuerdo con el conocimiento actual, es posible que la distribución latitudinal de las especies del tolar no corresponda con los límites geológicos del Altiplano (27°S). En la vertiente occidental, la distribución de numerosas especies de la puna no se extiende más allá de los 23°S. Esta situación estaría determinada por las condiciones extremas de aridez que prevalecen en la región (Villagrán, 1983).

Las especies de los bofedales tienen una gran extensión latitudinal en los Andes, lo cual puede explicarse por la estabilidad relativa de las condiciones

microclimáticas y edafológicas que dan origen a los bofedales, así como los mecanismos eficientes de dispersión de sus elementos constituyentes (Kalin, 1981).

Las especies de vertebrados que se distribuyen tanto en el Altiplano como en la vertiente occidental son menos abundantes de lo que podría esperarse en relación con el tamaño del área que parecen ocupar (Spotorno y Veloso, 1983). En total hay alrededor de 91 especies de aves, 46 especies de mamíferos, 7 especies de lagartijas, 7 especies de anfibios y 5 especies de peces.

Las especies de peces están representadas tanto en los sistemas lóticos como lénticos del Altiplano y constituyen una muestra reducida de la fauna íctica del Altiplano, tomada en su conjunto. La presencia de estos peces, observados en las aguas superficiales, destaca la importancia de los lagos y lagunas, así como la mantención de la integridad de los bofedales y comunidades litorales marginales que ahí se desarrollan.

Desde un punto de vista taxonómico el endemismo de estos peces es notable y posiblemente esté asociado a la naturaleza endorreica de la mayoría de los sistemas hidrográficos donde estos peces fueron recolectados (Arratia, 1982).

Tanto los herpetozoos como los roedores tienden a ser grupos más diversificados en la vertiente occidental que en el Altiplano. El endemismo también es mayor entre los herpetozoos de esta área. Estas tendencias están en correspondencia con la cobertura total de la vegetación y la diversidad de especies de plantas vasculares.

La topografía irregular de la región produce una condición de mosaico, lo cual favorece el aislamiento, la divergencia y eventualmente la especiación. Las preferencias ecológicas y distribucionales de los herpetozoos muestran que las especies de anfibios están restringidas a los bofedales y esteros, mientras que las lagartijas se encuentran asociadas, ya sea a la vegetación arbustiva o al pajonal. Para las especies de anfibios una severa limitación a su distribución está impuesta por la discontinuidad de los bofedales y su dependencia del agua para la reproduc-

ción. Esto no ocurre con los reptiles, todos ellos terrestres y vivíparos, para los cuales las restricciones al poblamiento estarían determinadas por las disponibilidades de alimento que encuentran en las distintas formaciones vegetacionales (Veloso *et al.*, 1982).

En su estudio de aves de la puna, Vuillemier y Simberloff (1980) encuentran una correlación significativa entre el número de especies y número de biotopos, estimados a partir de un conocimiento de la ecología de las diferentes especies de aves. Pearson y Ralph (1981) también determinan una alta correlación entre el número de aves, diversidad de la vegetación y cobertura de la vegetación, lo que no se encuentra en relación a las especies de mamíferos.

Para explicar el significado evolutivo del bajo número de especies que se encuentran en el Altiplano, podría considerarse que la probabilidad de extinción de especies es inversamente proporcional al grado de condiciones ambientales favorables a las que las especies están sometidas. Un ambiente altamente favorable se caracteriza por una alta temperatura promedio anual (23^o-28^o) y una extensión térmica hacia temperaturas inferiores que no supera los 10^oC, precipitaciones abundantes y lluvias durante todo el año (Cracraft, J., 1982). Las condiciones que prevalecen en el Altiplano son las opuestas, y sugieren que en esta región la tasa de extinción de especies y la tasa de especiación son altas (Spotorno y Veloso, 1983).

La población humana

La población humana que se localiza en la zona de estudio consiste en alrededor de 4.000 personas aymara-hablantes, que viven en relativo aislamiento de centros urbanos importantes. En estas condiciones se encuentran estrechamente asociadas a su ambiente natural para poder subsistir. Así, la percepción del ambiente en términos de utilización potencial o efectiva de los recursos naturales es muy elevada. Estas personas utilizan alrededor de un 50% de las plantas vasculares, con fines

de pastoreo, prácticas médicas o rituales, y como alimento.

En el Altiplano, el bofedal es el centro de la actividad de pastoreo. Por su condición de fuente principal de recursos para el ganado camélido, su composición de plantas es bien conocida por los aymara. El pastoreo de camélidos requiere la explotación y el uso alternado de las diferentes formaciones vegetacionales a lo largo del año, probablemente esta es la razón por qué la composición florística del tolar y del pajonal son bien conocidas (Castro y col., 1982).

El hombre andino ha tenido éxito tanto en la domesticación de animales así como en el cultivo de numerosas plantas. Sin embargo, las condiciones extremadamente rigurosas del Altiplano no son compatibles con la agricultura, por esto la población altiplánica se concentra como actividad principal en el pastoreo de alpacas y llamas.

A menor altitud en la vertiente occidental, por debajo de 3.600 m existe agricultura. Los cultivos consisten tanto en plantas nativas como cultivo introducidos, a partir de la llegada de los españoles a la región. Los campos de cultivos en terrazas están ubicados en quebradas de la precordillera, próximos a poblados tales como Putre, Zapahuirá o Socoroma (sobre 3.000 m), y consisten en cultivos de diversas variedades de papas, alfalfa, orégano y maíz como principales rubros.

La dieta básica de la población de la región consiste principalmente de carne de llama, diversas variedades de papa y maíz. Los pobladores del Altiplano obtienen productos agrícolas a través de un sistema de intercambio tradicional con pobladores de otros pisos altitudinales, o mediante compra de productos en las zonas bajas o incluso de los países vecinos, estableciendo un sistema de complementariedad (Castro *et al.*, 1982).

Comentarios relacionados con la conservación de recursos naturales

El problema más importante que enfrenta la utilización de los recursos naturales

en los ecosistemas en estudio deriva de la excesiva presión de uso sobre estos ecosistemas, lo cual es previsible que conduzca a deterioros irreversibles.

En un intento de carácter preliminar para incidir en este problema, los resultados de las diversas investigaciones pueden ser de utilidad en la elaboración de recomendaciones de manejo de recursos.

Para ello, a partir del conocimiento básico de la estructura de estos ecosistemas, de los componentes de la vegetación, fauna y población humana, su diversidad y localización en el área de estudios es posible señalar lo que sigue a continuación:

Los estudios de la vegetación muestran que diferentes formaciones son posibles de reconocer, tanto en la vertiente occidental de los Andes como en el Altiplano. En las prácticas de manejo de cualquiera de estas formaciones es necesario considerar sus particularidades florísticas, los endemismos representados y la fauna asociada a estas formaciones. Tanto el tolar como el pajonal son cinturones continuos de vegetación, sin embargo el bofedal está restringido a determinados lugares. En una primera aproximación, pareciera ser que las prácticas de manejo debieran ser diferentes para formaciones continuas que para discontinuas. El bofedal, por su característica de área reducida y por constituir un área de captación primaria de agua, así como lugar de pastoreo del ganado camélido, debería tener prioridad para propósitos de conservación.

Especial atención requieren los lagos de la región, representados por la laguna Cotacotani y el lago Chungará, por su rica y diversificada fauna de aves acuáticas y por las comunidades ícticas que las habitan y que constituyen un recurso potencial. La eventual utilización de sus aguas en función de los requerimientos hídricos de los pisos altitudinales inferiores, requiere que como fase previa se realice un detallado estudio de impacto sobre la vegetación, fauna y población humana locales. La prevención en la utilización de estos depósitos naturales de agua no debería, sin embargo, obedecer a un planteamiento conservacionista a ultranza, si es posible demostrar que

efectivamente las demandas por estos recursos hídricos derivan de necesidades reales de la población humana.

Las sugerencias anotadas constituyen aproximaciones aún insuficientes para dar cuenta de los numerosos problemas de manejo que se presentan con los recursos naturales del Altiplano y demás pisos altitudinales. La aproximación realizada no consideró el rol modificador de la actividad humana en los sistemas naturales, para lo cual se requiere de un marco teórico de referencia, en el que se integren la teoría ecológica con la actividad humana.

Corresponde a los científicos que participan en investigaciones con esta orientación aportar con un marco conceptual, en el cual interacciones del hombre con los recursos naturales puedan quedar mejor explicadas.

CONCLUSIONES

Es tal vez apropiado concluir a partir de los resultados de las investigaciones realizadas hasta la fecha, que si bien se ha mejorado en base a descripciones, el conocimiento de los ecosistemas andinos representados en el área de estudios y se muestran avances en la caracterización de las poblaciones humanas locales y el uso tradicional de los recursos de la región, la información de que disponemos es susceptible de ser mejorada. Esto, posiblemente, pueda lograrse a través de futuros proyectos que permitan acceder a la comprensión de estos ecosistemas de un modo más integrado, con una metodología que permita incidir en acciones de desarrollo de estas regiones marginales y en la conservación del patrimonio natural y cultural que en ellas está representado.

AGRADECIMIENTOS

A José Valencia y Patricia Iturra del Equipo MAB-6, por sus valiosas sugerencias y críticas a este manuscrito.

REFERENCIAS

- ARRATIA, G. (1982) En *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Vol. I. La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y el lago Chungará (Velo, A.; Bustos, E.; Eds.). ROSTLAC, Montevideo, pp. 93-133.

- CASTRO, M. (1982) En *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Vol II. Las Poblaciones Humanas del Altiplano Chileno: Aspectos genéticos, reproductivos y socioculturales (Veloso, A.; Bustos, E., Eds.). ROSTLAC, Montevideo, pp. 133-205.
- CRACRAFT, J. (1982) A non equilibrium theory for the rate control of speciation and extinction and the origin of macroevolutionary patterns. *Syst. Zool.* 31: 384-365.
- DI CASTRI, F. y HAJEK, E. (1976) *Bioclimatología de Chile*. Imprenta Universidad Católica.
- EDWARDS, R. y KARZULOVIC, I. (1981). En *Plan maestro de acción inmediata para el sistema de riego del Valle de Azapa*. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Riego.
- FRERE, M.; RIJKS, J. y REA, J. (1978) En *Estudio agroclimatológico de la Zona Andina*. Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- KALIN, M.; VILLAGRAN, C.; MARTICORENA, C. y ARMESTO, J. (1982). En *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Vol. I. La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y el lago Chungará (Veloso, A. y Bustos, E., Eds.). ROSTLAC. Montevideo, pp. 71-92.
- PEARSON, O.P. y RALPH, C.P. (1978) The diversity and abundance of vertebrates along an altitudinal gradient in Perú. *Mem. Mus. Hist. Nat. Javier Prado* 18: 1-97.
- RUTHSATZ, B. (1977) Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest Argentiniens. *Diss. Botanicae* 39: 1-168.
- SPOTORNO, A. y VELOSO, A. (1987) En *The Aymara. A people and its adaptation to a rigorous environment* (Schull, W. y Rothhammer, F. Eds.). The University of Texas Press. En prensa.
- VELOSO, A.; SALLABERRY, M.; NAVARRO, J.; ITURRA, P.; VALENCIA, J.; PENNA, M. y DIAZ, N. (1982) En *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Vol I. La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y el lago Chungará (Veloso, A. y Bustos, E. Eds.). ROSTLAC, Montevideo, 135-268.
- VILLAGRAN, C.; KALIN, M. y ARMESTO, J. (1982). En *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile*. Vol. I. La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y el lago Chungará (Veloso, A. y Bustos, E., Eds.). 13-69.
- VILLAGRAN, C.; KALIN, M. y MARTICORENA, C. (1983) Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Rev. Chilena, Hist. Nat.* 56: 137-157.
- VUILLEMIER, F. and SIMBERLOFF, P. (1980) Ecology versus history as determinant of patchy and insular distribution in high andean birds. *Evolutionary Biol.* 12: 235-279.