

ANTECEDENTES GEBOTÁNICOS DE UNA CUENCA ANDINA DE CHILE CENTRAL

V. QUINTANILLA PÉREZ

Departamento de Ingeniería Geográfica. Universidad de Santiago de Chile.

ABSTRACT.— *Like any other mountain ecosystem, the Andes Mountains show an outstanding phytoecological specificity. This is because of the influence of ecological conditions, as well as the presence of special vegetation groups. These groups of plants show a well defined structure and functionality, arising from the adaptation of biological behaviour to the regional altitude. Nevertheless, despite the rigorous climatic conditions, plants do have access to water supplies. A latitudinal vegetation distribution is proposed, based on three vegetation belts: montane, subandine and andine. A remarkable similarity can be noticed between the montane plant communities and those corresponding to the central lower valleys. In addition, the influence of geomorphological processes on plant life and its distribution is presented. Finally, a case study in the highlands of the Andes, Santiago de Chile, is discussed.*

RÉSUMÉ.— *Comme tous les systèmes de montagne du monde, les Andes du Chili Central présentent une identité phytoécologique, qui se manifeste par l'action des conditions écologiques très particulières et par la présence de groupements végétaux qui montrent une individualité par rapport à ces caractères structurels et fonctionnels, résultant de l'adaptation des plantes aux effets de l'altitude, avec des conditions climatiques difficiles, mais pourtant avec la possibilité de profiter des réserves du sol en eau. Dans ces montagnes on a établi une zonation en altitude, et on peut distinguer trois étages: montagnard, subandin et andin. Les seuils altimétriques des étages changent selon les versants, mais tous présentent une certaine richesse d'espèces endémiques. Cependant on remarque les ressemblances floristiques de l'étage montagnard avec les vallées centrales du pays. On présente aussi un aperçu des effets de la dynamique agressive des processus géomorphologiques de montagne sur la vie des plantes, avec une étude de cas dans les Hautes Andes, près de la ville de Santiago du Chili.*

RESUMEN.— *Como todos los ecosistemas de montaña, los Andes de Chile presentan una especificidad fitoecológica importante, que se expresa por la acción de condiciones ecológicas muy particulares y por la presencia de comunidades vegetales*

que se individualizan por sus caracteres estructurales y funcionales. Estos caracteres son el resultado de una adecuación entre las características biológicas de las plantas sometidas a los efectos de la altitud (largo periodo frío), pero que también se benefician de ciertas reservas de agua a pesar del rigor de las condiciones climáticas. Se establece una zonación altitudinal de la vegetación, determinándose tres pisos vegetales, montano, subandino y andino, resaltándose la similitud florística de las comunidades vegetales del piso montano inferior con las de los valles centrales del país. También se aportan datos sobre los procesos geomorfológicos de montaña, que afectan a la vida y a la distribución de las plantas de estos ambientes. Se presenta un estudio de un caso concreto en la Cordillera Andina, cerca de Santiago de Chile.

Key-words: Andes, Mountain Vegetation, Geomorphology, Plant Ecology.

1. Introducción

La Cordillera Andina de Chile central se localiza en un área de características climáticas mediterráneas, consideradas éstas en sentido amplio. Destacamos entre ellas las siguientes:

En las cumbres por encima de los 5000 m domina un régimen glacial, y por debajo de esta altitud un sistema periglacial. Este régimen se define por procesos que se activan por oscilaciones térmicas en torno a 0 °C. El límite inferior del sistema periglacial oscila entre los 3900 y 3000 metros, variando de norte a sur de acuerdo con las diferencias de latitud y de altitud en las cumbres. En general la Cordillera Andina desciende en altitud de N a S del país.

El régimen mediterráneo de los Andes centrales chilenos se caracteriza por dos estaciones bien definidas y opuestas: invierno frío, con precipitaciones nivales y en parte pluviales, y verano cálido y seco.

Como consecuencia de lo anterior, en la estación seca hay una relativa mortalidad de la vegetación, con activación de procesos mecánicos y muy enérgicos de meteorización. En cambio en la estación invernal hay precipitaciones en forma de nieve que cubren tanto las cumbres como las laderas, depositándose sobre estos materiales previamente atacados por la intemperie. Esto es una diferencia importante con regiones que tienen suelos perpetuamente helados, ya sean de tipo *pergelisol* o permafrost. Estos ciclos de mayor o menor humedad no están bien establecidos, y su conocimiento es importante como factor de un sistema preventivo para laderas inestables. Los periodos secos, según su duración, pueden provocar una alta mortalidad vegetal, y por tanto una fragmentación muy fuerte en las formaciones superficiales que quedan al descubierto. En cambio, los periodos húmedos o ciclos de años lluviosos o nivosos facilitan una escorrentía regular, con arroyadas frecuentes.

Como otras muchas cordilleras, las montañas mediterráneas de los Andes presentan una estructura geológica basada en plegamientos, con capas o estratos con buzamientos de diferente inclinación. En este caso la mayor parte de los valles de los ríos principales son valles anticlinales, en tanto que la mayoría de los afluentes son sinclinales. Este hecho estructural genera dos tipos de laderas, unas conformes con la pendiente estructural y otras no conformes (SMITH, 1996; BOLDT, 1985).

El volcanismo cuaternario ha cubierto las cordilleras de Chile central con abundantes capas de cenizas volcánicas. Estas cenizas se depositaron sobre el relieve preexistente, resultando muy inestables en los sectores de fuertes pendientes (BORGEL, 1993).

Los Andes próximos a la ciudad de Santiago conforman una red intrincada de altas cuencas orográficas cuya dinámica actual ejerce una gran influencia sobre la ciudad, por el aumento de riesgo que representa el avance de la urbanización hacia áreas cada vez más cercanas a la cordillera. Desde cumbres superiores a los 5000 metros desciende una red hidrográfica diversificada, en cuyos valles se concentran los asentamientos humanos y los espacios agrícolas e industriales. Estas cuencas, principalmente las formadas por los ríos Mapocho y Maipo, son las que desde hace cuatro siglos y medio han ido influyendo fuertemente sobre el espacio geográfico de la capital de Chile. Actualmente la ocupación del suelo por la expansión urbana ha sobrepasado la cota de los 1000 metros en la precordillera.

En las pendientes situadas por debajo de los 1200 metros la vegetación se desarrolla muy alterada, mientras que en las partes superiores de las subcuencas existen plantas adaptadas a las condiciones de altitud, aunque también se pueden hallar especies introducidas. El objetivo de este trabajo es caracterizar la distribución altitudinal de las franjas de vegetación que se observan en los Andes de Santiago y destacar algunas características e influencias de los procesos geomorfológicos de montaña en estos ambientes.

2. Área de estudio

En este trabajo se presenta la zonación altitudinal de los pisos de vegetación que se encuentran en la cuenca superior del río Mapocho, integrada en la cuenca hidrográfica del río Maipo, principal sistema fluvial de la región metropolitana de Santiago de Chile. El escalonamiento altitudinal de la vegetación se ve seriamente afectado, durante gran parte del año, por el efecto de los procesos geomorfológicos de montaña.

La cuenca del río Mapocho se localiza aproximadamente entre los 33° y 34° sur y entre los 70° y 71° 45' oeste. Está limitada al norte por el Cordón de

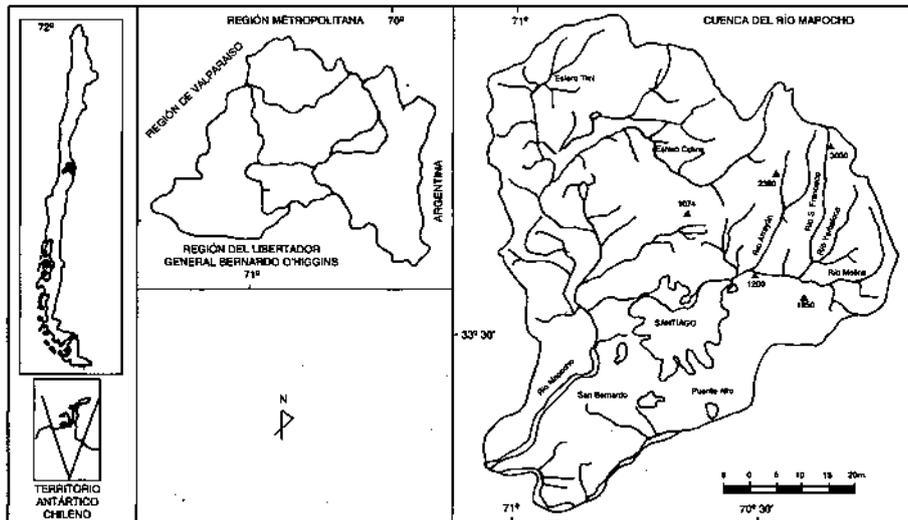


Figura 1. Plano de situación del área de estudio.

Chacabuco, al este por la Cordillera de los Andes, y al sur por la cuenca del río Maipo, del cual es su afluente más caudaloso (Figura 1).

El área estudiada corresponde a la región de suelos con materiales volcánicos más septentrional de la cuenca del río Maipo, situada en el sector oriental de la Región Metropolitana de Santiago, en altitudes que varían entre los 1000 y los 5800 metros. A lo largo de este gradiente altitudinal se localiza el curso superior del río Mapocho, principal afluente que recibe el Maipo por el norte.

En toda la cuenca del Mapocho se individualizan cuatro importantes subcuencas:

- Entre los 880 y los 3000 metros se sitúan las subcuencas de los Esteros Arrayán y Ortiga, con una orientación norte-sur, constituyendo el primer gran subsistema aguas arriba de la hoya superior del río Mapocho.
- A continuación, hacia oriente y con la misma orientación global encontramos la subcuenca del río San Francisco, la cual, con numerosos afluentes secundarios desciende desde unos 3500 metros para unirse al Mapocho a unos 1300 m.s.n.m.
- Continuando hacia el este nos encontramos con la subcuenca del Estero Yerba Loca, que nace a 4150 metros en el glaciar La Paloma, y siguiendo en dirección norte-sur, se une al río San Francisco a unos 1440 metros.
- Finalmente, por la vertiente sur el alto Mapocho recibe al río Molina, que desciende desde unos 4000 metros para conectarse a 1180 metros, a través de otros afluentes, con el río Mapocho.

Actualmente la cuenca media del río Arrayán, y antes de su unión a 880 metros con el Mapocho, ha sido incorporada al paisaje urbano, lo cual ha ocasionado transformaciones importantes en su medio natural.

De acuerdo con ARAYA (1985) la cuenca del río Mapocho presenta cuatro ambientes morfológicos: cordillera principal o alta montaña, cordón transversal de montaña media, cordillera de la costa y depresión intermontana. La cordillera principal presentaría dos tipos de regiones estructurales: cadena plegada y meseta (*plateau*). Las dos corresponden a una región estructural mucho mayor conformada por una cobertera de depósitos volcánicos.

Se trata de montañas de relieve joven, coronadas por algunos volcanes extinguidos o activos, con cimas que aumentan progresivamente de oeste a este. Sin embargo, en la alta cordillera del Mapocho la presencia de volcanes es casi nula.

Según THIELE (1980) el territorio está constituido fundamentalmente por rocas estratificadas volcánicas y por rocas sedimentarias, marinas y continentales, profusamente atravesadas por filones, lacolitos, chimeneas volcánicas, *stocks* y batolitos. Los diferentes elementos estructurales configuran una tectónica de fuerte plegamiento y mantos de corrimiento principales dirigidos hacia el oeste. Como el resto de la Cordillera de Santiago, esta área está ocupada por un conjunto de rocas con espesor comprendido entre los 10000 y los 12000 metros y cuya edad va desde el Jurásico Superior al Cuaternario.

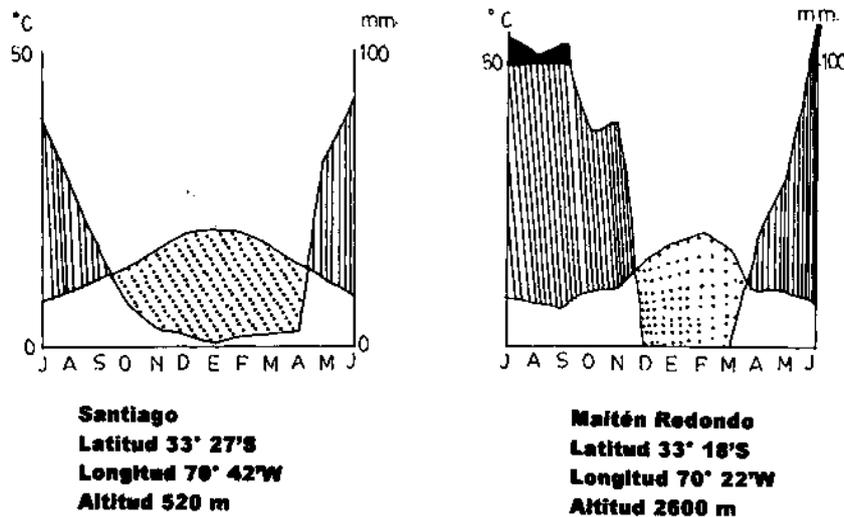


Figura 2. Diagramas ombrotérmicos (P=2T)

Respecto a las características del clima, aunque no existen suficientes estaciones de alta montaña para caracterizar bien el clima de altitud, nos apoyamos en algunos valores de registros suministrados por dos estaciones próximas al área. La estación de Santiago está situada a 520 metros y la de Maitén Redondo a 2600 metros, aunque esta última no posee registros muy largos. A partir de dicha información, en la Figura 2 se representan los correspondientes climodiagramas, en los que resalta, por ejemplo, la reducción del periodo biológicamente seco con la altitud, lo que incide también en el carácter menos xerófito de las plantas en los pisos vegetales superiores. En cuanto al periodo de diapausa vegetativa, según BORDE (1966) aumenta de 60 días a los 700 metros, hasta 180 días a los 3000 metros en el sector sur del río Mapocho, en tanto que en el sector norte la variación es de 100 a 180 días para las mismas altitudes.

Con respecto a las temperaturas, en la estación de Santiago la temperatura media anual es de 13.9 °C, y la del mes más frío (Julio) es de 7.7 °C. En Maitén Redondo, en cambio, el valor medio del mes más frío es de 4.2 °C. En cuanto a la precipitación, la estación de Santiago registra 313 mm anuales, mientras que en Maitén Redondo el valor medio es de 991.4 mm.

A su vez la circulación atmosférica se encuentra afectada por el intrincado relieve de la cuenca, la cual es tanto generadora como receptora de un régimen de brisas que oscilan, por debajo de los 1000 metros de altitud, entre 6.5 y 13.9 km/h en dirección de sur a norte. Estas velocidades pueden ser localmente más altas debido al efecto Venturi inducido por los estrechamientos topográficos del valle.

3. Materiales y métodos

La primera fase del trabajo consistió en un análisis de la cartografía topográfica. Se efectuó sobre mapas a escalas 1:50,000 y 1:25,000 del Instituto Geográfico Militar de Chile, con las cuales se delimitó el área de estudio, se obtuvo información altimétrica, la superficie total de la cuenca, las pendientes generales, las rupturas de pendiente más importantes, los diagramas y perfiles altitudinales para localizar posteriormente la distribución de las plantas dominantes.

Otra parte del trabajo consistió en estudiar diferentes variables en fuentes cartográficas existentes. Así, para el estudio de la vegetación se analizaron los mapas de vegetación de QUINTANILLA (1980 y 1994), a partir de los cuales se levantaron los perfiles fitogeográficos levantados en el campo en diferentes vertientes de la cuenca. Con respecto a la caracterización geomorfológica se efectuaron análisis comparativos e interpretaciones de los respectivos mapas de ARAYA (1985), FERRANDO (1991) y el estudio de BORDE (1966).

Las técnicas se apoyaron en el análisis de fotogramas aéreos e imágenes de satélite. Para la fotointerpretación se emplearon los vuelos HYCON a 1:70,000 (1955), SAF a 1:40,000 (1984) y FONDEF a 1:30,000 (1996). A partir de las fotos aéreas se elaboraron hipótesis de trabajo y se pudo extraer la información geomorfológica de la cuenca, detectar los límites de las riberas en los cursos de agua, individualizar sectores sometidos a procesos geomorfológicos, localizar la presencia de comunidades vegetales y visualizar cambios en la distribución espacial de éstas a través del tiempo.

Respecto a las imágenes de satélite utilizadas se emplearon dos escenas, una de verano y otra de invierno, correspondientes a productos del Thematic Mapper de Landsat de 1987 para analizar la distribución de la cubierta vegetal y los procesos morfodinámicos de montaña. El estudio de este material, junto al de las fotos aéreas, ayudó también a definir los límites de los pisos de vegetación, base de la carta geobotánica del área.

Las campañas sobre el terreno se efectuaron regularmente durante seis meses en el año 1997, y durante cuatro meses en el año 1998, en las cuencas de los ríos El Arrayán, Ortiga y Yerba Loca, y en sectores de los ríos San Francisco y Molina. Para el análisis de la cobertura y distribución de la vegetación se efectuaron 62 inventarios fitosociológicos en puntos de ensayo, siguiendo la metodología de BRAUN-BLANQUET (1979) modificada. Los muestreos de vegetación se realizaron en parcelas de 40 m² para las laderas del piso montano, de 30 m² para las del piso subandino y de 20 m² para las del piso andino.

Llevamos a cabo 43 encuestas a habitantes de la montaña en el alto Mapocho, con objeto de detectar el papel de las actividades humanas en el área de estudio.

Para identificar los procesos se consideraron principalmente parámetros cualitativos, como por ejemplo aquellos que influyen en las características hidromorfológicas que actúan en la degradación de las formas de relieve y en su vulnerabilidad. También se hicieron mediciones de distancia de desplazamiento del material en un periodo de dos años, así como del diámetro de los bloques desplazados.

Para localizar e identificar las zonas de vida en montaña se utilizó el criterio de los pisos ecológicos (MUÑOZ *et al.*, 2000), atendiendo a los cambios de las condiciones ecológicas que se suceden en altitud y que, por efectos asociados, provocan modificaciones en la estructura y distribución de las comunidades de plantas. Los pisos identificados poseen rangos altimétricos diferentes en las laderas de las subcuencas de la hoya del alto Mapocho, y reciben insolación muy variada, según su orientación.

La síntesis final de los resultados del análisis temporal y espacial de la cuenca se plasmará en un mapa temático en color a escala 1:50,000.

4. Resultados y discusión

La distribución altitudinal de la vegetación (Figura 3)

Actualmente la cuenca superior del río Mapocho está muy alterada como producto de la acción antrópica que se inició ya a principios del siglo XIX. En consecuencia, la vegetación actual se presenta como un resto de las comunidades vegetales que poseían mayor recubrimiento y menos especies introducidas. Por otra parte, los impactos de la acción mecánica de los procesos de montaña también comportan algunas modificaciones en el tapiz vegetal.

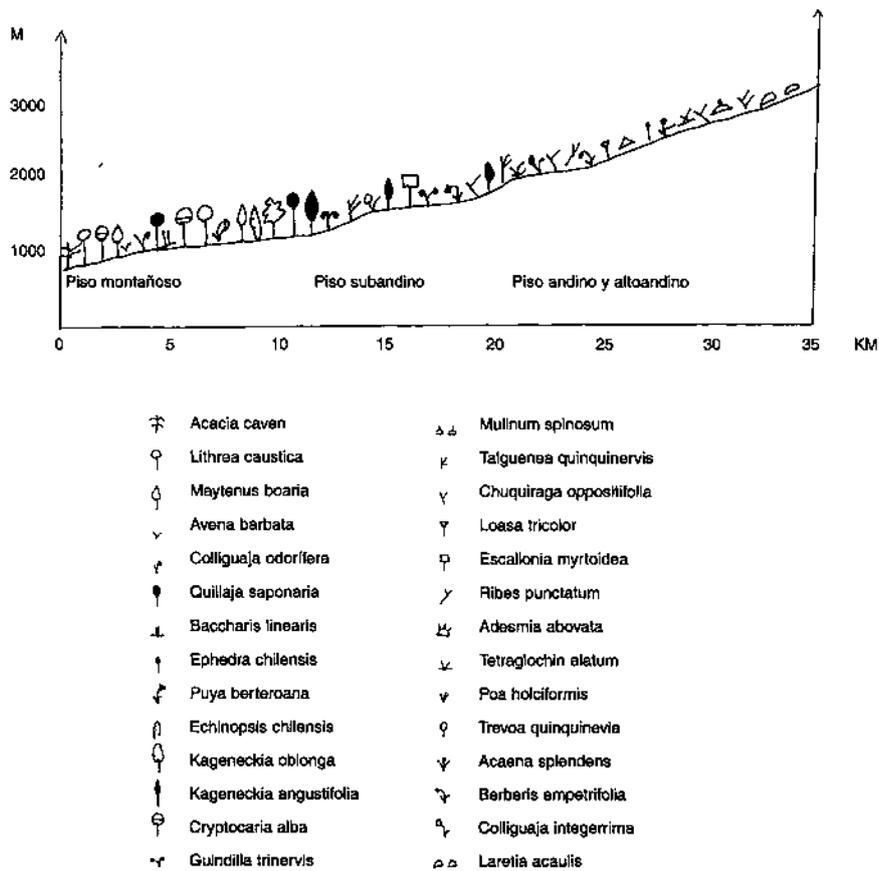


Figura 3. Perfil de la vegetación en una subcuenca del río Mapocho.

Considerando fundamentalmente los cambios en la estructura y composición florística de las comunidades de plantas, hemos identificado cuatro pisos de vegetación en la cuenca del río Mapocho: submontano, montano, subandino y andino. En cada uno de ellos pueden definirse subpisos, según la especificidad local de la flora.

Actualmente el piso submontano se inicia alrededor de los 900 m, con predominio de la formación vegetal del matorral esclerófilo, con abundante estrato herbáceo y con plantas introducidas. Es un ambiente muy intervenido, y sólo en algunos sectores y quebradas situados en la umbría se pueden encontrar especies de bosque esclerófilo. Se denomina este piso como submontano por presentar una fuerte degradación y un predominio estructural del matorral. Por encima de los 1500 m, y conformando pequeños bosques, sólo dos especies arbóreas ocupan las laderas: se trata de *Lithrea caustica* y *Quillaja saponaria*, que identifican el piso montano propiamente dicho (Fig. 3).

Como la temperatura continúa descendiendo regularmente con la altitud, al tiempo que disminuyen las precipitaciones líquidas y el suelo se va haciendo más delgado, se observa una rarificación y empobrecimiento del matorral, mientras los árboles esclerófilos desaparecen hacia los 2000 metros. A esta altitud comienza a encontrarse el piso subandino, en el cual destacan dos pequeños árboles de la familia rosáceas, *Kageneckia oblonga* y, más arriba, *K. angustifolia*, que colonizan los terrenos pobres y las laderas soleadas de la precordillera andina.

Cerca de los cursos de agua y en las quebradas húmedas se localiza un pequeño árbol de hoja perenne, *Escalonia myrtoidea*, que en este hábitat cordillerano rara vez supera los tres metros de altura. En este piso alcanza el bosque la máxima altitud en los Andes de Santiago, situándose su límite superior a los 2000-2300 metros, precisamente donde desaparece *Kageneckia angustifolia*, que constituye una comunidad de transición entre el matorral esclerófilo y el matorral andino. Los valores de las pendientes en esta zona están comprendidos entre 25 y 30°.

El piso subandino posee sectores dispersos de comunidades vegetales con matorral bajo arbustivo (de 50 a 100 cm de alto), predominantemente espinoso y que muestra una amplia heterogeneidad según la exposición de las laderas, la pedregosidad del suelo, el drenaje y la pendiente. La cobertura de la vegetación presenta valores comprendidos entre el 20 y el 40%. Aquí es también importante la presencia de gramíneas. En el alto Mapocho esta agrupación puede alcanzar los 2700 m de altitud en la umbría y hasta 3000 m en la solana. Esta última altitud constituiría ya, para algunos autores, el nivel de comienzo del piso andino, donde la vegetación manifiesta generalmente una morfología pulvinular.

Se realizaron 15 transectos apoyados en inventarios de vegetación, tanto en zonas de solana como en zonas de umbría, en los que se identificaron 136

especies, o sea cerca del 20% de la flora vascular de la Región Metropolitana de Santiago. En cuanto al análisis de la distribución geográfica de las plantas, éste revela que los elementos andino-mediterráneos predominan en los pisos superiores, al igual que ocurre en la cuenca del río Maipo (MUÑOZ *et al.*, 2000).

Los pisos de vegetación y la acción de los procesos geodáficos de montaña (Figura 4)

Las observaciones de campo revelaron que no puede llevarse a cabo la caracterización fitogeográfica del alto Mapocho si no se relaciona la vegetación con los procesos geodáficos de la cordillera, ya que éstos influyen de manera intensa sobre el desarrollo, distribución y regeneración de las plantas. La exposición, la pendiente, la altitud y las condiciones meteorológicas locales de cada subcuenca determinan la presencia de una vegetación muy condicionada por el medio. La cobertura media de la vegetación tiende a disminuir a medida que se asciende en un transecto, desde el 90% a los 900 m hasta sólo el 5% a los 3400 m.

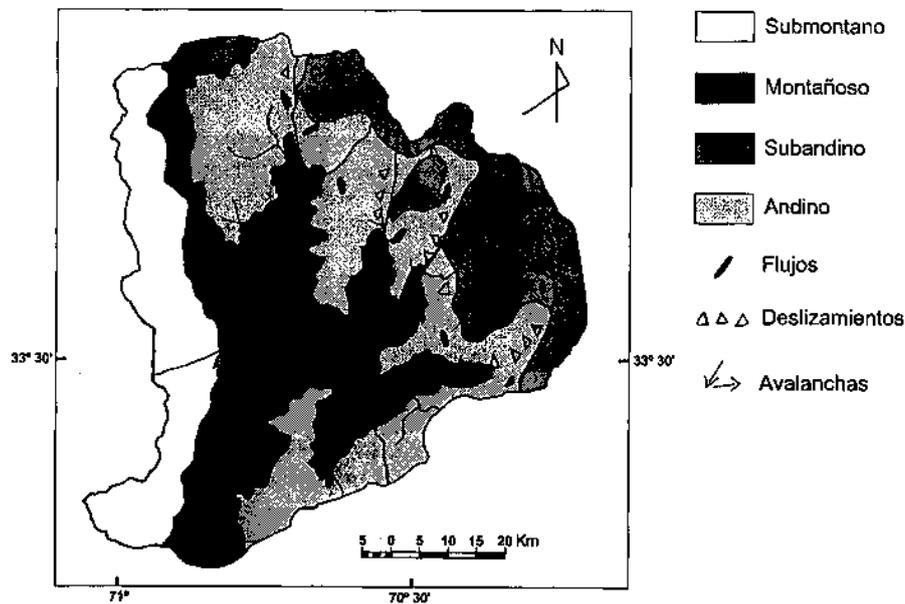


Figura 4. Pisos de vegetación y procesos de montaña.

Establecida la zonación, se comparó la distribución espacial de las distintas comunidades de plantas, se anotó la extensión del piso subandino para cada exposición y se observó el papel destructivo que los procesos geomórficos tienen sobre el suelo y la vegetación.

Esta cuenca se caracteriza por una escorrentía generalmente torrencial, y con respuestas violentas frente a las precipitaciones abundantes y a la fusión masiva de la cubierta nival, lo cual genera con frecuencia inundaciones de invierno en los valles de la llanura aluvial, afectando a veces de manera intensa a sectores urbanos de la metrópoli (WILLUMSEN, 1989)

En la cordillera europea de los Alpes el piso montano es el más rico desde el punto de vista florístico y de potencialidad forestal (OZENDA, 1983). En cambio, en los Andes de Chile central el bosque ha sido talado para diversificar los usos del suelo en las montañas, y por tanto el paisaje actualmente dominante en la mayor parte de los espacios es un matorral subarbóreo. Además existe gran cantidad de malas hierbas, introducidas principalmente desde Europa, que invaden las laderas mezclándose con la vegetación nativa. Los restos de bosques en las diferentes subcuencas tratadas se ubican en el curso medio de los ríos, hacia los 1000 m de altitud. En esas zonas predominan las influencias climáticas de tipo mediterráneo, un tanto diversificadas por las irregularidades de la orografía, la cual produce numerosos topoclimas térmicos e hídricos en el valle de estos ríos.

Por encima de los 800 metros en laderas expuestas al norte predomina un matorral abierto, principalmente de carácter pseudoespinoso, que sustenta una vegetación diversificada semejante a la del valle central de Chile y a sus montañas costeras. Este matorral abierto está dominado por *Buddleia globosa*, *Schinus polygamus*, *Portiera chilensis*, *Trevoa trinervis*, *Cestrum parqui*, *Muhlenbeckia hastulata*, *Mulinum spinosum*, *Colliguaja odorifera*, *Adesmia longipes*, *Baccharis linearis*, *B. rhomboidalis*, *Satureja guilliesi*, etc. En suelos pedregosos destacan *Puya berteriana* y la cactácea *Echinopsis chilensis*.

El bosque esclerófilo también posee una cierta representación en la montaña media de la hoya del río Mapocho, sobre todo con especies más resistentes al impacto antrópico y a la dinámica física de laderas, como son los árboles *Lithrea caustica*, *Quillaja saponaria* y *Azara petiolaris*. En los sectores húmedos y de sombra esas especies son sustituidas por otros árboles como *Cryptocaria alba*, *Peumus boldus* o *Kageneckia oblonga*. En la cuenca inferior del río Arrayán estas especies suelen presentarse en forma de bosquetes en áreas de umbría y próximas a zonas con escorrentía superficial, junto con pequeños árboles higrofilos como *Myrceugenia exsucca*, *Aristotelia chilensis* y *Maytenus boaria*. Entre los arbustos más comunes se cuentan *Podanthus mitique*, *Eupatorium salvia*, *Hordeum comosum*, *Colliguaja odorifera*, *Senecio illinitus*, *Tropaeolum tricolor*, *Solenomelus pedunculatus*, *Baccharis rhomboidalis* y *Puya berteriana*.

Como consecuencia de la intensa influencia del hombre sobre este piso las comunidades vegetales crecen principalmente en forma abierta y a menudo acompañadas de numerosas plantas introducidas. Por otra parte los deslizamientos también generan impactos importantes en la estructura de este bosque. Lo mismo sucede cuando los ríos de la hoya del Mapocho, por la crecidas de sus aguas debidas a las intensas lluvias invernales, generan desbordamientos e inundaciones que afectan igualmente a la masa boscosa. Además de las inundaciones, los procesos geomorfológicos que afectan con mayor frecuencia a este piso son los corredores de avalanchas, deslizamientos y taludes de derrubios (Fig. 4).

El piso montano superior es afectado sobre todo por deslizamientos y caídas de bloques, que destruyen un contingente importante de árboles y arbustos altos, así como vegetación arbustiva de las riberas de los ríos. Aquí predominan especies arbustivas perennes, las mismas que a mayor altitud crecen entre grandes bloques rocosos. Destacan *Guindilla trinervis*, con un amplio rango altitudinal, y que en los sectores más soleados es reemplazada por *Talguenea quinquenervis*. También están presentes otros arbustos como *Ribes punctatum*, *Acaena pinnatifida*, *Viviania rosea*, *Phacelia secunda*, *P. cumingii*, *Calandrinia caespitosa*, *C. audicola*, *Calceolaria petiolaris*, *C. purpurea*, *C. segethi*, *C. thyrsiflora*, *Haplopappus uncinatus*, *Loasia sigmoidea*, etc. En lugares pedregosos y a menudo viviendo entre bloques podemos encontrar una pequeña cactácea. *Neoporteria curvispina*, de inflorescencia amarilla. En las partes más altas, hasta cerca de los 2700 metros, pueden localizarse dos árboles de alta montaña, como son *Kageneckia angustifolia* y *Escallonia myrtoidea*, particularmente en quebradas húmedas. En cambio, en áreas más abiertas y ventosas los árboles han desaparecido y los arbustos y hierbas duras compiten intensamente por los espacios de verdadero suelo, ya que el material rocoso y pedregoso aflora por doquier. A una altitud de 3000 metros el manto de nieve permanece en promedio durante cinco meses.

En el piso subandino o andino inferior *Guindilla trinervis* desaparece, quedando sólo *Talguenea quinquenervis* y otros arbustos espinosos con variada densidad, como *Berberis empetrifolia*, *Tetraglochin alatum*, *Adesmia pinifolia*, *Ephedra chilensis*, *Chuquiraga oppositifolia* (muy abundante en el valle del Yerba Loca, cf. REYES, 1992), etc. Sobre estas comunidades los materiales de flujos y avalanchas no provocan graves daños, en parte por la estructura pulvinular de las plantas, distribuidas por altitudes comprendidas entre 2700 y 3100 m.

Las laderas de umbría, con mayor retención de suelo, presentan extensas áreas recubiertas de plantas, pero en ninguna parte existen fajas continuas de vegetación, y menos aún en los terrenos abruptos. A las especies anteriormente citadas se agregan otros arbustos como *Astragalus amatus*, *Senecio eruciformis*, *Loasa tricolor*, *Anarthrophyllum elegans*, etc.

Entre las plantas herbáceas más representativas destacan *Alstroemeria spathulata*, *Hordeum comosum*, *Bromus berterianus*, *Elymus agropyroides*, *Calandrinia polycorpioides*, *C. trifida*, *Descuriania* sp., *Tropaeolum polyphyllum*, *Malesherbia lirona*, *Ephedra chilensis*, *Mulinum spinosum*, *Stachys grandidentata*, *Leucocoryne ixioides* (NAVAS, 1976).

En los pisos montano superior y subandino la vegetación resiste bien el impacto de los procesos geomorfológicos, ya que durante el largo invierno en alta montaña se halla en reposo vegetativo. Por otra parte estas agrupaciones no alcanzan a cubrir grandes superficies de terreno, y la proporción de plantas anuales disminuye a favor de las perennes. Destacan especies como *Schizanthus grahmi*, *Loasa tricolor*, *Nicotiana corymbosa*, *Alstroemeria pulcra*, *Astragalus looseri*, *Barneoudia major*, *Sisymbrium officinale*, *Perezia diversifolia*, *Oxalis cinerea*, *Nassauvia pinnigera*.

Los taludes y conos de gravedad están presentes en la cuenca del alto Mapocho. Corresponden a formas resultantes de la acumulación de fragmentos desprendidos de los roquedos que afloran en las partes altas. Se presentan a modo de taludes de notoria continuidad adosados a las laderas, cubriendo casi toda la base de las mismas. Sus pendientes más fuertes son, en general, perpendiculares al eje de los valles, y oscilan entre los 22 y los 36°, alcanzando excepcionalmente los 45°.

A su vez los afloramientos y superficies de estabilidad relativa están ampliamente distribuidos en toda la cuenca. Los afloramientos rocosos consisten aquí en conjuntos de fuertes pendientes afectadas por actividad crioclástica del agua ante las variaciones de temperatura por encima y por debajo del punto de congelación. Se hallan, pues, sometidos a procesos de gelifracción.

Respecto a las formas más estables, como indica ya GIMPEL (1991), contienen depósitos de gravedad que han sido objeto de una relativa evolución geomorfológica, ya que sus fragmentos constitutivos se hallan incluidos en una matriz gruesa de barro, lo que les confiere al menos una cierta coherencia que, en condiciones favorables de pendiente y exposición permite el desarrollo de un tapiz vegetal discontinuo. No obstante, estas formaciones pueden sufrir los efectos de escorrentías intensas, desencadenados por fusiones nivales excepcionales, sobre todo en laderas de exposición solana.

Los procesos de este tipo se proyectan también hasta las mismas márgenes de los ríos andinos, modificando en ocasiones su curso, o bien descargando lateralmente en los mismos algunos deslizamientos o "debris flows". Las orillas de los cursos regulares de agua poseen, además, una vegetación interesante, que en la alta montaña contrasta con la de carácter xérico que predomina en las laderas. Por ejemplo, en dichas márgenes, y formando bandas estrechas, destaca *Calceolaria sagethi*, que puede ascender hasta los 3000 m.

En los pisos montano superior y subandino las riberas poseen otras especies, como *Gentiana prostrata*, de forma cónica, *Werneria pymaea*, de forma pulvinular, *Ranunculus peduncularis* var. *erodifolius*, *Carex* sp. *Heleocharis* sp. *Juncus arcticus*, *Epilobium ciliatum*, *Cardamine petiolata*, *Mentha pulegium*, *Nimulus luteus* y otras. Formando céspedes crece la pequeña *Pernetia pumila*. En el piso andino llaman la atención las morrenas. Aunque no son numerosas, estas acumulaciones (arcos, morrenas de empuje y de ablación), especialmente en el cordón de El Cepo, constituyen elementos de riesgo al poder represar eventualmente el agua. Las violentas descargas resultantes de la posible ruptura de estas presas causaría impactos considerables.

Las avalanchas se localizan fundamentalmente en los valles altos y encajonados del río San Francisco y estero El Cepo. Se presentan frecuentemente como corredores de avalanchas y conos asociados, en pendientes que superan los 30°, sobre laderas lisas y con una cubierta vegetal muy reducida y espaciada. Desde el punto de vista fitogeográfico nos hallamos en el piso andino, frío, con grandes espacios abiertos y con rocas y bloques donde se instala una estepa subarbusciva rala y con importante presencia de plantas almohadilladas, supeditadas principalmente al grado de la pendiente y al tipo de sustrato, que en cualquier caso se halla cubierto de nieve durante gran parte del año. El porcentaje de recubrimiento vegetal no supera el 10%.

Destacan cuatro umbelíferas almohadilladas que crecen en todo el ámbito altoandino y que se distribuyen en un rango altitudinal de 2700 a 3400 m. A esa altitud el periodo vegetativo o de crecimiento de las especies no pasa de los cinco meses. *Laretia acaulis* es la especie dominante en las parcelas muestreadas. Alrededor de los 3000 m es reemplazada por *Azorella nonantha*, que coexiste con *Azorella bolacina*. Por encima de los 3300 m estas especies son sustituidas por *Azorella madreporica*, la planta que alcanza mayor altitud en la zona, pues se ha localizado hasta los 3700 o 3800 m (ARMESTO *et al.*, 1980).

Los deslizamientos suelen localizarse a partir de los 3500 m, como extensas y espesas lenguas de derrubios, con variados tipos de materiales y numerosos bloques de diversos diámetros. Cuando las bajas temperaturas persisten durante varios días suelen incorporarse bloques de hielo a la carga detrítica. Ocupan siempre las cabeceras principales o las partes altas de los valles tributarios. Más de cincuenta de estos deslizamientos se localizaron en la zona de estudio (QUINTANILLA, 1994).

El desplazamiento de los materiales pendiente abajo alcanza varios centenares de metros, atravesando en ocasiones más de un piso de vegetación, y ocasionando considerables daños en las comunidades vegetales.

5. Conclusiones

La cuenca superior del río Mapocho, en los Andes próximos a la ciudad de Santiago, presenta una elevada sensibilidad a las perturbaciones geomorfológicas, como consecuencia de la fuerte pendiente de sus vertientes, la torrencialidad de las precipitaciones y la baja cobertura del tapiz vegetal en las laderas. Esta última se debe, por una parte, a la acción antrópica (sobre todo a la minería en los últimos 60 años), que data de muy antiguo en estos sectores, y por otra al impacto físicomecánico de las avalanchas, flujos y caídas de bloques sobre las comunidades vegetales. Los desbordamientos violentos de los cursos de agua en la cordillera generan también un importante arrastre de materiales, ocasionando algunas veces impactos graves en el piedemonte próximo a la capital de Chile.

La cobertura de la vegetación muestra una discontinuidad a lo largo de un transecto en los Andes de la cuenca del río Mapocho, sobre todo como consecuencia de los impactos de los procesos de montaña. Se observa también una disminución de la cobertura de plantas a medida que se asciende en altitud, determinada fundamentalmente por el descenso térmico, el empobrecimiento de los suelos, las fuertes pendientes y la mayor presencia de hielo y nieve.

Aunque el límite del arbolado en esta zona de los Andes no es uniforme, se puede señalar que *Kageneckia angustifolia* alcanza diferentes altitudes: hacia 1800 m en la subcuenca del río San Francisco y 2000 en el área de Yerba Loca. En este hecho incide el factor de la exposición, probablemente las diferencias de precipitación pluvial y nival.

También hemos comprobado que el matorral esclerófilo no sería representativo de la vegetación andina, ya que en él predominan especies características de los sectores periféricos de los valles de Chile central.

Debemos insistir en la importancia de la presión humana sobre la cuenca del Mapocho, donde existen endemismos destacados que pueden verse afectados. En estos valles altoandinos se encuentran los centros más importantes de deportes de invierno en la región de Santiago, los cuales sufren una fuerte presión antrópica de la capital del país. Por otra parte, la introducción de especies exóticas ha alcanzado ya un nivel muy alto en algunas subcuencas de esta cuenca hidrográfica.

Referencias

- ARAYA, V. J. (1985). Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho. *Informaciones Geográficas*, 32: 31-47.
- ARMESTO, J.; ARROYO, M. & VILLAGRÁN, C. (1980). Altitudinal distribution, cover and size structure of umbelliferous cushion plants in the high Andes of Central Chile. *Acta Oecologica*, 1 (4): 328-332.

- ARNÁEZ VADILLO, J. (1990). Dinámica y organización espacial de los procesos de evolución de vertientes de montaña. In GARCÍA-RUIZ, J. M. (Ed.) *Geoecología de las áreas de montaña*. Geoforma Ediciones, Logroño: 33-57.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1979). *Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume, Madrid.
- BOLDT, B. A. (1985). *Geological hazards: earthquakes, tsunamis, volcanoes, avalanches, landslides, floods*. Springer-Verlag, Berlín.
- BORDE, J. (1966). Les Andes de Santiago et leur avant-pays. *Étude de Géomorphologie*. U. F. I., Bordeaux.
- BORGEL, R. (1993). Vulnerabilidad y peligro de desastres en la cordillera chilena. *Revista de Geografía Norte Grande*, 20, *Publicaciones de la Universidad de Chile*: 47-54.
- FALCÓN, E.; CASTILLO, O. & VALENZUELA, M. (1980). *Hidrogeología de la cuenca de Santiago*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile.
- FERRANDO, F. (1991). La cuenca andina del río Mapocho. Evaluación de su dinámica natural y riesgo erosivo: desarrollo metodológico. In *Actas I Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y SIG para el Estudio de los Recursos Naturales*: 45-56, Quito.
- GIMPEL, S. (1991). Entidades geomorfológicas de riesgo en hoyas altoandinas de Chile central. In *Actas del Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra en Santiago de Chile*: 45-56.
- MUÑOZ, M.; MOREIRA, A.; VILLAGRÁN, C. & LUEBERT, F. (2000). Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile central. *Boletín del Museo de Historia Natural de Chile*, 49: 9-50.
- NAVAS, E. (1976). *Flora de la cuenca de Santiago*, vol. III. Ed. Universidad de Chile, Santiago. 509 pp.
- NIEMEYER, H. & CERECEDA, P. (1984). *Hidrografía de Chile*. Col. Geografía de Chile, vol. VIII. Ed. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- OZENDA, P. (1983). *Végétation des Alpes sudoccidentales. Notice détaillée des feuilles de Gap, Larche, Digne, Nice et Antibes*. Editions du C.N.R.S., París.
- QUINTANILLA, V. (1980). Observaciones fitogeográficas en la alta cordillera de Santiago. *Rev. Geográfica Terra Australis*, 32: 15-26.
- QUINTANILLA, V. (1992). Zonación de riesgos de montaña en base a la determinación de procesos de remoción en masa. Estudios de casos en los Andes centrales de Chile. *Boletín de Lima*, 43: 33-43.
- QUINTANILLA, V. (1994). Sensibilidad de los medios naturales de la cuenca superior del río Mapocho, Andes de Chile central. *Contribuciones Científicas y Técnicas*, Año XXIV, nº 106, Santiago: 1-51.
- REYES, C. (1992). *Análisis del ecosistema de la cuenca del estero Yerba Loca (cuenca superior del río Mapocho)*. Zonación altitudinal. Memoria de Título de Geógrafo. Universidad de Chile, Santiago de Chile. 148 pp.

ANTECEDENTES GEOTÁNICOS DE UNA CUENCA ANDINA DE CHILE CENTRAL

- SMITH, K. (1996). *Environmental Hazards. Assesing Risk and Reducing Disasters*. Ed. Routledge. London-New York.
- THIELE, R. (1980). *Geología de la hoja de Santiago*. Carta nº 39 de la Carta Geológica de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago de Chile.
- WILLUMSEN, H. (1989). *Caracterización y evaluación de formas y procesos morfológicos actuales en la cuenca del estero Yerba Loca*. Memoria de Título de Geógrafo. Universidad de Chile. 123 pp.