

Los Briófitos y el Medio Urbano

Por: Alicia Soria* y Eugenia Ron**

En la actualidad, se considera la ciudad dentro del "ecosistema urbano"

“

En las ciudades, las lluvias y las nieblas son más frecuentes, la temperatura más alta y el rocío muy escaso

“

Se ha estudiado la brioflora de catorce ciudades españolas

Según las estimaciones de las Naciones Unidas, alrededor de un 40% de la población mundial es urbana, y en el año 2025 un 63% de los habitantes del mundo vivirá en las ciudades.

Con estas cifras es lógico que en los últimos años el interés por el medio urbano se haya incrementado considerablemente, presionado, sin duda, por la preocupación ante la degradación de este peculiar ecosistema, debida fundamentalmente a la polución y a la constante demanda de suelo urbano que va eliminando todos los ecotopos primarios, y por lo tanto, cualquier conexión con la naturaleza.

EL MEDIO URBANO

La urbanización supone la "...sustitución de los ecosistemas naturales por centros de gran densidad creados por el hombre, donde la especie dominante es la humana y el medio está organizado para permitir su supervivencia". Este es el concep-

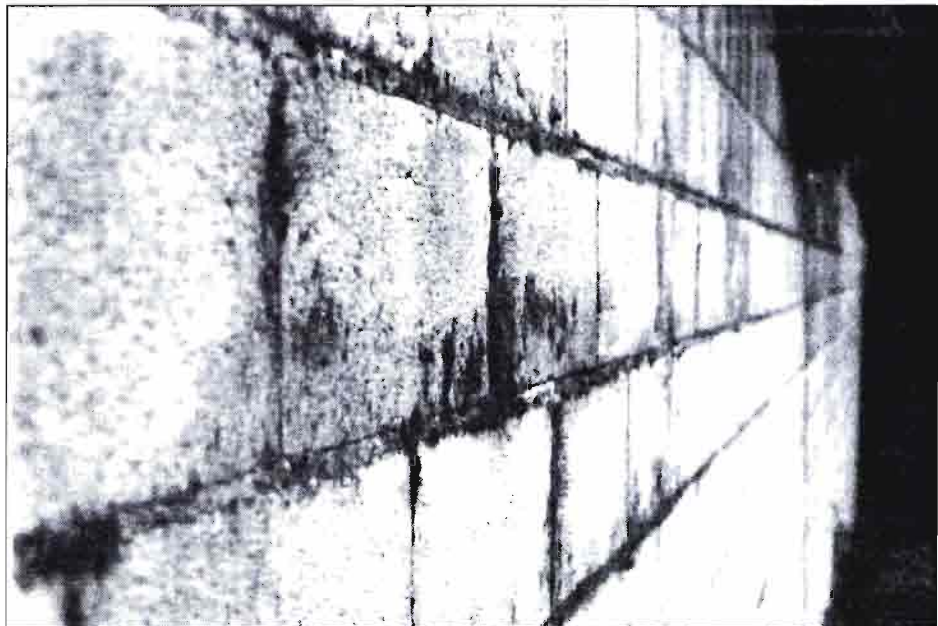
to de ciudad tal y como lo define Surtees (1971). Desde principios de los años 70 surgió una polémica en torno a la consideración de la ciudad como ecosistema y en la actualidad se ha generalizado el uso del término "sistema urbano" o, más aún, "ecosistema urbano", cuyas características ecológicas se pueden resumir en los siguientes puntos (Sukopp & Werner, 1987):

1.-Elevada producción y consumo de energía secundaria, que en algunos casos extremos es más de cuatro veces la potencia de la irradiada por el sol.

2.-Gran importación y exportación de materiales y enorme cantidad de desechos, que en gran parte son tóxicos y no descomponibles. Elevación en varios metros de la superficie del suelo por el llamado "estrato cultural".

3.-Fuerte contaminación del aire, suelo y agua. Presencia de eutrofización y fomento del efecto "invernadero".

4.-Disminución de las aguas subterrá-



Aspecto estival de una comunidad de musgos creciendo sobre la argamasa de un muro.

(*) Dpto. Ciencias del Medio natural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.

(**) Dpto. Biología Vegetal I. Facultad de Biología. Universidad Complutense. 28007 Madrid

neas debido a su extracción y a la construcción de superficies impermeables.

5.—Cambios en el perfil de la superficie y en la formación natural del suelo, debidos a la pavimentación, rellenado, excavación y compresión.

6.—Desarrollo de un clima típicamente urbano, caracterizado sobre todo por temperaturas más altas y sequedad relativa ("isla térmica urbana").

7.—Espacio heterogéneo y en mosaico.

8.—Desequilibrio en favor de los organismos consumidores, baja producción primaria y débil actividad de los organismos detritívoros.

9.—Cambios fundamentales en las poblaciones vegetales y animales.

CLIMA URBANO

La masa compacta de edificios y pavimentos que constituye la ciudad supone tal alteración de las condiciones climatológicas de la zona en que se encuentra, que ha hecho posible la introducción del término "*clima urbano*" y el desarrollo de multitud de estudios en torno al tema. En ciudades pequeñas, la incidencia del clima propiamente urbano es menor, y las diferencias entre la ciudad y sus alrededores, son también menores. Según Oke (1973), la temperatura aumenta 1°C cada vez que la población multiplica por 10 su número de habitantes.

La reducción de la radiación está provocada por la gran cantidad de partículas en suspensión que existen en la ciudad y que absorben la luz incidente. A ello se suma la gran masa de edificios que impiden que llegue toda la radiación a los niveles

inferiores de la ciudad, como si del dosel arbóreo de un bosque se tratase. Sin embargo, existe en las ciudades una fuente de luz artificial que es el alumbrado de las calles y los coches, que provocan una extensión del fotoperiodo que influye en las plantas que allí crecen.

Las principales causas del aumento de temperatura de las ciudades se pueden resumir en los siguientes puntos: una alta proporción de energía secundaria, una modificación de las características de absorción y un menor efecto refrigerador (Bryson & Ross, 1972).

En relación con el primer punto, el calor que se añade a la atmósfera urbana por la generación de energía a partir de la combustión de fuentes fósiles para las calefacciones y la industria y por el transporte es muy elevado; en algunas ciudades llega a exceder al producido por el sol en invierno.

El segundo punto mencionado se refiere a la diferente capacidad térmica de las superficies urbanas en comparación con los suelos naturales. La de los edificios, el asfalto y, en general, todos los materiales rocosos de la ciudad, es mucho mayor que la de las superficies del campo y del agua, lo cual se traduce en una menor reflexión de la radiación incidente y en una superior conducción y almacenamiento del calor. Esto significa que por la noche, así como el suelo natural se enfría rápidamente, la liberación de calor de las superficies urbanas es paulatina y a veces ni siquiera es total a la llegada del alba. La ciudad en su conjunto, con sus muros, tejados y calles, actúa como un laberinto de reflectores, absorbiendo parte de la energía recogida y reflejando el resto; así, casi

la superficie entera de la ciudad es capaz de aceptar y acumular calor.

La tercera causa del aumento de temperatura en las ciudades, el menor efecto refrigerador, está ligada a la alteración del balance hídrico en los medios urbanos. Un proceso que se podría definir como inherente a la urbanización, es el drenaje del agua de lluvia mediante la construcción de pavimentos, alcantarillas y desagües para su eliminación rápida, con lo que no se puede invertir parte de la energía recibida en el proceso de evapotranspiración que supondría un efecto refrigerante como ocurre en el campo. En general la velocidad del viento a nivel del suelo en las ciudades es menor que en el medio rural, debido a las construcciones de tipo vertical, que aumentan las desigualdades del terreno. En ocasiones, sin embargo, la disposición de los edificios puede provocar un efecto de cañón, reforzando las corrientes de aire. Es frecuente que se fomen turbulencias sobre todo por las noches, cuando los edificios liberan el calor acumulado durante el día. Es fundamental el papel del viento en la difusión de los contaminantes gaseosos y su ausencia o baja fuerza pueden provocar serias situaciones de contaminación en la ciudad. El viento tiene una influencia directa en la vegetación como agente disipador y de transporte de abrasivos como arena, cristales de hielo, hollín, etc..., y de contaminantes aéreos gaseosos. También tiene el efecto de aumentar la evaporación, y por lo tanto, la desecación, lo que tiene especial incidencia en los epífitos de árboles aislados o de bordes de bosques y parques.

La reducción de la humedad relativa en la ciudad está motivada por la eliminación del proceso de evapotranspiración al que ya se ha aludido. Como apunta Schmid (1975), el drenaje de las ciudades parece ser muy eficaz, ya que a pesar de las cantidades de vapor de agua emitidas a la atmósfera por las combustiones, por las chimeneas de las industrias y la precipitación más alta, la humedad relativa es menor que en el campo.

Las ciudades parecen recibir más precipitación total anual que los alrededores. El aumento de la nubosidad urbana se produce por la presencia de abundantes núcleos de condensación (partículas aéreas), unido al hecho de la ausencia de viento y al estancamiento del calor. La presencia de lluvias contribuye a la limpieza de la atmósfera urbana, pero si éstas son ácidas por el SO₂ u otros elementos, se puede producir una acidificación de todas las superficies artificiales y vegetales que se encuentren en el suelo.

Las nieblas son más frecuentes en la ciudad que en el campo, también debido a las numerosas partículas en suspensión que actúan como núcleos de condensación. Además, el SO₂ que se oxida a SO₃, que es higroscópico, favorece la forma-



Comunidades de briófitos pulviniformes saxi-casmófitos.

FORESTACION URBANA

ción de nieblas. En cambio el rocío es muy escaso en las ciudades, ya que se forma cuando los estratos más bajos del aire se han enfriado por debajo del llamado "punto de rocío" depositándose el agua en forma de partículas. Cuanto más húmedo es el aire, lo cual no es habitual en la ciudad, menos enfriamiento se requiere para que alcance ese punto.

Este compendio de características que definen el clima de la ciudad ha quedado resumido en un término muy gráfico que lo describe perfectamente: "isla térmica urbana".

En el invierno, las frecuentes situaciones anticiclónicas tienden a favorecer la concentración de contaminantes, debido a la falta de dispersión tanto horizontal como vertical. Se suelen dar inversiones térmicas, sobre todo cuando hay una capa

horizontal es mucho mayor, pudiendo dispersarse con más eficacia la contaminación.

EL SUELO URBANO

La consideración del suelo como espacio vivo que nutre a animales y plantas y amortigua y filtra elementos exteriores y renueva las aguas subterráneas, no tiene sentido en la ciudad, ya que el proceso de urbanización supone una alteración total de su superficie con el único fin de servir de asentamiento de edificaciones.

El paso de vehículos, o incluso un tráfico pedestre concentrado, produce una compresión o compactación del suelo descendiendo su porosidad y provocando una disminución de la velocidad a la que el agua de lluvia puede infiltrarse, eliminando

de deshecho, fertilizantes y pesticidas que se acumulan. Los valores de pH que se dan en los asentamientos urbanos van de 6 a 8,5 (Olsson, 1978; Blume, 1982). A esta alcalinización se suma una salinización provocada por el vertido de sal realizado en invierno en los países fríos, o la causada por el riego insuficiente de los parques durante la sequía estival en los países templados.

La escorrentía también supone una fuente de contaminación para los suelos urbanos, ya que arrastra todos los materiales responsables y resultantes de la abrasión de los pavimentos: los aceites, la sal contra el hielo y las partículas con contenido de metales pesados, al tiempo que contribuye a la eutrofización aportando fosfatos (Sukopp & Wemer, 1982).

CONTAMINACION URBANA

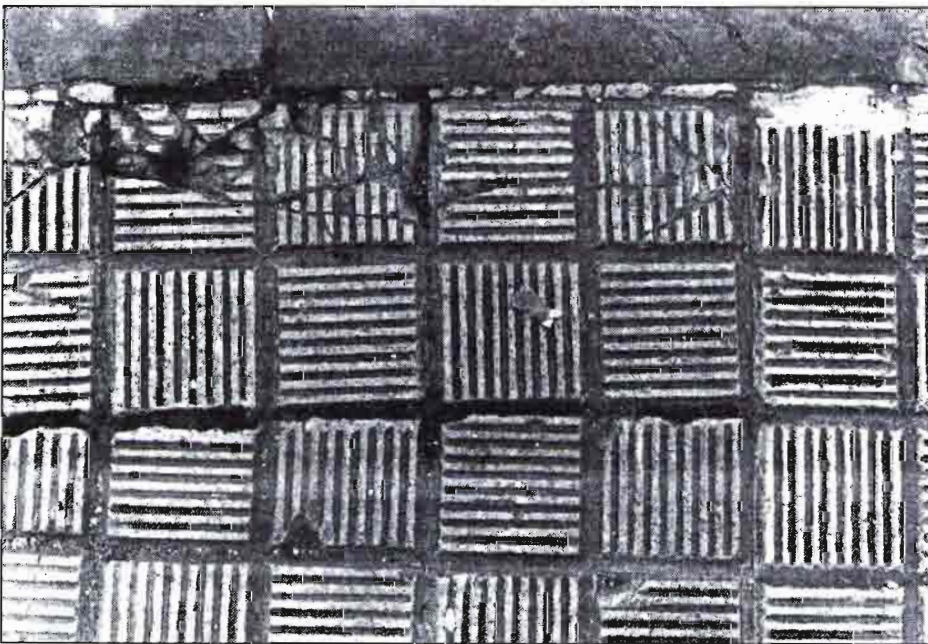
Kratzer (1956) ha comparado las ciudades modernas con volcanes activos, por su tendencia a emitir una gran cantidad de partículas y gases dentro de la baja atmósfera.

Los contaminantes más frecuentes en el aire urbano son: anhídrido carbónico, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehídos, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, metales pesados, derivados halogenados y partículas en suspensión de distinta naturaleza. Todos ellos proceden de las calefacciones domésticas, vehículos e industrias.

En los últimos años se ha intentado reducir las emisiones en muchas ciudades, aunque todavía las concentraciones de partículas y fases son mucho mayores que en el campo.

Los niveles de dióxido de azufre han descendido mucho por el uso de carbón bajo en azufre y por la introducción paulatina del gas natural como fuente de energía doméstica, cuyos contenidos en azufre y posibilidad de emisión de partículas, son mucho menores que en otros combustibles. Sin embargo, el ozono y el nitrato de peroxiacetil (PAN) que se forman sobre todo en verano, como consecuencia de una fuerte insolación asociada a la liberación de NO_2 de los humos de escape de los coches, han continuado aumentando con el número de vehículos.

Entre los principales estudios abordados en relación con la ciudad, se encuentran los de bioindicación y biomonitorización de los niveles de polución, encaminados a valorar la influencia conjunta de todos los factores que actúan en la ciudad sobre los organismos que viven en ella. La existencia de posibles antagonismos o sinergias no la pueden apreciar los sensores físico-químicos, pero sí los bioindicadores. En contrapartida, con estos últimos, las relaciones causa-efecto no siempre son claras y es difícil estandarizar el proceso de medición.



Colonización, exclusivamente por musgos, de un pavimento urbano.

de nieve en el suelo que condiciona el que la temperatura más baja del aire se encuentre a nivel del suelo y no se pueden dar movimientos verticales de las capas de aire que dispersen los contaminantes, con lo cual éstos quedan a ras del suelo. Por lo tanto, en invierno, el factor que más puede influir en la dispersión de los contaminantes es el viento. La presencia de nieblas puede contribuir a que persistan las inversiones de temperatura evitando que el sol caliente el suelo. A esta situación atmosférica se suma el aumento de emisiones de SO_2 y otros contaminantes por el mayor uso de calefacciones para combatir el frío invernal, y el tráfico, mucho más intenso que en el período estival. En verano el movimiento del aire tanto vertical como

el suplemento de oxígeno necesario para la vida, en el caso de que no se haya eliminado la capa de humus. A eso se suma el efecto de la contaminación que supera la capacidad amortiguadora del suelo, incorporando a éste materiales tóxicos, como metales pesados, que acaban de eliminar cualquier posibilidad de vida.

En las ciudades se ha formado lo que se llama "estrato cultural", consistente fundamentalmente en la acumulación de escombros y mortero, es decir, un suelo calcáreo aireado con aportación de rocas bastas. Se puede clasificar como "suelo ruderal" y en él se ponen en relación una gran cantidad de nutrientes diferentes. La eutrofización es la regla general, dada la cantidad de partículas alcalinas, materia-

LOS BRIOFITOS

Los briófitos, musgos y hepáticas, son plantas verdes, con embrión y un ciclo biológico de alternancia de generaciones. Este ciclo o historia biológica se traduce en la presencia de dos fases distintas y sucesivas en la vida de cada individuo. Una de ellas, el gametófito, recibe este nombre por ser la portadora de gametangios y de gametos, indispensables para la reproducción sexual.

Una vez producida la fecundación, la célula huevo o cigoto desarrolla un embrión que queda protegido por el game-tangio femenino, y por lo tanto físicamente dependiente del gametófito. La embriogénesis conduce a la segunda fase adulta, el esporófito, llamado así por producir esporas que al ser liberadas por el órgano que las formó y caer en un sustrato adecuado, germinan produciendo de nuevo un gametófito.

El esporófito, originado por reproducción sexual, vive siempre sobre el gametófito, y no llega nunca a independizarse como planta diferente.

Este ciclo de alternancia de dos generaciones formando un mismo individuo, lo presentan también helechos, gimnospermas y angiospermas. Estos tres últimos grupos de vegetales tienen un sistema conductor o vascular bien desarrollado y funcional para transporte de agua y nutrientes. Por esta razón reciben el nombre de plantas vasculares o comófitos.

Los briófitos se han adaptado a una multiplicación vegetativa como estrategia para lograr el aumento del número de individuos de una población, logrando así una gran eficacia como colonizadores de medios inhóspitos, en los que no podrían medrar si tuvieran que depender de unas condiciones ambientales óptimas para la fecundación.

En esta multiplicación, fragmentos del cuerpo de la planta, propágulos, se desprenden, y cada uno de ellos puede regenerar otro briófito semejante al progenitor. La formación y dispersión de los propágulos son procesos rápidos, sencillos y eficaces que aseguran el éxito de estos pioneros vegetales.

Otra propiedad importante es su gran resistencia a la desecación. Durante la sequía urbana estival se pueden observar musgos sobre tapias, muros, baldosas, etc., con aspecto de briznas secas que sólo por obstinación se mantienen adheridas al sustrato (Fig. 1). Sin embargo, al caer las primeras lluvias, las hojas de los pequeños tallos vuelven a hidratarse, comenzando un nuevo período de actividad biológica, comportamiento imposible para la mayoría de las plantas vasculares.

Como resultado de su metabolismo secundario sintetizan compuestos fenólicos, los falvonoides, con actividad antibiótica, que les hacen casi invulnerables frente a predadores y parásitos de su medio.

Aunque solamente fuese por estas características biológicas mencionadas, ya se podría entender la idoneidad de los briófitos para habitar un medio tan inhóspito como es la ciudad, esa "isla térmica" suma de numerosos "estratos culturales". Pero además hay que añadir otra importante característica: su resistencia a la contaminación.

BRIOFITOS Y CONTAMINACION

Desde que Arnold (1892) observara que muchas especies de briófitos comenzaban a desaparecer de la ciudad de Munich, numerosos investigadores se han interesado por el papel bioindicador de estas plantas respecto a la contaminación, entre ellos Gilbert (1970), que fue uno de

ce posible la biomonitorización con estas plantas (Taoda 1973).

Todos estos estudiosos opinaban que es el SO₂ el contaminante que causa mayor daño a los briófitos. Es un poco arriesgada esta afirmación, por lo menos hasta no disponer de más evidencias, ya que se han hecho muy pocos estudios sobre el efecto del ozono o de las interacciones entre contaminantes en estas plantas. Lo que sí es cierto es que la acción del SO₂ sobre los briófitos es el tema más investigado.

BRIOFITOS Y DIOXIDO DE AZUFRE

El alto poder contaminante del SO₂ radica en su gran solubilidad en agua. La naturaleza poikilohídrica de los briófitos faci-



Alcornoque con desechos urbanos y musgos pulviniformes terrícolas.

los primeros en apreciar las parecidas sensibilidades de musgos y líquenes frente a la polución. Este autor realizó numerosos estudios en Newcastle, una ciudad altamente contaminada en el norte de Inglaterra, donde las conclusiones obtenidas con estas criptógamas sentaron muchas de las bases para la utilización de los musgos como bioindicadores de SO₂. Otro investigador con diversos trabajos sobre los briófitos en los medios urbanos es Taoda, quien realizó sectorizaciones de varias ciudades japonesas en función de la presencia, fenología, especies bioindicadoras, etc..., e incluso hizo un intento de estandarización de las respuestas de los musgos frente al SO₂ con un aparato de su invención llamado "biómetro", con el que se ha-

lita la entrada de altos niveles de SO₂ disuelto y por ello no sorprende el que se encuentren entre las plantas más sensibles a la contaminación.

Los estudios realizados con briófitos en relación con este contaminante se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Métodos ecofisiológicos y de bioensayo.
- Métodos fitosociológicos.
- Métodos basados en la sensibilidad de las especies.

Métodos ecofisiológicos:

Técnicas de fumigación:

Se trata de la exposición controlada de los briófitos a concentraciones conocidas

FORESTACION URBANA

de SO_2 , con el fin de analizar los cambios producidos en la velocidad de la fotosíntesis y de la respiración, la proporción de feofitización, de necrosis de los filidios, del poder regenerativo de las plantas, etc... Se han realizado multitud de trabajos de este tipo que sin duda han posibilitado el conocimiento de cómo actúa el SO_2 en los musgos y hepáticas, y suponen la base para conseguir un sistema estandarizado que permitan correlacionar los daños en las plantas con concentraciones concretas de este contaminante, pudiéndose utilizar los briófitos no sólo como bioindicadores, sino también como biomonitores.

El problema de estas técnicas es que existen muchas divergencias en los trabajos realizados hasta el momento, en parte inherentes a los métodos utilizados y en parte debidas a la diversidad de formas químicas de SO_2 empleadas. A éstos se suman otros factores como la elección del criterio de intoxicación e incluso el origen geográfico de las especies. Se plantea además en qué medida los resultados obtenidos en cuanto a daños producidos reflejan la realidad de lo que ocurre en el medio natural, ya que las plantas junto con su entorno se encuentran inmersas en una compleja red de interacciones de todos los factores ambientales, que pueden condicionar las respuestas imposibles de predecir en laboratorio.

Experimentos de trasplante:

En éstos se trata de paliar el problema planteado en el apartado anterior, ya que aquí se trasladan los briófitos con sus sustratos originales desde zonas no contaminadas a lugares ecológicamente parecidos pero contaminados por concentraciones conocidas de SO_2 . Se intenta analizar la respuesta de los briófitos en su medio, en el que la única variación producida ha sido la contaminación.

Métodos fitosociológicos:

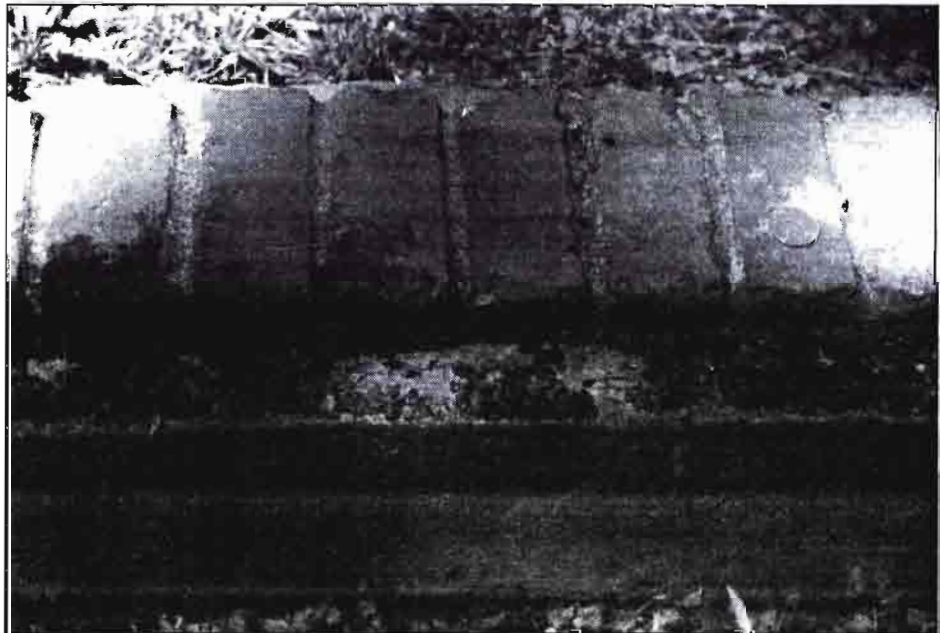
Se basan en la diferenciación observada en las comunidades briofíticas en cuanto a número de especies, cobertura, vitalidad y reproducción sexual, según los niveles de polución que actúen (Foto 2). Utilizando estas características, bien para una única especie elegida, bien para todo un conjunto, se delimitan transectos o se establecen zonas en las que el estado concreto de la especie o comunidad se relaciona con un nivel de contaminación.

Métodos basados en la sensibilidad de las especies:

La diferente sensibilidad de los briófitos respecto al SO_2 ha servido de base para la realización de escalas cualitativas o biológicas en las que se relacionan con-

centraciones de SO_2 con el grupo de plantas que se supone que soportan bien esos niveles de contaminación. Las especies elegidas han de recogerse en el mismo hábitat, ya que el papel de éste en la amortiguación de los efectos de la polución, es fundamental.

Los patrones de distribución de estas especies bioindicadoras pueden también permitir la realización de mapas de contaminación. Tiene aquí mucho sentido la afirmación de Hoffman (1974): "La mera ausencia de una planta en un hábitat puede no significar nada ecológicamente, a no ser que uno sepa que la planta ocupaba antes ese hábitat y conozca los factores que la han eliminado. Pero la presencia de una planta en un hábitat dado tiene un significado ecológico".



Muro de ladrillo erosionado con briófitos urbanícolas en las grietas.

BRIOFITOS Y CIUDAD

En las ciudades, los briófitos no tienen una posición tan subordinada como en otros ecosistemas, ya que aquí ocupan microambientes casi exclusivos: existen multitud de microhábitats que por su tamaño o por el tipo de sustrato, únicamente pueden colonizarse por estas pequeñas criptógamas (Foto 3). Winner & al. (1978) concluyeron que los musgos participaban en la formación del suelo, provenían de la erosión, jugaban un papel en la sucesión e influían en el crecimiento de las plantas vasculares en el sistema, ya que cuando los briófitos no están presentes para actuar como sumideros de SO_2 , los suelos lo acumulan rápidamente.

Como todos los organismos presentes en las ciudades, los briófitos se han visto

afectados en mayor o menor medida por los efectos de la urbanización, que en ellos inciden según tres aspectos (Taoda, 1977):

- Por la naturaleza del sustrato.
- Por el clima y la polución del aire.
- Por el impacto humano.

Naturaleza del sustrato:

Los sustratos que encuentran los briófitos en los medios urbanos se resumen fundamentalmente en tres: suelos, rocas y árboles. El suelo desnudo es muy raro en la zona altamente urbanizada, siendo los alcomos (Foto 4) y los pequeños jardines entre edificios los hábitats principales que se pueden colonizar. El pH de estos suelos suele ser 7-8. Los sustratos roco-

los de la ciudad son las paredes de hormigón, ladrillo y los edificios (Foto 5). Se puede decir que el hormigón es el material artificial más característico del área urbana, creciendo sobre él los llamados briófitos epipétricos; y finalmente, la corteza de los árboles, más soleada, polvorienta y acidificada, es el tercer sustrato sobre el que pueden desarrollarse los musgos y las hepáticas.

Clima y polución del aire:

Aunque las ciudades son medios más xéricos que los espacios abiertos, la conclusión general es que la polución es la principal causa de este hecho, aunque la sequía urbana pueda provocar alteraciones en la flora de las ciudades.