

LOS LÍQUENES Y EL MEDIO

La naturaleza del complejo liquénico, donde el metabolismo y el crecimiento son lentos, condiciona que para cada simbiote los factores ecológicos —principalmente sustrato y clima— van a ejercer una gran influencia, no sólo durante la vida del líquen, sino muy especialmente a la hora del reconocimiento y la compatibilidad entre los componentes de la simbiosis, de tal modo que se puedan asociar físicamente y se desencadene el proceso de formación de los talos. No hay duda de que la mayor parte de los líquenes muestran preferencias por determinados sustratos, lo que parece indicar que hay relaciones estrechas entre ambos. De hecho es conocido el papel de algunos líquenes como acumuladores de ciertos minerales que extraen de las rocas o suelo, y actualmente, gracias al conocimiento acumulado en este campo, algunos de ellos son útiles como bioindicadores de ciertos yacimientos.

La flora y vegetación de líquenes varían en función de la situación geográfica, el macroclima, las características del sustrato, y de la influencia que ejercen los otros seres vivos del territorio donde se encuentran. Todos estos aspectos modifican los factores ecológicos primarios para cualquier vegetal: luz, temperatura, disponibilidad de agua, pH, composición química, deposición atmosférica, etc. En situaciones concretas, el macroclima pierde valor restrictivo y hay que prestar especial atención a las condiciones microclimáticas, ya que una pequeña modificación debida a la heterogeneidad del sustrato, y por consiguiente del clima en un área limitada de la zona estudiada, puede conllevar un cambio importante en la composición de la flora liquénica o en el mantenimiento o aparición de especies raras o vulnerables. Es por esto que se ha decidido incluir un apartado relativo a los microambientes dentro de los grandes tipos de hábitats que se encuentran en Muniellos, en ocasiones aplicables a los que se pueden encontrar en muchas otras zonas y que son susceptibles de ser colonizados por los líquenes.

6.1. FACTORES ECOLÓGICOS

6.1a. Factores abióticos

El sustrato. Los líquenes son capaces de desarrollarse sobre todo tipo de sustratos inertes u orgánicos (minerales, cortezas, madera muerta, hojas, caparzones de animales, plástico, etc.). El sustrato, como factor discriminante en la colonización, puede influir por medio de sus características físicas y químicas, de manera exclusiva o más generalmente combinada.

La **textura** o naturaleza física es un factor limitante para la instalación de los líquenes, así p. ej. que las cortezas sean finas, suaves, duras, lisas o agrietadas; las rocas duras, porosas, exfoliables, etc. o los suelos arenosos, móviles, arcillosos, duros o estables son importantes factores de selección, ya que permitirán una más fácil instalación o retendrán el agua \pm tiempo. La composición **química** es, en muchos casos, la causa fundamental de encontrar o no determinadas especies de líquenes sobre sustratos con parecida naturaleza física. Las rocas o los suelos silíceos albergan floras muy distintas de los que son ricos en carbonatos o la de los yesos. El **pH** es otro aspecto a considerar ya que, en función de la acidez o alcalinidad del sustrato, los materiales se ionizarán de forma distinta y tendrán uno u otro modo de influencia sobre los talos liquénicos; aunque no se conoce el mecanismo de influencia, sí se sabe que muchas especies y comunidades liquénicas están relacionadas con la acidez o basicidad de sus sustratos. El **color** no es menos importante, los sustratos oscuros se calientan mucho más que los claros y ello incide sobre la temperatura y la retención de agua de los talos. Diferentes tipos de sustratos retienen y liberan agua en diferentes grados y esto influye sobre la hidratación de los talos y en el cociente de fotosíntesis/respiración. La **estabilidad** del sustrato es muy importante, ya que los líquenes crecen lentamente, por eso la colonización de canchales, de suelos \pm móviles, de rocas o de cortezas \pm fácilmente exfoliables no siempre es fácil para ellos y se seleccionan mucho las especies que pueden vivir allí.

El clima. El clima general: la insolación, la temperatura y las precipitaciones (lluvias, nieblas, brumas, etc.) condiciona las respuestas de los vegetales y de las comunidades que viven en un territorio, pero mucho más en el caso de los líquenes.

La **luz** es un factor ecológico decisivo para los líquenes, los cuales pueden definirse como organismos bastante **fotoófitos** para poder asegurar el crecimiento de los talos simbióticos. La interacción de la luz, la humedad y la temperatura sobre los fotosintetizadores en general, suele expresarse por los valores del punto de compensación (p.c.), en el cual la cantidad de CO₂ asimilada mediante fotosíntesis es igual a la expulsada por la respiración. Debido al alto cociente de biomasa micobionte/fotobionte que presentan la mayor parte de los líquenes, su p.c. en condi-

ciones de humedad y temperatura constantes, es mucho más alto que para otros seres; lo que implica que necesitan una mayor cantidad de luz para compensar con la fotosíntesis las pérdidas ocasionadas por la respiración. Este valor, sin embargo, varía mucho entre las distintas especies. Si además se añade que no siempre están hidratados, sólo pueden obtener buenos rendimientos fotosintéticos en cortos periodos de tiempo.

La intensidad, la cantidad y la calidad de la luz que reciben las distintas partes de un determinado hábitat (un árbol, un roquedo o un suelo) y su situación particular, determinan diferentes ambientes fóticos para los líquenes. La iluminación de un hábitat puede provenir de la incidencia directa de los rayos del sol o de la luz reflejada, serán \pm **heliófitos**; también dependerá de la inclinación y orientación de las superficies. Son típicos hábitats heliófitos: las copas de árboles, los márgenes de los bosques, los espolones rocosos expuestos, los canchales y pedregales \pm libres de vegetación, las superficies \pm inclinadas, así como los claros de los matorrales o los pastos. La insolación recibida en las superficies verticales será tanto mayor cuanto más expuestas al sur estén. Por el contrario, son **esciófitos** o nemorales el interior de los bosques bien conservados, las zonas basales de los troncos, las maquias y matorrales densos o ciertos extraplomos verticales expuestos al norte, ya que no reciben casi nunca insolación directa o bien sólo durante breves periodos del amanecer o el ocaso, cuando la mayor parte de la radiación es absorbida por la atmósfera. Son pocas las especies de líquenes que viven habitualmente en localidades umbrías, protegidas incluso, en gran medida, de la luz reflejada. Hay un amplio rango intermedio de ambientes fotófitos, allí donde llega la luz sin que estén tan expuestos o protegidos de la insolación. Los talos leprarioides, no corticados, son especialmente frecuentes en los ambientes menos fotófitos pero **higrófitos** (humedad relativa del aire elevada), lo que parece estar insinuando la importancia de las estructuras talinas en la protección de los cloroplastos de las algas verdes y la regulación física del contenido hídrico de los talos.

El agua también es un factor limitante en la distribución de los líquenes; como ya hemos visto, interactúa con la luz e influye directamente sobre las funciones vitales y el punto de compensación de los talos. Son poiquilohidros y por tanto, la imbibición de agua líquida, la absorción de vapor de agua y la desecación de los talos, responden a procesos físicos de dinámica de fluidos y a las adaptaciones morfológicas y anatómicas de los talos. En efecto, muchas especies fruticulosas o incluso foliáceas de gran porte dependen del vapor de agua de la atmósfera —de la humedad relativa del aire— (**aereo-higrófitos**) para hidratarse y tener un rendimiento máximo que pueden alcanzar cuando su contenido hídrico es sólo el 80% del peso seco. Sin embargo, los crustáceos (**sustrato-higrófitos**) dependen en gran parte de la capacidad de los sustratos para retener el agua o condensarla. Por el contrario, los líquenes con cianobacterias y talo homómero

(gelatinosos) dependen de la cantidad de agua líquida que discurre por el sustrato (*Collema*, *Leptogium*). Muchas especies de líquenes foliáceos, más independizados de los sustratos, tienen un comportamiento hídrico intermedio y, por ello, son generalmente buenas indicadoras de las características generales del clima. La proporción de biotipos representados en las asociaciones de líquenes se rebelan entonces como higroindicadores de gran sensibilidad, no sólo con respecto a la cantidad sino también a las características del agua que llega a los distintos ecosistemas.

La mayor o menor exposición a la lluvia es otro factor discriminante de incidencia variable, pero puede ser bastante importante para especies foliáceas y fruticulosas. En cualquier caso, siempre se configuran microhábitats que reciben más directamente el agua de lluvia (**ombrófitos**) y otros más extremos que están protegidos pero que se humectarán con la humedad del aire (**higrófitos**). También son importantes para la selección de especies la presencia de escorrentías esporádicas, o el agua que gotea con regularidad. La presencia y duración de la cubierta nival es otro factor climático a tener en cuenta en las zonas de medias y altas montañas, algunas especies liquénicas pueden establecer una gradación de dependencia muy significativa con respecto a los ambientes \pm **quionófitos**. Una mayor o menor quionofitía se puede dar en troncos de árboles, roquedos, farallos, suelos y pedregales de neveros y cubetas.

La **temperatura** es el otro gran factor determinante en la distribución de los vegetales y también para los líquenes, ya que influye decisivamente sobre el metabolismo. Las especies de las altas montañas tienen rangos de tolerancia muy distintos de las de los desiertos cálidos. Pero este factor actúa también de manera indirecta sobre la disponibilidad de agua, cuanto mayor sea la temperatura del aire circundante o la del sustrato, la pérdida de agua de los talos será más rápida y por tanto el tiempo para superar el punto de compensación es más corto. No obstante, si están deshidratados, los líquenes son capaces de resistir temperaturas muy extremas (positivas o negativas) recuperando sus constantes metabólicas cuando el ambiente es más favorable, de ahí su preponderancia frente a las plantas vasculares en las zonas de desiertos cálidos o fríos (altas montañas, taiga y tundra). Su fisiología es capaz de adaptarse a las variaciones estacionales y a las fluctuaciones naturales del clima, lo que les permite sobrevivir en estado latente en épocas con intensa radiación, por medio de la fotoinhibición, y ganar materia en las épocas con luz, temperatura y humedad más favorables. Conviene destacar que la mayor parte de las especies que tienen el alga *Trentepohlia* como fotobionte —de origen tropical— pero que crecen en los territorios extratropicales suelen estar relacionadas con la ausencia de grandes amplitudes térmicas o de muy bajas temperaturas en invierno. Por eso, los géneros más frecuentes *Arthonia*, *Graphis*, *Opegrapha*, *Phaeographis*, *Porina*, etc. suelen relacionarse con los ambientes más oceánicos en las latitudes septentrionales.

El **viento** tiene efectos indirectos que se traducen sobre todo en su influencia sobre el estado de hidratación de los talos y, en menor medida, por el efecto erosivo y mecánico del viento de alta velocidad que éstos deben soportar en la colonización de determinados sustratos. En los hábitats más **anemófitos** se instalan comunidades especializadas, resistentes a esas acciones del viento.

6.1b. Factores bióticos

Hay estrechas relaciones entre los líquenes y el ambiente abiótico, pero en su entorno habitan también otros seres vivos: vegetales, animales y el hombre, que sin duda tienen influencia sobre los mismos hábitat y modifican esas condiciones físico-químicas (v. fotos 25, 26).

El efecto de la concurrencia entre las especies liquénicas que van a coexistir en la misma comunidad, provoca evidentemente una competencia por espacio; aquellas poblaciones con adaptaciones morfológicas y fisiológicas más adecuadas para el ambiente, o con mayores rangos de tolerancia para ciertos factores, tendrán una mayor capacidad de colonización. En ciertos casos, puede haber una cierta acción inhibidora interespecífica aunque, en otros, se puede manifestar una acción estabilizadora para alguna especie que sea ejercida por la adyacente, es decir, ciertos especies ven favorecida su instalación por la presencia anterior de otros (sucesión).

Asimismo, la concurrencia también se da con briófitos, plantas vasculares y otros microorganismos que ejercen una acción sobre el medio y modifican las constantes generales, por lo que pueden influir de manera decisiva sobre la vegetación liquénica. Las comunidades de plantas vasculares circundantes responden a unas condiciones macro y mesoclimáticas y dinámicas determinadas y dan información del ambiente natural donde se instala la flora liquénica; al mismo tiempo, ejercen una acción sobre el medio que va a modificar las constantes generales. Así, un bosque produce sombra y hojarasca, que son factores negativos; por eso la flora de líquenes es siempre más abundante y con mayor número de especies en las etapas seriales del dinamismo regresivo de la vegetación, ya que ésta produce mayor cantidad de espacios favorables a su instalación. Las condiciones que se presentan, por ejemplo, en la base de las matas de arbustos y caméfitos difieren de aquella que existen en los claros; consecuentemente, la vegetación liquénica tendrá una composición florística diferente en uno y otro biotopo. Como los líquenes son organismos primitivos, presentan poca capacidad de competencia y sólo dominarán en aquellos hábitats donde sea muy pequeña la de las otras plantas. Los musgos se presentan ligados principalmente a las comunidades liquénicas terrícolas y epífitas, desempeñando en unos casos el papel de cohesionantes, en otros de soporte mecánico, o evitando la rápida evaporación de la humedad del sustrato, con lo que prepararían un ambiente más adecuado para las especies liquénicas. Las comunidades liquénicas, a medida que evolucionan en sentido progresivo, van compli-

cando sus estructuras, no sólo debido a los biotipos de talos participantes sino, también, a que la abundancia y número de especies de briófitos aumenta, dando lugar a complicadas relaciones e interdependencias que habitualmente acaban por desplazar a los líquenes (v. fotos II, 12, 22, 59, 65).

Los líquenes, por su lento desarrollo, normalmente no pueden sobrevivir sobre sustratos móviles o cambiantes, como es el caso de muchas rocas arenosas y algunos suelos. Por ello, en zonas arenosas o gravosas se apoyan sobre vegetación muerta, principalmente tocones, material vegetal en descomposición o bien musgos. Los líquenes terrícolas solamente pueden colonizar las arenas o rocas sueltas previo concurso de ciertos microorganismos, musgos y fanerógamas que ayudan a compactar el suelo. En consecuencia, las especies de líquenes que se asientan en estos medios tan inhóspitos son pocas y la composición de las comunidades muy homogénea. Sin embargo, en suelos donde existe gran cantidad de materia orgánica ± descompuesta, como es el caso de los brezales, la riqueza florística así como la biomasa líquénica aumentan considerablemente, aquí actúan además otros factores favorables como la luz y pH del suelo.

Donde los suelos provienen de materiales silíceos, con una textura arenosa, limosa y/o gravosa, la vegetación líquénica tiene una flora, fisonomía y estructura en que dominan los talos foliáceos, fruticulosos y compuestos. Es el reino, no exclusivo, de las especies del género *Cladonia*; sin olvidar otros tales como los canchales, roquedos y brezales donde la vegetación líquénica es exuberante. En taludes con elementos poco cohesionados, las comunidades líquénicas presentan una fisonomía en dos estratos: el primero constituido por talos foliáceos (algunos erectos) que contribuyen a unir las partículas del sustrato, dominando las especies gelatinosas, las *Peltigera s.a.* y los primarios de las *Cladonia* o *Baeomyces*; el segundo estrato está formado por talos secundarios (escifos y podocios) con biotipo fruticuloso de las especies de *Cladonia*. Algunos líquenes son capaces de introducir sus hifas consiguiendo una parte de sus nutrientes directamente de sus hospedantes briofíticos. En estos pocos casos, se trata siempre de talos con gran biomasa medular (ej. *Peltigera*) y largas rizinas.

Puede ocurrir que dentro de un bosque encontremos diferentes tipos de hábitats, así por ejemplo, no será la misma flora líquénica la de los claros y márgenes que la de las zonas directamente influenciadas por la hojarasca. Si en los claros es posible encontrar una vegetación pionera, en las zonas de hojarasca la flora estará compuesta por talos semierrantes que son capaces de levantarse sobre el mantillo. Los microecótopos formados por pequeñas o grandes inclinaciones del terreno, son capaces de influenciar a la vegetación líquénica haciéndola cambiar, si no radicalmente, sí parcialmente. En las zonas expuestas y venteadas de las crestas montañosas muchos líquenes se hacen vagantes (vagrantes) (ej. *Cetraria*).

Los líquenes son productores primarios y algunos animales los incluyen en su dieta que, en ocasiones, muestra estrechas interdependencias como sucede con

ciertos grupos de insectos, ácaros, gasterópodos y mamíferos, entre los que destacan los ovinos, caprinos, cérvidos y bóvidos, p. ej., los renos de las taigas y las tundras boreales dependen para su dieta invernal de especies del género *Cladonia*, pero otros muchos casos están descritos. El pastoreo favorece el desarrollo de céspedes perennes, los cuales, en un tiempo más o menos breve, desplazan a las poblaciones de líquenes o las dejan muy fragmentadas. Sin embargo, es frecuente que el ganado, al fragmentar los talos liquénicos, favorezca un desarrollo de la comunidad de líquenes en las zonas periféricas del pastizal; algo similar sucede con la acción humana del pisoteo que, siempre que sea ocasional, también colabora en la multiplicación vegetativa.

Pero es el hombre quien, mediante sus actividades, incide de manera drástica sobre los líquenes y ha puesto a algunas especies, cada día con áreas de distribución más pequeñas, en verdadero peligro de extinción. El cambio global de las condiciones de la atmósfera y la contaminación de la troposfera por el vertido de gases y partículas sólidas procedentes de los centros urbanos e industriales, ejerce una influencia dañina grave sobre los líquenes mucho antes de que otros seres vivos presenten síntomas de haber sido afectados. Las talas masivas e indiscriminadas, los incendios provocados, las canteras, las explotaciones mineras a cielo abierto, etc., son otros de los aspectos incluidos en actividad antrópica actual y mediante los cuales se están destruyendo numerosos hábitats favorables al normal desarrollo de las simbiosis liquénicas.

Por todo lo expuesto anteriormente, se han dedicado unas páginas a hacer ciertas consideraciones sobre algunas de las consecuencias que sobre los líquenes están teniendo las circunstancias actuales, de qué forma eficaz se pueden usar como bioindicadores y qué relevancia tienen en la gestión y la protección del medio ambiente. En suma, a los importantes aspectos en que su aplicación a las metodologías de la Biología de la Conservación son una realidad en casi todos los países de la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá.

6.2. LOS AMBIENTES SAXÍCOLAS

Microambientes en roquedos y canchales

La comunidades liquénicas colonizadoras de cada uno de estos biotopos estarán en buena parte supeditadas a la situación topográfica de los roquedos: cumbrones, collados, circos, sopladuras, fondos de valles, interior de los bosques, corrientes de agua, bordes de lagunas, etc.

Esta selección de biotopos discriminantes para las comunidades liquénicas no siempre será aplicable a otras áreas no afectadas por las condiciones climáticas de

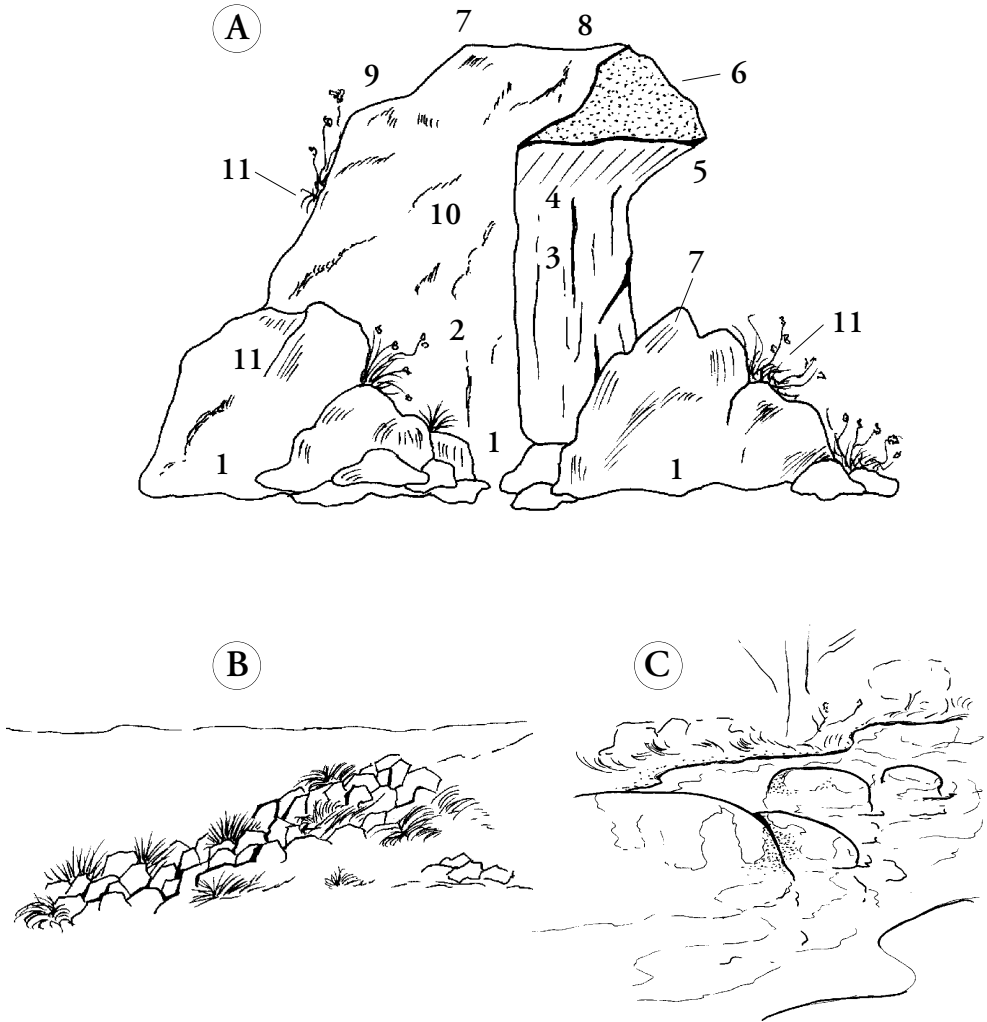


Lámina 6.2. MICROAMBIENTES EN ROQUEDOS Y CANCHALES

A. Conjunto de bloques de tamaño grande y pared vertical donde podemos diferenciar diferentes ambientes: 1 superficies cercanas al suelo; 2 superficies verticales o subverticales, a media altura del suelo; 3 superficies verticales alejadas del suelo; 4 extraplomos; 5 techos; 6 y 7 espolones; 8 superficies horizontales de cimas rocosas; 9 superficies de cimas rocosas medianamente inclinadas; 10 fisuras y grietas pequeñas; 11 grietas anchas (ver texto). B. Aspecto de un canchal estabilizado con bloques de tamaño pequeño y medio. C. Bloques inundados y semiinundados en corrientes de agua.

las montañas templadas: altura media de la nieve, presencia frecuente de vientos húmedos, exposición a las ventiscas, iluminación por reflejo de la nieve, etc. Los contrastes térmicos entre las superficies rocosas y el aire pueden elevar la humedad relativa hasta valores cercanos o superiores al punto de condensación, provocando el depósito de rocío, niebla goteante o cencellada. En estas circunstancias, los hábitats rupícolas aparentemente inhóspitos, se convierten para los líquenes en excelentes hábitats para su desarrollo.

Los líquenes de los ambientes terrícolas se han analizado en «factores bióticos» por sus muchas interrelaciones con otros organismos en los territorios templados. Sólo existe una llanura aluvial de cierta entidad en Tablizas, a la entrada de la Reserva, bastante interesante para algunas especies liquénicas.

Lo que hace variar además las condiciones básicas son: 1. Altura media de la nieve, permanencia del hielo; 2. Presencia frecuente de vientos húmedos en ciertas exposiciones; 3. Exposición a las ventiscas = zonas de sopladura; 4. Radiación luminosa extra por reflexión de la nieve; 5. La exposición a la incidencia directa de la lluvia (v. fotos 15, 16, 17, 21, 25, 26, 30, 32, 35).

El tipo de roca

Textura. Ciertas comunidades muestran preferencias por las rocas de grano muy fino y fuertemente compactas (aplitas), en sustratos máficos en rocas félsicas. Las rocas de grano medio o grueso, alteradas en superficie, soportan habitualmente comunidades con elevado porcentaje de biotipos foliáceos que probablemente desempeñan un activo papel en la meteorización del sustrato rocoso.

Composición mineralógica. Entre los elementos químicos contenidos en las rocas metamórficas y plutónicas parece ser el hierro el más fuertemente discriminante. El hierro aparece en estas rocas formando ferróxidos o ferrihidróxidos, los otros minerales que forman parte habitualmente de las rocas ricas en hierro (Zn, Cu, Cr, Co, Ag, Sn, Ti, Mn) no parecen jugar un papel muy importante en la parición de estos líquenes, aunque la solubilización del cobre podría ser importante. Los principales efectos indirectos del hierro en las rocas que lo contienen en alto porcentaje, son la rápida descomposición superficial de la roca, que se muestra por la aparición de costras de color marrón o marrón negruzco, y el descenso del pH.

Los modelados glaciares

Estos relieves y los pequeños circos escalonados, debidos a fenómenos de glaciario, quedan restringidos a la parte de la cuenca del río Narcea. Las lagunas que se sitúan al pie del pico de la Candanosa, corresponden a cubetas excavadas por la actividad glaciar. El glaciario queda restringido a pequeños circos, loca-

lizados en las zonas más altas con exposición norte de depósitos glaciares, dentro de la reserva, se localiza en la cabecera del arroyo Teixerúa, donde se llegan a diferenciar pequeñas crestas morrénicas.

Los depósitos originados por el hielo, de pequeña extensión, han perdido su morfología, pero son los denominados «canchales». La posición casi vertical de las capas del sustrato hace que se formen crestones que alternan con canales. La evolución actual y subactual —cuaternaria— conlleva la caída de rocas y de los productos de meteorización de las mismas. El resultado de estos procesos es la deposición en las laderas de numerosos canchales y derrubios donde predominan los clastos cuarcíticos. En las crestas de la Sierra de Cazarnoso, no hay transporte por gravedad y los canchales son productos de gelifración. Los coluviones, con una matriz más areno-arcillosa que los clastos, sólo representan el 2% del total de canchales de Muniellos y se localizan únicamente en el Monte de Valdebueyes, cercano a La Viliella, suele estar relacionado con la posible presencia de materiales más meteorizables (v. fotos 15, 22, 27, 29, 31, 33, 34, 35).

6.3. LOS AMBIENTES FORESTALES EN EL CONTEXTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA BIOSFERA

Los bosques son ecosistemas terrestres dominados por árboles. A pesar de la presión humana todavía ocupan el 40% de la superficie terrestre, ocupando territorios con muy diversos tipos de clima y de suelos. Los bosques destacan sobre el resto de los ecosistemas por la gran acumulación de biomasa, aérea y subterránea, al mismo tiempo son los sistemas más productivos —entre 8-20 T/Ha y año según los biomas—. Como en el resto de los ecosistemas terrestres, los sistemas forestales tienen una estructura dominada por los vegetales, tanto los productores primarios como los descomponedores y recicladores. La estructuración vertical —aérea y subterránea—, como la horizontal —expansión, orlas y fronteras— está determinada por las circulaciones de materia y energía, así como por la distribución de las poblaciones de las distintas especies en clases de edad y/o requerimientos ecológicos. Son sistemas muy complejos, muy diversos y que hay que contemplar desde una perspectiva global, por su importancia en la regulación de los ciclos biogeoquímicos de la biosfera. Cada tipo de bosque, en cada territorio, viene definido por la disposición y la continuidad de los diferentes estratos y por su grado de explotación o de continuidad inalterada a través del tiempo, así como por su dinamismo interno.

La flora y vegetación de líquenes epífitos de los troncos y ramas de los árboles varían en función de la situación geográfica, el macroclima y las características de la masa forestal donde se encuentran. Todos estos aspectos modifican los

factores ecológicos primarios (luz, temperatura, disponibilidad de agua, pH de la corteza, deposición atmosférica, etc.) y, por tanto, contribuyen a seleccionar la combinación de especies que forman parte de las distintas comunidades. Epífitos son aquellos vegetales capaces de vivir sobre otras plantas pero que no se alimentan de sus tejidos vivos. Las plantas hospedantes o portadoras de epífitos se denominan forófitos. Los líquenes epífitos son aquellos que utilizan como sustrato las cortezas de plantas leñosas —árboles y arbustos—, es decir se instalan sobre el ritidoma (tejidos muertos) y pueden aprovechar los compuestos químicos disueltos por el agua de lluvia. Es curioso que aquellos árboles que no tienen verdaderos ritidomas, como las palmeras en s.a., tienen una baja colonización de líquenes epífitos, incluso en condiciones favorables.

Los líquenes epífitos y los briófitos son el componente biológico que más aporta a la diversidad de los ecosistemas forestales en el hemisferio norte. Las proporciones varían según el tipo de bosque, de matorral o de macrobioclima, pero en todos los territorios holárticos, su número es muy superior al de las plantas vasculares en los mismos tipos de comunidades, son los organismos que más aportan a la Biodiversidad de los territorios emergidos en latitudes extratropicales. Está muy extendida entre los campesinos la creencia de que los líquenes «matan» los árboles porque cuando alguno cesa en su crecimiento y producción suele presentar una elevada cobertura liquénica. Ahora bien, no se deben olvidar dos hechos importantes: *a.* los líquenes son fundamentalmente heliófitos y los árboles en mal estado tienen menor densidad de hojas en sus copas, por tanto, hay más luz y aquellos la aprovechan; *b.* muchos de esos líquenes dependen de la humedad atmosférica y tienen un desarrollo más rápido en los lugares donde las nieblas o las lluvias son frecuentes, estos medios son óptimos para el desarrollo de hongos parásitos que pueden infectar a los árboles y provocarles la muerte, entonces la colonización liquénica se ve favorecida (Barreno, 2003) (v. fotos 1-5, 7-8, 10, 12, 14, 18-20).

6.3a. *Los líquenes epífitos y los sistemas forestales*

En los bosques, las comunidades liquénicas parecen no tener un papel relevante en el funcionamiento de los ecosistemas ni son comparables con las aportaciones de materia y energía que realizan otros productores primarios. No constituyen un eslabón fundamental en las cadenas tróficas y no influyen en su estructura y dinamismo. Si bien, recientemente se ha comenzado a demostrar que tienen un papel menos superfluo del considerado, por lo menos en algunos sistemas forestales. Así por ejemplo, cuando en la comunidad intervienen líquenes con cianobacterias, que fijan el nitrógeno atmosférico, su aportación al ciclo del nitrógeno no es nada desdeñable, como p.e. en bosques esclerófilos de California (Boonpragob, et al. 1989; Knops et al. 1996, 1999) o en los hayedos del Montseny (Terradas, 1990). Sin embargo, constituyen el mejor elemento bioindicador

del grado de madurez y complejidad de estos ecosistemas, así como de la evolución de los árboles con la edad. Del mismo modo, aportan información con respecto a los principales factores ambientales y señalan los distintos microambientes que se configuran en los árboles y sus bosques.

Las cortezas de las plantas leñosas son el sustrato principal de los líquenes epífitos, aunque también es importante el estrato muscinal. El sustrato, como factor discriminante en la colonización, puede influir de manera exclusiva o más generalmente combinada, por medio de sus características físicas y químicas. La textura (cortezas finas, suaves, duras, lisas o agrietadas) y la combinación de elementos, fundamentalmente la reacción iónica o pH, determinan la selección entre las especies disponibles. Además, las cortezas oscuras se calientan mucho más, las duras son más secas y las finas y suaves retienen más el agua pero también lo evaporan rápidamente. Los musgos y las hepáticas constituyen un reservorio de agua. Cuando los árboles son jóvenes, las cortezas son más finas, pero con el paso de los años comienzan a agrietarse y entonces la retención de agua o de polvo atmosférico es mayor, en consecuencia se produce un dinamismo natural de las comunidades líquénicas que varía tanto en la calidad de las especies como en el porcentaje de biotipos representados.

Normalmente en los árboles jóvenes predominan los crustáceos (*Lecanora*, *Lecidea*, *Buellia*, *Arthonia*, etc.), en los de edad intermedia los foliáceos (*Parmelia* s.a., *Hypogymnia*, *Platismatia*) y fruticulosos (*Ramalina*, *Evernia*, *Usnea*) y, en los muy viejos, generalmente con muchos musgos, los foliáceos con cianobacterias (*Lobaria*, *Nephroma*, *Sticta*, *Pannaria*), los dimórficos (*Cladonia* s.a.) y algunos escumulosos. Pero la norma puede variar si p. ej., la reacción de la corteza es muy ácida, como sucede con los abedules o los pinos, entonces la selección de especies es muy drástica; lo mismo puede decirse en aquellos ambientes de clima mediterráneo o en las proximidades de las explotaciones antrópicas donde la aportación de amoníaco, nitratos y fosfatos son elevadas y no son completamente lavadas por el agua de lluvia, el sustrato es nitrófito y los géneros que predominan son entonces *Caloplaca*, *Rinodina*, *Xanthoria* o *Physcia*. Mención aparte merecen las cortezas muertas, con una elevada capacidad de humectación y reacción más ácida, allí se instalan los llamados lignícolas, especies muy selectivas que pertenecen a géneros diversos; asimismo cuando los árboles se descortezan la parte externa del leño es colonizada por líquenes lignícolas, muchos de ellos con mazedios, de los géneros *Calicium*, *Chaenotheca*, *Microcalicium*.

El clima general (termo y ombroclima), condiciona las respuestas de los vegetales y comunidades que allí viven, pero mucho más en el caso de los líquenes. Las formas de las copas de los árboles condicionan no sólo la luz que pueda llegar a las zonas más bajas sino el flujo de agua que discurre por los troncos, las copas de los caducifolios son casi desde los estadios más juveniles centrifugas, es decir que mucha del agua de lluvia será conducida hacia el exterior de la copa y

discurrirá menos por el tronco. Todos los aspectos indicados seleccionan de forma importante los tipos de vegetación líquénica.

La luz es un factor ecológico decisivo para los líquenes que conlleva el que los ambientes nemorales sean menos favorables para su desarrollo. La intensidad y la calidad de la luz que reciben las distintas partes de un árbol y la situación de éste en el bosque, determinan diferentes ambientes fóticos: en los márgenes y en las copas serán heliófitos, mientras que preponderan los esciófitos o nemorales en el interior y en la zona inferior de los troncos; en las zonas intermedias de los troncos y en formaciones más abiertas se darán unas condiciones más relacionadas con las de las condiciones generales del territorio. Frente a los mismos valores de humedad y temperatura, los líquenes de las situaciones más esciófitas serán aquéllos cuya fisiología lo permita, siendo frecuentes los líquenes con cianobacterias que, en algunos casos, pueden tener opción a alimentarse de las células de algunos briófitos que actúan también de soporte, en estos casos las comunidades son por lo general brioliquénicas. En las zonas del interior del bosque que reciban poca luz todo el año pero sin gran estrato muscícola, preponderan los llamados líquenes imperfectos que tienen el talo leprarioide (*Lepraria*, *Chrysothrix*) y los sorediados que fructifican o no (*Phlyctis*, *Pertusaria coccodes*) o aquéllos en los que los soredios son la principal estrategia de reproducción. Lo mismo puede decirse para el caso de las copas o los árboles aislados, donde los líquenes con sustancias corticales como atranorina o ácido úsnico, que les protegen de la intensidad lumínica, tienen un máximo de cobertura y diversidad (*Ramalina*, *Evernia*, *Caloplaca*, *Lecanora gp. varia*, *Usnea*). Si, además, se produce un aporte suplementario de sustancias nitrogenadas las especies de *Physcia* s.a. o aquéllas con parietina (*Caloplaca*, *Xanthoria*, etc.) no sólo son abundantes sino que colorean llamativamente las cortezas, son las que caracterizan a la alianza *Xanthorion parietinae* (v. foto 26).

La temperatura es el otro gran factor, la fisiología líquénica es capaz de adaptarse a las variaciones estacionales y a las fluctuaciones naturales del clima, lo que les permite sobrevivir en estado latente en épocas con intensa radiación, por medio de la fotoinhibición, y ganar materia en las épocas con luz, temperatura y humedad más favorables. Conviene destacar que la mayor parte de las especies que tienen el alga *Trentepohlia* como fotobionte, tienen un óptimo tropical o subtropical, pero que cuando crecen en territorios extratropicales suelen estar relacionados con la ausencia de grandes amplitudes térmicas o de bajas temperaturas en invierno. Por eso, los géneros más frecuentes *Arthonia*, *Graphis*, *Opegrapha*, *Phaeographis*, *Porina*, etc. suelen relacionarse con los ambientes oceánicos, en las latitudes más septentrionales. En un árbol, las oscilaciones de temperatura son mínimas en troncos de corteza rugosa a una altura aproximada de 1,5 m, en las caras norte, o si está inmerso en un bosque bien estructurado. Sin embargo, si los árboles están aislados, en las caras sur, en la zona basal, en las copas y si además tienen las cortezas lisas y con baja retención de agua, la amplitud térmica llega a

ser importante y puede modificar todos los demás factores ecológicos. Se comprende entonces fácilmente que cuando se quiere utilizar una asociación líquénica epífita como bioindicadora de las condiciones del clima y de la estructura de un bosque, se tengan en cuenta en primer término aquellas que viven en los troncos de mediana edad, en zonas por encima de un metro de la base y alejadas de las grandes ramas.

Lógicamente, la estructura de la masa forestal también es un factor a tener en cuenta con respecto a los distintos tipos de microambientes que se pueden crear y que son inmediatamente detectados por los líquenes. En un bosque natural bien estructurado, la temperatura, las cantidades de luz o de agua que llegan son muy distintas para los árboles de la periferia que para los del interior, independientemente del clima general, siendo más extremas las condiciones de los árboles aislados o en cultivares. No es pues extraño que, en los árboles aislados o periféricos, la mayor cobertura líquénica se encuentre en la exposición que recibe los vientos que traen las precipitaciones, o que la proporción de especies heliófitas sea mayor en las laderas orientadas a meridión. En la actualidad, los ambientes fotófitos en los bosques están favorecidos por la alteración de su estructura, especialmente en aquéllos en que predominan los árboles caducifolios; sólo en los bosques mejor conservados se pueden encontrar comunidades esciofíticas de líquenes, p.ej., las de la alianza *Lobarion pulmonariae*. En la dinámica natural de los sistemas forestales se produce la coexistencia de pies de distintas clases de edad, desde muy jóvenes y con cortezas lisas hasta muy viejos o muertos, hecho que puede ser interpretado a partir de la riqueza de especies líquénicas y de distintos tipos de comunidades. La posibilidad de encontrar árboles muertos caídos o tocones es mucho mayor en los bosques donde haya una continuidad; si además se produce un claro y hay buen estrato muscinal, las especies de *Cladonia* se diversifican del mismo modo que en las bases de los troncos de los árboles de mediana edad.

6.3b. *Los microambientes más comunes para líquenes en los árboles*

1. Base del tronco: sustrato esciófito, húmedo y coniófito, con estrato muscinal.
2. Tronco y ramificaciones principales: sustrato higrófito, esciófito en bosques maduros o más fotófito en bosques menos maduros.
3. Ramas medias: sustrato higrófito, ± mesofotófito.
4. Ramas de la copa: aereohigrófito y heliófito. Líquenes pioneros crustáceos y aereohigrófitos, en los maduros con «usneas».
5. Horquetas: sustrato higrófito, ombrófito, mesoesciófito, eutrofo. Comunidades brioliquénicas poco definidas.
6. Cara inferior de las ramas principales: ombrófito, mesofotófito.
7. Grietas y fisuras profundas: sustrato higrófito, esciófito y eutrofo.

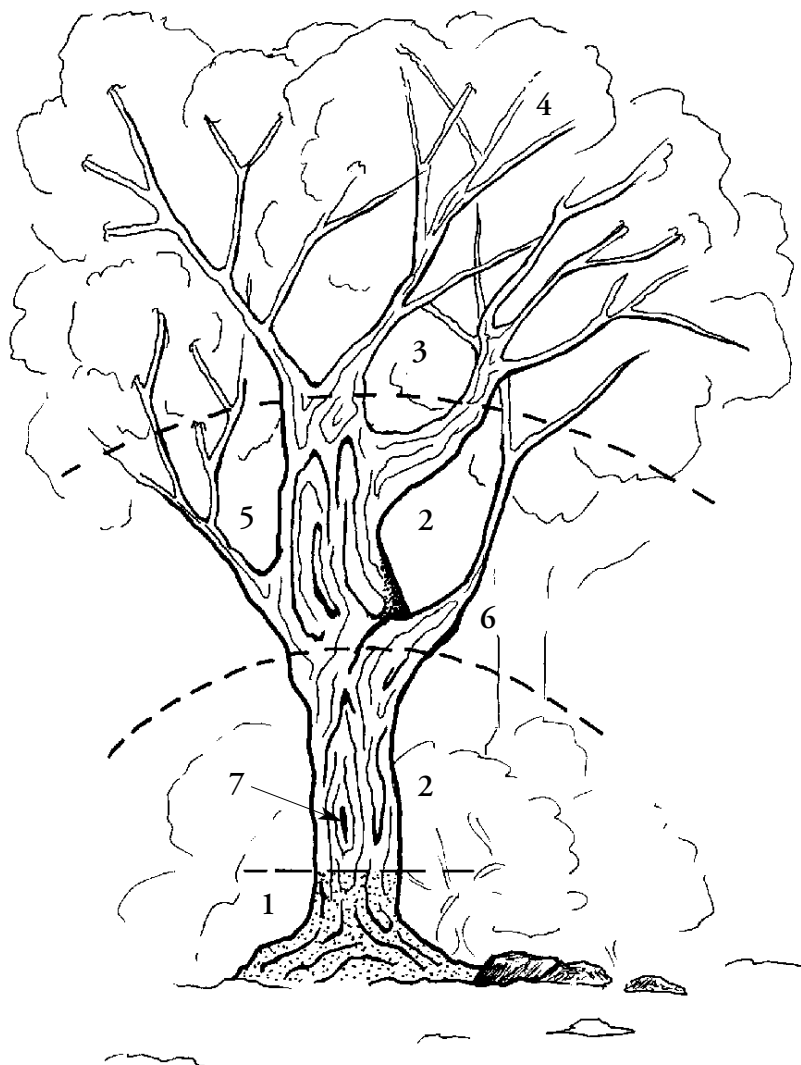


Lámina 6.3b. MICROAMBIENTES PARA LOS LÍQUENES EN LOS ÁRBOLES

1 Base del tronco: sustrato esciófito, húmedo y coniófito, con estrato muscinal. 2 Tronco y ramificaciones principales: sustrato higrófito, esciófito en bosques maduros o más fotófito en bosques menos maduros. 3 Ramas medias: sustrato higrófito, ± mesofotófito. 4 Ramas de la copa: aereohigrófito y heliófito. Líquenes pioneros crustáceos y aereohigrófitos, en los maduros con «Usneas». 5 Horquetas: sustrato higrófito, ombrófito, mesoesciófito, eutrofo. Comunidades brioliquénicas poco definidas. 6 Cara inferior de las ramas principales: ombrófito, mesofotófito. 7 Grietas y fisuras profundas: sustrato higrófito, esciófito y eutrofo.

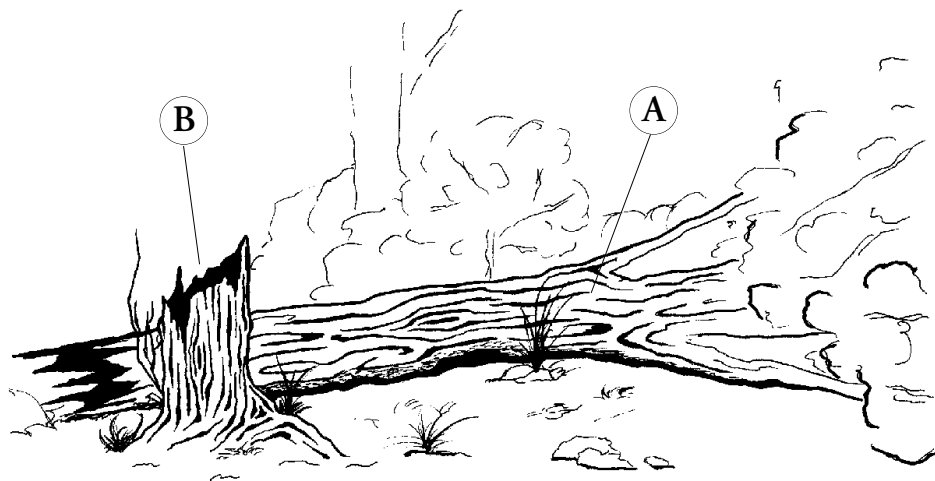


Lámina 6.3c. MICROAMBIENTES EN TOCONES Y TRONCOS CAÍDOS

Tronco muerto y caído (A) junto a tocón (B) (v. texto).

6.3c. Leños y maderas en descomposición

Se trata de uno de los más interesantes hábitats que se encuentran en Muniellos, y en todos aquellos bosques maduros y poco o nada explotados. La colonización de estos medios por los líquenes puede ir acompañada o no de la presencia de briófitos. La mayor riqueza de especies, en los trabajos que se han hecho en Europa, parece darse en los leños descortezados y, en general, las primeras fases de las sucesiones de colonización, p.ej., en tocones los *Calicium* y *Cladonia*, s.a.

Se pueden diferenciar varios tipos de microambientes dependiendo de: 1. si se trata de leños secos descortezados —o de estacas de vallas—; 2. si el tronco o la rama han sido tumbados por fuerzas mecánicas naturales o cortados; 3. si el tronco muerto está sobre el suelo (tocones) o hay una parte más elevada (v. figura); 4. el grado de descomposición y humedad de las maderas; 5. la planta vascular de la que proceden, su naturaleza física y química; 6. la situación en el bosque; 7. la cobertura nival; 8. el grosor de los troncos o ramas, etc. (v. fotos 6, 23, 24).

Aunque no se ha hecho un estudio pormenorizado de cada uno de esos microhábitats hemos seleccionado del catálogo de especies algunas de las que aparecen como más frecuentes: *Calicium glaucellum*, *Calicium quercinum*, *Calicium salicinum*, *Chaenotheca brunneola*, *Chaenotheca chrysocephala*, *Chaenotheca furfuracea*,

Chaenotheca stemonea, *Cladonia caespiticia*, *Cladonia carneola*, *Cladonia coniocraea*, *Cladonia cornuta*, *Cladonia digitata*, *Cladonia glauca*, *Cladonia incrassata*, *Cladonia macilenta*, *Cladonia ochroclora*, *Cladonia polydactyla*, *Cladonia pyxidata*, *Cladonia squamosa*, *Cladonia subulata*, *Cladonia umbricola*, *Fuscopannaria ignobilis*, *Hypocenomyce scalaris*, *Imadophila ericetorum*, *Lecanora circumborealis*, *Lecanora sarcopsis*, *Lecanora symmicta*, *Lecanora pulicaris*, *Lecidea botryosa*, *Lecidella scabra*, *Lepraria lobificans*, *Lepraria incana*, *Micarea melaena*, *Micarea peliocarpa*, *Mycoblastus fucatus*, *Mycocalicium subtile*, *Ochrolechia turneri*, *Peltigera praetextata*, *Peltigera horizontalis*, *Rinodina archaea*, *Pertusaria amara*, *Pertusaria pertusa*, *Ptychographa xylographoides*, *Sphaerophorus globosus*, *Stenocybe pullatula*, *Trapeliopsis flexuosa*, *Trapeliopsis pseudogranulosa* (v. fotos varias).

© Autores: Eva BARRENO y Sergio PÉREZ-ORTEGA

© Fotografías: M.A. COLLADO PRIETO, J.M. FERNÁNDEZ DÍAZ-FORMENTI, S. FOS y S. PEREZ-ORTEGA fotos de cubierta: izquierda, *Usnea* sp. pl., epifitas y fruticulosas condensando el vapor de agua (j.m.f.); derecha superior, *Baeomyces rufus*, terrícola y muscícola (s.p.o.); derecha inferior, *Lecidea lapicida*, *Rhizocarpon geographicum* y otros saxícolas con óxidos de Fe en talos (j.m.f.); lomo, *Lobaria scrobiculata* con *Lobaria pulmonaria* (s.p.o.) © Ilustraciones: E. MARCOS y F. de la IGLESIA

© 2003, de esta coedición: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias y KRK ediciones

LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES

La biología de los líquenes como simbioses cíclicas, su ecología y ciertas peculiaridades ecofisiológicas están relacionadas con la normalización de su uso como biomonitores de las condiciones ambientales. El conocimiento básico sobre estos organismos suele ser muy deficiente por parte del público en general, incluso de los biólogos, aun cuando está suficientemente demostrado de un modo experimental que son los más rápidos y finos bioindicadores de la presencia de alteraciones ambientales en un territorio dado. Estas propiedades les permiten detectar las primeras señales de alarma en sistemas naturales y, también, las de recuperación de las alteraciones de los mismos. Es por ello que se ha decidido dedicar unos apartados a las consideraciones ecológicas de la bioindicación y a encuadrar a los líquenes como biomonitores espacio-temporales de las condiciones ambientales. El otro objetivo es la divulgación, con base científica, entre los profesionales relacionados con el medioambiente, estudiantes y aficionados a la naturaleza, de que la conservación de espacios naturales es la de los entornos donde se dan —y se darán— los procesos evolutivos de los seres vivos y que muchos microorganismos, a los que no se suele tener en consideración, pueden ser igual de importantes que los de mayor tamaño en el funcionamiento de los ecosistemas y, también, para la toma de decisiones adecuadas en la gestión del medio y la ordenación del territorio.

Los líquenes son hoy ampliamente utilizados para detectar perturbaciones en los ecosistemas (crónicas y/o agudas) provocadas por distintos tipos de estrés ambiental, p. ej., contaminación, calidad del aire, cambio climático, fuego, etc. Asimismo, ya es frecuente que sean la base de evaluaciones de la «calidad» de los sistemas forestales: estructura, aportes extra o acumulación de nutrientes, continuidad ecológica o hemerobia (fragmentación de hábitats por acción antrópica). De hecho, el USDA Forest Service tiene en funcionamiento, desde 1993, un programa de monitorización de sus sistemas forestales el EMAP/FHP (Forest Health Programme, <http://www.nacse.org/lichenair/>) con una metodología basada en los ma-

crolíquenes. Los protocolos de toma de datos, valoración e integración en sistemas GIS son revisados periódicamente para establecer tanto la calidad del aire como la de las variables introducidas; gracias a ello ha aumentado exponencialmente el número de investigadores dedicados a este campo en EEUU. En la Unión Europea, se sigue discutiendo la metodología a utilizar para poner en funcionamiento un programa similar, y se ha publicado un primer manuscrito «*European guideline for mapping lichen diversity. As an indicator of environmental stress*» (Asata et al. 2002) que todavía ofrece inconvenientes para ser aceptado plenamente por los costos, algunos de los criterios propuestos y ciertas dificultades de aplicación de esa metodología a las características de la vegetación mediterránea. En otros países europeos no comunitarios, asiáticos (Tailandia) o del hemisferio sur como Australia o Nueva Zelanda ya tienen establecidas redes biológicas de monitorización de la calidad del aire basadas en los líquenes desde hace tiempo. No se puede decir lo mismo para el territorio español.

Como síntesis de este planteamiento, los primeros resultados obtenidos en la Reserva Integral de Muniellos, confirman lo que supone la continuidad ecológica de los sistemas forestales —incluso de aquellos que han sido algo explotados en un pasado reciente—, para la conservación de la biodiversidad de Líquenes y Briófitos y, por ende, del resto de los organismos de los ecosistemas. La apuesta del Gobierno del Principado de Asturias en relación con el INDUROT y las Universidades de Oviedo y Valencia, sugiere lo que deberían ser los programas de las investigaciones dirigidos al seguimiento/control (monitorización) de la calidad ambiental, o de la salud de los ecosistemas, y de cómo la Gestión de los Espacios Naturales debería realizarse con criterios basados en resultados científicos.

7.1. BIOINDICACIÓN, BIOMONITORIZACIÓN. CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS Y TEÓRICAS

El término monitorización, aunque de amplio uso, suele ser mal utilizado. Plenamente aceptado en Ecología y Biología de la Conservación es el concepto propuesto por Hellowell (1991), que señala que debería usarse en el sentido de que es la medida repetitiva de variables —cuantitativas o cualitativas— en periodos de series temporales intermitentes —regulares o irregulares—. Además, esta toma y recopilación de datos tiene que hacerse con algún propósito determinado, tal como para comprobar el grado de conformidad que los mismos muestran con respecto a estándares previamente establecidos (regulaciones) o bien, para detectar cambios significativos de los valores de ciertas variables a través del tiempo; es decir el grado de desviación de los datos con respecto a lo esperable, la normali-

dad. Hay una asunción implícita de que si se detecta un cambio significativo, esta información será usada para implementar algunas medidas correctivas que permitan el retorno del sistema hasta sus condiciones «normales», aquéllas en que los parámetros medidos están dentro de su rango normal de variabilidad. Claro que, para ello se requiere conocer la variabilidad natural de esos parámetros.

En el contexto de los ecosistemas naturales, la «Biomonitorización» es el estudio de algunos seres vivos para controlar y seguir temporalmente las situaciones de normalidad o no de los mismos. Se pueden usar los organismos desde niveles de integración diferentes: ecosistema, comunidad, población, individual, anatómico, celular, fisiológico, genético o molecular. La biomonitorización proporciona una detección directa del grado de salud de los ecosistemas, de su evolución temporal o de la calidad ambiental de un territorio. Ésto es justamente lo que los modelos de dispersión y los registros físico-químicos no pueden hacer porque sus resultados sólo son reales para el punto donde se miden. El objetivo principal de la bioindicación es el de proporcionar datos para el desarrollo de controles eficaces en la protección de los sistemas naturales. La monitorización —y por ende la biomonitorización— es más un proceso que un resultado y lo son todos aquellos proyectos en los que el método y el diseño de muestreo proporcionan las bases para realizar muestreos repetitivos que permitan comparar con valores predeterminados.

En los estudios de bioindicación, los inventarios de especies y su «calidad indicadora» son la base para la mayor parte de las evaluaciones de las alteraciones ambientales, pues permiten la comparación con unas normas o pautas de reacción. Los cambios locales o globales de las condiciones ambientales normales deben ser reconocidos y controlados mediante métodos biológicos por parte de las administraciones y agencias correspondientes. Estos métodos de biomonitorización pueden aportar distintos tipos de información: moleculares, de estrés fisiológico, de acumulación de contaminantes, de reacciones sinérgicas o antagonistas, de pérdidas en biodiversidad. Todos esos datos de la reacción de los seres vivos se pueden representar gráficamente mediante sistemas de información geográfica —SIG— que resaltarán, de una forma muy gráfica, los posibles significados de los cambios detectados, incluso cuando las perturbaciones sean poco visibles o estén muy localizadas.

El rango de objetivos a los cuales se pueden aplicar los procedimientos de biomonitorización ha crecido exponencialmente en los últimos 10 años, desde la calidad de las aguas y la contaminación atmosférica, hasta la acumulación de metales, pero también a la detección de un posible cambio climático, o a hechos tan importantes como los efectos que la alteración y fragmentación de los hábitats (debidos a la acción antrópica) tienen sobre los recursos naturales, sobre los cambios que se detectan en la biodiversidad general, sobre los ciclos biogeoquímicos, etc. En resumen, son de uso generalizado para la implementación de prácticas de

conservación de especies y hábitats, del riesgo de amenaza y en la toma de decisiones para la gestión de los mismos.

De acuerdo con Hunsaker (1993), un «indicador» es una característica o entidad que puede ser medida para estimar el estado y las tendencias de unos tipos determinados de recursos ambientales. Un «índice» es un valor generalmente presentado como un porcentaje, que sirve para expresar una característica y describir el estado de un bioindicador, p. ej., si los líquenes son indicadores los valores obtenidos de la evaluación de su diversidad pueden ser usados como un índice, un descriptor, de las condiciones ecológicas de su entorno. La respuesta biológica de los seres vivos o de los ecosistemas es muy compleja y no tan simple como una relación directa causa-efecto. Así, se ha producido una demanda muy rápida de métodos fiables y económicos para la evaluación de las condiciones biológicas o de la sostenibilidad de los desarrollos económicos o de la ordenación de los territorios y sus planificaciones futuras; todo ello ha conllevado al desarrollo de líneas de investigación muy diversas para la calibración y la detección de buenos bioindicadores. La calidad de las predicciones de los bioindicadores depende de si también se establecen buenos sistemas de referencia de los estándares o de las condiciones que se asumen como «normales».

7.2. BIOMONITORIZACIÓN DE CAMBIOS AMBIENTALES CON LÍQUENES

Un organismo se considera como bioindicador cuando presenta reacciones identificables con los distintos grados de concentración o combinación de contaminantes en la atmósfera o con otro tipo de alteraciones ambientales. Cuando, además, se puede establecer una relación cuantitativa entre los daños observados y el grado de desviación de las «condiciones normales», se dice que es un biomonitor, es decir, se convierte en un «instrumento» biológico de registro. También puede ser un bioacumulador, cuando la concentración de un contaminante en el talo se puede relacionar con las concentraciones de ese agente en el medio.

Un buen bioindicador debe cumplir una serie de condiciones básicas: **1.** ciclo de vida largo talo perenne, **2.** amplia distribución, **3.** reacciones de tolerancia o evitación, **4.** escasa movilidad, **5.** biomasa suficiente, **6.** interacciones mínimas con el sustrato, **7.** homogeneidad genética. Con excepción del último punto, los líquenes por su biología y modo de vida son los organismos que mejor cumplen esas condiciones. Además, **8.** carecen de protección (cutícula) frente al exterior, por lo que sus talos están en estrecha relación con el ambiente y adquieren gran parte de sus nutrientes de la deposición ambiental, **9.** no excretan por lo que concentran y acumulan los diferentes compuestos, **10.** suelen ser estenoicos, reaccionan frente a las pequeñas variaciones del ambiente —como el pH—, **11.** no

pueden seleccionar las sustancias que absorben y concentran a partir de soluciones diluidas. A todo ello, se añade que no sufren plagas y no dependen de las anomalías del suelo. Los líquenes, particularmente los epífitos, están considerados como los mejores bioindicadores de la contaminación atmosférica, ya que las características de las cortezas están fijadas genéticamente y son constantes en cada especie de árbol o arbusto, por lo que constituyen un sustrato homogéneo; además, los líquenes situados en las zonas medias de los troncos reflejan con bastante fiabilidad las condiciones medias del aire circundante en una estación determinada.

Así pues, los líquenes son monitores continuos e integradores de las condiciones ambientales y sus cambios. Con ellos, se pueden establecer escalas con especies que tienen requerimientos y sensibilidades diferentes. El grado de respuesta es diferente, para cada especie o población, porque depende del equilibrio entre la capacidad de amortiguación de los efectos y la tolerancia a los mismos. La sensibilidad no depende de la forma de crecimiento sino de la capacidad tampón del talo, de la anatomía, de su capacidad de retención de agua, de sus mecanismos de detoxificación de efectos adversos, etc. y podrá ser modificada por las distintas condiciones ambientales y por el área de distribución (Nimis et al., 1990).

Las respuestas de los líquenes a los cambios medioambientales pueden ser usadas, con respecto a muy diversos factores de estrés, desde la continuidad ecológica y estructural de los sistemas forestales hasta para la detección temprana de la deposición de agentes contaminantes en los ecosistemas naturales o en núcleos urbanos (v. fotos 25, 26). Por otro lado, los líquenes sensibles a determinados factores de estrés pueden ser usados como biomonitores de los cambios florísticos, y de las alteraciones en biodiversidad, por sí mismos, y así son usados en las Listas Rojas de especies raras, amenazadas o en peligro de extinción, UICN. Los líquenes son, desde el Convenio para la Biodiversidad de 1992, un referente muy importante para la detección y predicción de las pérdidas de la biodiversidad general, dada su pronta reactividad.

7.2a. *Contaminación atmosférica y cambio climático global*

Las principales reacciones consideradas en la biomonitorización son los síntomas visibles de daños (efectos nocivos), las variaciones en la vitalidad (cobertura y presencia/ausencia de tipos de reproducción), las variaciones en la respuesta funcional (tasa fotosintética, fluorescencia de las clorofilas, contenido en pigmentos) o las alteraciones de la biodiversidad (composición florística de las comunidades) y en la estructura o función de los ecosistemas. Se usan algunas de esas reacciones para establecer redes biológicas de control y seguimiento de la contaminación atmosférica (monitorización), de modo que permitan seguir la evolución de la «calidad del aire» en amplios territorios y el diseño de modelos para

predecir esa evolución. Las metodologías adoptadas en Europa y Norteamérica son algo distintas entre ellas. Recientemente, en Europa occidental, ya se ha empezado a poder utilizar los líquenes en la detección de los procesos de calentamiento global de la troposfera (Insarov et al. 1999; van Herk et al. 2002).

Se conoce bastante sobre los efectos del anhídrido sulfuroso (SO_2) en los líquenes, así como del ácido fluorhídrico, los metales pesados o los radioisótopos, pero en la actualidad es la contaminación fotoquímica (Ozono — O_3 —, óxidos de nitrógeno — NO_x — y peroxiacetilnitratos —PAN—) el problema más preocupante, sobre todo —pero no exclusivamente— en climas mediterráneos. Un ejemplo, *Parmelia quercina*, uno de los líquenes foliáceos más comunes y resistentes al SO_2 , en la Península Ibérica, presenta síntomas visibles y fisiológicos de daños muy importantes en el arco levantino, donde se han constatado elevadas concentraciones de estos compuestos, hasta el punto de que en algunas localidades sus poblaciones están en serio peligro. En muchas zonas del sur de California presenta los mismos síntomas. Sin embargo, en estos lugares las especies reputadas como sensibles al SO_2 , p. ej., *Usnea sp. pl.*, han incrementado su cobertura. Se trata de problemas muy complejos que todavía requieren mucha experimentación.

Se pueden aplicar distintos tipos de metodologías, los llamados métodos de campo, pueden basarse en:

- La distribución de las especies de un territorio o de algunas con sensibilidad conocida (datos florísticos, presencia o ausencia).
- En la diversidad de las comunidades liquénicas: índices de pureza atmosférica (IPA = IAP), de riqueza de especies, de frecuencias (Hawksworth & Rose, 1970, Rose, 1976; Nimis et al. (1990); Terrón & Barreno, 1993).
- Daños observables en especies sensibles (Barreno et al., 1996; 1998).
- Índices de continuidad ecológica (Rose 1976, 1993; Coppins & Coppins 2002).
- Índices y listas de hemerobia y hemerofobia (Litterski 1998, 1999; Trass et al. 1999; Zedda 2002).

En la elección de una de estas metodologías hay que tener en cuenta: las características del área, el grado de efectos observados, el conocimiento de la flora y vegetación liquénicas y el grado de resolución que se requiera.

El índice de diversidad más usado últimamente ha sido el Índice de Pureza Atmosférica (IAP) propuesto por Amman y mejorado por Nimis et al. (1990), cuyo algoritmo se expone a continuación,

$$\text{IPA} = 1/m \sum_1^n f$$

donde: m = número de forófitos por estación. n = número total de especies en el inventario. f = frecuencia (tomando valores entre 1 y 10). Se realiza la suma de

las frecuencias de cada una de las especies encontradas, (dentro de las zonas delimitadas como áreas de inventario) en cada árbol, dentro de cada estación, y se calcula la media aritmética de los árboles muestreados, éste es el valor del IPA en la parcela seleccionada. Se debe realizar sobre un mínimo de 10 árboles en cada una de las estaciones. Se deben seleccionar los árboles, de modo que cumplan los requisitos preestablecidos para cada territorio, de entre todos aquéllos presentes en cada estación, p. ej.: 1. Entre 20 y 40 cm de diámetro. 2. Inclinación del tronco menor de 20° respecto a la perpendicular. 3. Estar suficientemente alejados de las redes viarias. 4. No incluidos en formaciones arbóreas excesivamente cerradas. 5. No existencia de rebrotes en la base, etc. Cada uno de los árboles seleccionados, es posteriormente marcado con un número. El área de inventario se suele delimitar entre 50 cm desde el suelo hasta 180 cm sobre el tronco (integrando o no todas las orientaciones), y se contabiliza la frecuencia de aparición de cada especie, sobre un área de 20 x 50 cm, subdividida en 10 subcuadrados.

El diseño experimental incluye la determinación de las estaciones a muestrear en el área y, además, hay que tener en cuenta el tipo de fuentes emisoras (central térmica, complejos industriales, etc.), el tipo de contaminantes presentes, sus posibles combinaciones y concentraciones en la atmósfera, la dirección de los vientos dominantes, etc. El área debe ser lo suficientemente grande para que en sus límites se puedan encontrar zonas con la flora líquénica natural de ese territorio. Se precisa también un buen conocimiento: 1. de la flora líquénica y de los forófitos más comunes, 2. del uso habitual del territorio, 3. de las alteraciones anteriores que haya sufrido (incendios). En la selección de las estaciones, hay que tener en cuenta: 1. la abundancia de forófitos con flora líquénica para estandarizar el muestreo, 2. utilizar pocos tipos de forófitos, 3. el diámetro de los troncos debe variar poco y ser adecuados para que el área de inventario en los troncos sea la comprendida entre 0,5 y 2 metros, 4. no se pueden mezclar los datos obtenidos en distintos tipos de forófitos. La densidad de estaciones dependerá del tamaño del área y del grado de resolución que se precise.

Además, hay que correlacionar los datos de campo con los datos físico-químicos de que se disponga, para poder encontrar especies/grupos de especies que sean buenos bioindicadores en ese territorio, y elaborar mapas que pueden indicar el grado de contaminación o alteración del mismo. Los intervalos de valores de los índices obtenidos se cartografían sobre mapas del territorio donde se agruparán áreas, con las estaciones que tienen resultados similares. En general, estas áreas suelen ser concéntricas con respecto a los focos emisores, estando más alejadas las menos contaminadas. Sin embargo, la forma de estas áreas puede estar modificada por la topografía del territorio y la dirección de los vientos dominantes (Barreno, 2003).

Este método ya se ha revelado como muy adecuado y fácilmente reproducible en otros estudios realizados en Europa y los de nuestro equipo en las áreas ibe-

ro levantinas (Barreno et al., 1992; 1996, 1998). Asta et al. (2002) lo proponen con ciertas modificaciones para calcular la diversidad líquénica en todo ámbito europeo, como LDV (valores de diversidad líquénica) y LDC (clases de diversidad líquénica) de tal forma que no presuponga exclusivamente aspectos de contaminación sino de grados de alteración ambiental; tiene inconvenientes sobre los costos de su aplicación y la imprescindible adecuación de los protocolos a los bosques mediterráneos.

Los mapas de distribución de especies comunes, más los mapas de riqueza de especies dan tan buena bioindicación como el método numérico más complejo, el problema puede estar en el insuficiente conocimiento de la flora líquénica en esa área (Rose, 1993).

Los contaminantes atmosféricos producen una disminución en la tasa fotosintética, un aumento de la respiración, alteración de las membranas y pérdida de iones K, Ca, Mg degradación de las clorofilas (feofitinas), despigmentación del tallo, alteraciones morfológicas, disminución de la vitalidad, y de la fertilidad, degeneración de los simbioses, aparición de sustancias coloreadas extrañas y cambios en la flora acidófila y/o nitrófila (Ahmadjian, 1993; Barreno et al. 1999). La principal metodología para la cuantificación de los efectos de los contaminantes en laboratorio consiste en evaluar las respuestas fisiológicas de los líquenes someténdolas a fumigaciones con contaminantes en condiciones controladas para SO₂ (Deltoro et al., 1999, Calatayud et al. 1999); para Ozono (Calatayud et al. 2000).

Las variables usadas para medir las alteraciones metabólicas son: inhibición de la fotosíntesis, cambios en la respiración, incremento del flujo de iones K⁺ (Arhoun, et al. 2000), degradación de las clorofilas, etc. Los diferentes agentes contaminantes suelen tener propiedades físico-químicas distintas, pero afectan los sistemas fisiológicos de los líquenes de forma parecida, el orden de sensibilidad de los procesos fisiológicos líquénicos parece ser: fijación de N₂, pérdida de iones K⁺, fotosíntesis, respiración, degradación de los pigmentos.

Existen numerosos trabajos sobre los efectos del SO₂; cuando se somete a los líquenes a elevadas concentraciones de este gas durante un tiempo largo, se produce una reducción de la fotosíntesis, parece que el SO₂ interacciona y altera numerosos procesos: los iones SO₃= y SO₃H⁻ actúan como aceptores/donadores de e⁻ en las cadenas de transporte de los dos fotosistemas de los cloroplastos (Deltoro et al., 1999, Calatayud et al. 1999). El SO₂ disuelto podría interferir con el flujo de electrones al NADP⁺. En los cloroplastos el SO₃= actúa como inhibidor compitiendo con enzimas como ribulosa-bifosfato carboxilasa, puede interferir enzimas y proteínas estructurales de los tilacoides y producir su degeneración así como de los pirenooides. En contraste, cuando se somete a los líquenes a concentraciones bajas de SO₂ durante tiempos de exposición cortos se obtiene un aumento de la fijación de C¹⁴. La acción reductora/oxidante del SO₂ depende del pH del sustrato.

Los agentes oxidantes (O_3 , PAN), producen siempre una disminución de la fotosíntesis, aumentan la permeabilidad celular por peroxidación de los lípidos y oxidación de los grupos SH, afectan al transporte de electrones entre los fotosistemas, la alteración de las membranas modifican los flujos de energía (Calatayud et al. 1997; 2000). También se produce una disminución de la respiración al aumentar la concentración de SO_2 y el tiempo de exposición, probablemente por alteración del ATP mitocondrial y el incremento de la pérdida iones K^+ . En las cianobacterias, la fijación de nitrógeno parece el proceso más sensible por acción directa del SO_2 y el FH sobre la nitrogenasa.

Nuestro equipo ha desarrollado un nuevo método basado en la valoración estadística de los daños visibles, que se pueden observar sobre las especies más sensibles (Barreno et al. 1998), que es fácil de aplicar y permite hacer seguimientos rápidos de la evolución de algunas especies. Esta información se pueden complementar con otros análisis de laboratorio como los parámetros de la cinética de la fluorescencia de la clorofila a (Calatayud et al. 1999, 2000) o la lixiviación de iones por medio de electroforesis capilar zonal (Arhoun et al. 2000), con los que pueden correlacionarse estadísticamente (Barreno et al. 1999) y se pueden representar en SIG.

7.2b. *Biología de la Conservación. La presencia de especies raras o amenazadas de líquenes en los bosques. Importancia en la gestión medioambiental*

Se pueden distinguir tres tipos de «rareza» de especies en los sistemas forestales:

1. Especies extremadamente raras y seguramente incluíbles en las listas de especies muy amenazadas. Suele tratarse de especies relictas que, en muchos casos, se pueden relacionar con acontecimientos paleohistóricos.
2. Especies que están asociadas con «la continuidad de los bosques» —concepto temporal— o con la presencia equilibrada de ejemplares de árboles viejos —estructura de clases de edad—.
3. Especies que han desaparecido de la mayoría de los territorios por las presiones ambientales (antrópicas) que han sufrido sus hábitats originales.

Algunas especies pueden incluirse en todas esas categorías al mismo tiempo debido sobre todo a que los hábitats donde muchas de ellas se encuentran han disminuido en tamaño. Sin embargo, muchas especies raras no dependen de la continuidad de los bosques y muchas de las que sí que están asociadas con la temporalidad no son necesariamente raras. Tanto en Norteamérica como en Europa, la mayoría de las especies raras o amenazadas son epífitas y están relacionadas con la estructuración y la continuidad temporal de los sistemas forestales, además de con la circulación y no acumulación de elementos químicos, tales como el C,

N, P, S, etc. Esto parece deberse mayoritariamente a que muchas de las labores de silvicultura no están suficientemente controladas y carecen de planes de gestión adecuados y basados en resultados científicos. Sin embargo, es cierto que los medios epífitos están mejor estudiados que los saxícolas, por lo que en el futuro esta situación cambiará, sin duda.

Cortar los forófitos sobre los que crecen los líquenes epífitos significa quitarles el soporte y estos organismos no disponen de bancos de acumulación de diásporas o de sistemas de raíces en el suelo para sobrevivir. El fuego, las talas indiscriminadas de árboles viejos y el manejo de bosques con perspectivas silviculturales han propiciado, en todo el hemisferio norte, la desaparición de biotopos imprescindibles para ciertas especies de líquenes, de los que no se sabe cómo van a mantener sus poblaciones y diásporas para el futuro.

El otro gran problema son los cambios en la incidencia lumínica en el interior de los bosques y los aportes de sustancias nitrogenadas que favorecen la entrada de especies de estrategia oportunista y de amplios límites de tolerancia. Si de verdad se quiere realizar una buena estrategia de la conservación de la Biodiversidad en espacios naturales, es necesario tener en cuenta a estas especies cuyas poblaciones de bajo número de individuos las hacen verdaderamente vulnerables a la extinción. Atención también se debe de prestar a que el exceso de árboles viejos, por la falta de equilibrio en las comunidades de herbívoros, conduzca a la pérdida de diversidad por eliminación del gradiente de las clases de edad de las distintos árboles del bosque.

La mejor manera de preservar las poblaciones de los líquenes incluidos en las distintas categorías de amenazas, y aquellos que viven en microambientes muy especializados o en hábitats muy reducidos por la presión antrópica, es la conservación de esos hábitats, realizando un mínimo de actuaciones en esos ecosistemas para evitar su desestabilización. No menos importante es promover los estudios sobre la biología y ecología de estas especies con el propósito de entender mejor sus requerimientos y preferencias (McCune, 2000). Un aumento en el número de claros dentro de un bosque —propiciado por las talas— puede conllevar una disminución en el número y abundancia de algunas de estas especies. La protección de áreas con un buen número de pies de árboles de gran edad es de vital importancia (Sillett & Goslin, 1999) para el funcionamiento de los distintos sistemas boscosos, ya que está suficientemente demostrado algo básico: el conjunto de árboles de distintas clases de edad, tiene un efecto mayor a la hora de proporcionar biotopos propicios para la existencia y propagación de esos líquenes que los árboles viejos aislados, situados en conjuntos de pies de mediana edad, que es lo que se suele potenciar para favorecer la productividad por parte de los gestores (McCune, 2000). Además, en los bien manejados, habrá un alto número de nichos utilizables, siendo algunos de ellos altamente específicos (troncos gruesos, decorticados, caídos, etc.).

Los bosques con continuidad ecológica y bien estructurados, albergan conjuntos de especies que son raras o están ausentes en los bosques jóvenes. La destrucción de los bosques «viejos» es uno de los problemas que está recibiendo una mayor atención en la actualidad. Existe bastante información bibliográfica en distintas partes del mundo desde la Columbia Británica hasta Gran Bretaña o Tasmania, aunque tenemos un claro déficit de información en las zonas ibéricas, incluidos los archipiélagos, y en las áreas del Mediterráneo en general. Los bosques antiguos difieren en su composición en líquenes epífitos de los de la misma asociación en estado juvenil, aunque no necesariamente en la diversidad total, pero sí en biomasa y composición florística. El funcionamiento «normal» de los ecosistemas requiere el mantenimiento de los niveles normales de biomasa de los líquenes epífitos, puesto que, aunque son organismos con tasas de crecimiento muy bajas, están integrados en los ciclos biogeoquímicos.

Tras el estudio sistemático de las masas boscosas de Gran Bretaña, Rose (1976) propone el llamado índice RIEC que rinde valores comparables para la evaluación de bosques maduros utilizando ciertas especies de líquenes, sobradamente testadas en su carácter bioindicador. Este índice $RIEC = n / 20 \times 100$, está basado en un conjunto de 30 especies indicadoras, que él considera «fieles» a bosques bien maduros, viejos, muy estables ecológicamente en el tiempo. Este conjunto de especies (Woolseley, 1991) fueron definidas para los bosques de Gran Bretaña, y su uso en otros lugares debe hacerse con mucha cautela, ya que los taxones que deben ser utilizados como óptimos en este tipo de biomonitorización pueden variar enormemente, incluso dentro del mundo atlántico, como ocurre, p. ej., en los Pirineos occidentales (Etayo & Gómez Bolea, 1992). Rose diseña en 1993 un nuevo índice, el NIEC, en el que considera un total de 70 especies que pueden ser utilizadas para calcular intervalos de gradación en el estado de conservación de varios tipos de bosques y que es aplicable a los informes de Evaluación de Impacto Ambiental en Gran Bretaña; ambos índices no son excluyentes. En cualquier caso, lo conveniente es tener un conocimiento pormenorizado de la flora de cada zona, hacer estudios regionales adecuados para poder aplicarlos correctamente (Coppins & Coppins, 2002). Lo mismo puede decirse para calcular el grado de hemerobia (fragmentación) y la frecuencia de aparición de líquenes hemeróforos (Litterski, 1998; Zedda 2002) en esos sistemas forestales.

El conocimiento existente de la flora epífita de la Cornisa Cantábrica no parece que sea de momento suficiente para que sea posible su aplicación correcta a la Reserva de Muniellos y sería arriesgado apuntar el grado de rareza o amenaza de algunas especies, aunque sí podemos avanzar de nuestros resultados que en la Reserva de Muniellos hay muchos taxones raros, o francamente amenazados o desaparecidos de otros territorios (Scheidegger et al. 2002), que ofrecen allí una cierta abundancia, el límite meridional de su área de distribución conocida o tamaños de los talos verdaderamente poco frecuentes.

Especies consideradas, en toda la literatura, como muy sensibles a las pequeñas alteraciones ambientales en Europa las cuales están presentes y son relativamente abundantes en Muniellos: *Alectoria sarmentosa*, *Arthonia cinnabarina*, *Arthonia dydyma*, *Arthonia leucopellaea*, *Arthonia stellaris*, *Arthonia vinosa*, *Arthopyrenia nitescens*, *Bacidia beckhausii*, *Biatora epixanthoides*, *Biatoridium delitescens*, *Bryoria fuscescens*, *Buellia erubescens*, *Calicium quercinum*, *Chaenotheca brunneola*, *Chaenotheca stemonea*, *Cladonia arbuscula* subsp. *mitis*, *Cladonia caespiticia*, *Cladonia carneola*, *Cladonia ciliata* var. *ciliata*, *Cladonia digitata*, *Cladonia metacorallifera* var. *reagens*, *Cladonia polydactyla*, *Collema flaccidum*, *Degelia plumbea*, *Dimerella lutea*, *Fuscopannaria ignobilis*, *Fuscopannaria mediterranea*, *Gyalideopsis calabrica*, *Lecanora circumborealis*, *Leptogium cyanescens*, *Leptogium hibernicum*, *Lobaria amplissima*, *Lobaria pulmonaria*, *Lobaria scrobiculata*, *Lobaria virens*, *Maronea constans*, *Megalaria laureri*, *Mycobilimbia sanguineoatra*, *Mycoblastus sanguinarius*, *Nephroma parile*, *Nephroma resupinatum*, *Nephroma laevigatum*, *Ochrolechia microstictoides*, *Ochrolechia pallescens*, *Ochrolechia szatalaensis*, *Ochrolechia turneri*, *Opegrapha niveoatra*, *Ochrolechia ochrocheila*, *Ochrolechia viridis*, *Ochrolechia vulgata*, *Pachyphiale carneola*, *Pannaria conoplea*, *Pannaria rubiginosa*, *Parmeliella triptophylla*, *Peltigera collina*, *Peltigera horizontalis*, *Pertusaria amara*, *Pertusaria coronata*, *Pertusaria flavida*, *Pertusaria hemisphaerica*, *Pertusaria hymenea*, *Pertusaria leioplaca*, *Pertusaria ophthalmiza*, *Pertusaria pustulata*, *Phaeographis dentritica*, *Phlyctis agelaea*, *Phyllopsora rosei*, *Physconia venusta*, *Placynthiella dasaea*, *Porina aenea*, *Psoroma hypnorum*, *Ptychographa xylographoides*, *Pyrenula nitida*, *Pyrenula nitidella*, *Pyrenula occidentalis*, *Ramonia subsphaeroides*, *Ramonia luteola*, *Sphaerophorus globosus*, *Sphinctrina turbinata*, *Sticta fuliginosa*, *Sticta sylvatica*, *Strigula mediterranea*, *Thelopsis rubella*, *Thelotrema lepadinum*, *Trapeliopsis pseudogranulosa*, *Usnea cornuta*, *Usnea filipendula*, *Usnea florida*, *Usnea longissima*.