



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO: MUSGOS Y LÍQUENES COMO  
BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA**

Autor: Víctor Pérez Hernández

Tutor: Leopoldo García Sancho

Convocatoria: Febrero 2018

# **ÍNDICE**

- 1. Resumen y abstract**
- 2. Introducción y antecedentes**
  - 2.1. Líquenes**
  - 2.2. Musgos**
  - 2.3. Contaminación atmosférica**
  - 2.4. Bioindicadores**
    - 2.4.1. Generalidades**
    - 2.4.2. Bioindicación de musgos y líquenes**
- 3. Objetivos**
- 4. Materiales y métodos**
- 5. Resultados**
  - 5.1. Musgos**
    - 5.1.1. Utilización de musgos como bioindicadores en Portugal**
    - 5.1.2. Utilización de musgos como bioindicadores en China**
  - 5.2. Líquenes**
    - 5.2.1. Utilización de líquenes como bioindicadores en Kenia**
    - 5.2.2. Utilización de líquenes como bioindicadores en Lituania**
- 6. Conclusiones**
- 7. Bibliografía**

## **1. Resumen y abstract**

### **1.1. Resumen**

Se conoce como bioindicación al uso de seres vivos para evaluar y monitorizar el impacto de un contaminante en una zona determinada. Tanto líquenes como musgos han sido utilizados en los últimos 50-70 años como bioindicadores de la contaminación atmosférica debido a una serie de características que comparten entre sí, como puede ser el hecho de no tener una membrana externa protectora que da lugar a que los contaminantes del aire sean absorbidos fácilmente por estos organismos. Este trabajo intenta demostrar mediante una revisión bibliográfica la validez del uso de estos dos organismos como bioindicadores, haciendo un repaso a cuatro estudios. En dos de estos estudios se han utilizado musgos para medir los niveles de metales pesados mediante acumulación en China y Portugal y líquenes para la monitorización de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en Kenia y Lituania respectivamente. En todos los estudios se pudo validar el uso de ambos organismos como bioindicadores, así como establecer una relación entre los niveles de contaminación obtenidos y la procedencia de dichos contaminantes.

### **1.2. Abstract**

Bioindication is known for its use for living beings to evaluate and monitor a contaminant's impact in a determined area. lichens and mosses alike have been used in the last 50-70 years as bioindicators of the atmospheric contamination due to a series of characteristics they commonly share, for example, the lack of an external protective membrane, which easily allows air contaminants to be absorbed by said organisms. This project attempts to demonstrate the validity of the use of these two organisms as bioindicators through a bibliographical revision, encompassing and revising four studies. In two of these studies, mosses have been used to measure the levels of weighted metals through their accumulation in China and Portugal and lichens for the monitoring of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in Kenya and Lithuania, respectively. In all the studies, the use of both organisms as bioindicators were proven valid and, thus, reliable in establishing a relationship between the contamination levels obtained and the source of said contaminants.

## **2. Introducción y antecedentes**

### **2.1. Líquenes**

Un líquen es un organismo dual, que proviene de la simbiosis de un hongo y un alga o cianobacteria. Al hongo se le denomina micobionte, mientras que al alga o cianobacteria se le denomina fotobionte. El micobionte aporta soporte estructural y protección de elementos exteriores como los climáticos, mientras que el fotobionte se encarga, mediante la fotosíntesis de producir energía para el crecimiento y la reproducción.

Esta unión permite a los líquenes ser más competitivos que los organismos que lo componen de manera individual y esto les permite poblar un abanico de nichos más amplios. Esto se debe a que al ser poiquilohidros tienen la capacidad de mantenerse inactivos cuando se encuentran deshidratados y resistir a las condiciones climáticas desfavorables del entorno [1].

La mayoría de los micobiontes que forman parte de los líquenes son hongos que se corresponden al orden Ascomycota, mientras que el fotobionte en la mayoría de los casos es un alga verde perteneciente a la división Chlorophyta. Los principales tipos de líquenes que se pueden encontrar están categorizados en tres grupos: crustáceos, foliáceo y fruticuloso. También existen otros grupos intermedios como: leproso, placodioides, escamuloso y dimorfo.

A parte de como bioindicadores los líquenes tienen otras aplicaciones en diferentes áreas. Tienen gran importancia en la industria de la perfumería (*Pseudevernia furfurácea*) para fijar esencias. Se utilizan en investigación para buscar moléculas con propiedades antibacterianas, antivirales, anticancerígenas y también debido a su efectividad como tratamiento en catarros, gripes, hemorragias y hematomas (*Cetraria islándica*) [2].

### **2.2. Musgos**

Los musgos son vegetales que pertenecen a la división Bryophyta. Tienen pequeño tamaño, estando la mayoría entre 1 y 10 cm, aunque podemos encontrar algunos que lleguen a medir 50 cm de altura [3]. Los briófitos en general carecen de lignina en sus paredes celulares

Una de las características más peculiares de estos seres es que no tienen tejidos vasculares (como xilema y floema) y por lo tanto no tienen ningún sistema tubular que pueda

transportar agua y nutrientes a través de su estructura. Hay algunos más complejos, como es el caso de *Polytrichum*, que presentan células especializadas con la función de conducción (hidroides y leptoides). Este es uno de los motivos por los que no suelen tener gran tamaño y que colonicen nichos y ambientes con altos índices de humedad [4].

Al igual que los líquenes son organismos poiquilohidros y tienen la capacidad de permanecer en un estado de latencia o inactivo cuando no tienen aporte suficiente de agua sin que sus células sean dañadas ni se vea en peligro su integridad estructural. Cabe decir que los musgos no tienen raíces, pero en cambio poseen rizoides, los cuales no le sirven para absorber nutrientes del entorno pero sí para permanecer anclado al sustrato.

Poseen un ciclo de vida en el que hay alternancia de generaciones con gametofito (haploide) y esporofito (diploide), pero a diferencia de otro tipo de plantas, en los musgos la generación dominante es el gametofito. El esporofito es dependiente nutricionalmente del gametofito y se encuentra siempre asociado al mismo [5-6].

A parte de como bioindicadores se ha visto que en el pasado tuvo otras aplicaciones como por ejemplo de vendaje, debido a sus propiedades antisépticas. Esto se debe a que ciertos musgos acidifican su entorno, provocando un retardo en el crecimiento de bacterias y hongos, retrasando así la descomposición. Además retiene mejor los líquidos que el algodón [7].

### **2.3. Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica se debe a la presencia de sustancias o agentes (físicos, químicos o biológicos) que, dependiendo de su concentración o forma pueden resultar perjudiciales para la salud humana, animales, vegetales y u otros tipos de bienes como pueden ser los materiales. Estas sustancias pueden ser de procedencia artificial o natural (erupciones volcánicas o incendios naturales) [8].

En función de cómo se forman los contaminantes atmosféricos podemos clasificarlos en contaminantes primarios o en contaminantes secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se vierten directamente a la atmósfera, mientras que son considerados contaminantes secundarios aquellos que se crean a partir de los secundarios mediante procesos químicos o fotoquímicos. Además de esta clasificación los contaminantes pueden ser clasificados por su estado físico: gases y partículas (que a su vez pueden ser

sólidos o líquidos) y pueden ser clasificados también por su composición química: orgánicos e inorgánicos.

<b>PRIMARIOS</b>	<b>SECUNDARIOS</b>
CO	Ozono
SO <sub>2</sub>	Ácidos sulfúrico y nítrico
NO <sub>x</sub>	PAN y relacionados
COVs	Partículas secundarias
Partículas	

Tabla 1. Ejemplos de contaminantes según su formación.

Debido mayormente a los efectos en la salud de la población, el control de la contaminación atmosférica tiene una vital importancia. Por este motivo en muchos países existen planes destinados a mejorar y controlar la calidad del aire. Un ejemplo es el plan europeo recogido en la DIRECTIVA 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa [9].

Dentro de esta legislación vienen recogidos los siguientes contaminantes a medir:

- Partículas en suspensión: polvo, polen, hollín. Muchas de estas partículas provienen del humo que se produce por la combustión de los coches.
- Dióxido de azufre: provienen de procesos industriales, tráfico y calefacción.
- Óxidos de nitrógeno: tienen gran importancia debido a su papel en el efecto invernadero y la lluvia ácida.
- Monóxido de carbono: lo podemos encontrar de manera natural pero su aumento por causas antropogénicas ha provocado un alarmante aumento del efecto invernadero debido a que es precursor de CO<sub>2</sub>.
- Ozono: es tóxico en el ser humano produciendo problemas en el aparato respiratorio.
- Metales pesados: se producen por la quema de combustibles. Un ejemplo importante es el plomo, el cual, tiene un periodo de degradación amplio.
- Compuestos orgánicos volátiles: son peligrosos para la salud humana, ya que debido a su liposolubilidad pueden almacenarse en el organismo.

## 2.4. Bioindicadores

### 2.4.1. Generalidades

El aumento desmesurado de la contaminación atmosférica ha dado lugar a que los sistemas de medición de contaminantes en el aire se hayan perfeccionado y diversificado, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. Es así como surge la bioindicación y bioindicadores.

La bioindicación se conoce como el uso de seres vivos para evaluar el impacto de un contaminante [10]. Los bioindicadores son entonces organismos que presentan alguna reacción como respuesta a las modificaciones medioambientales, como puede ser por ejemplo la contaminación del aire o el suelo. La respuesta del bioindicador siempre aporta información cualitativa, cuando la información que obtenemos es cuantitativa hablamos de biomonitores.

[11] Nuevos conceptos recogidos por Hawksworth surgen derivados del estudio de los bioindicadores:

- **Biomonitores:** organismos, su distribución o poblaciones, estudiadas a lo largo del tiempo y comparadas con valores estándar o encuestas, tomando en cuenta las desviaciones del comportamiento esperado.
- **Bioacumuladores:** organismos que acumulan sustancias particulares dentro de sus tejidos, cuyas concentraciones se determinan mediante métodos químicos.
- **Biomarcadores:** cambios fisiológicos o bioquímicos ocasionados por compuestos químicos en un organismo.
- **Biopruebas:** test biológicos sintomatológicos que comprenden un organismo bioindicador introducido y una unidad de registro.
- **Bioensayo:** organismos que responden de una forma cuantitativa a la aplicación de alguna sustancia particular, y cuyas respuestas se miden mediante comparación con los efectos causados por sustancias de concentraciones conocidas.

A los bioindicadores los podemos dividir en dos grupos: sensibles y acumuladores:

- Los sensibles suelen ser del tipo visual, donde se detectan cambios morfológicos y en la abundancia de dicho organismo, así como aspectos físicos o químicos. Un ejemplo de bioindicador sensible sería aquel que cambia de pigmentación ante un contaminante [10].

- Los acumuladores son capaces de recolectar ciertos tipos de contaminantes, como pueden ser los metales pesados, en sus tejidos. El agente contaminante acumulado, así como el grado de almacenamiento del mismo depende del organismo estudiado [10].

#### 2.4.2. Bioindicación de musgos y líquenes

Musgos y líquenes son dos de los vegetales más empleados para medir los parámetros de contaminación atmosférica. Entre ambos, los líquenes son los más estudiados como bioindicadores [12].

Ya en 1866 podemos encontrar estudios publicados que hacen referencia a los líquenes como medidores de la calidad del aire [13]. Ha sido en los últimos 40-50 años cuando han sido publicados estudios evidenciando la sensibilidad de los líquenes a diferentes compuestos ambientales. Uno de los más importantes fue el estudio de Hawksworth y Rose (1970) donde evidencian que se pueden estimar cualitativamente la cantidad de SO<sub>2</sub> estudiando los líquenes que crecen en los árboles (Tabla 2) [14].

Zona	Especie/s	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
0	Epífito no existente.	?
1	<i>Pleurococcus viridis</i> .	>170
2	<i>Pleurococcus viridis</i> ; <i>Lecanora conizaeoides</i> .	150
3	<i>Lecanora conizaeoides</i> ; <i>Lepraria incana</i> .	125
4	<i>Hypogymnia physodea</i> ; <i>Parmelia saxatilis</i> ; <i>Lecidea scalaris</i> ; <i>Lecanora expallens</i> ; <i>Chaenotheca ferruginea</i> .	70
5	<i>Hypogymnia physodes</i> ; <i>P. glabrata</i> ; <i>P. subrudecta</i> ; <i>Parmeliopsis ambigua</i> ; <i>Lecanora ohlarotera</i> ; <i>Calicium viride</i> ; <i>Lepraria candellaris</i> ; <i>Pertusaria amara</i> ; <i>Ramalina farinácea</i> ; <i>Evernia prunastri</i> ; <i>Platismatia glauca</i> .	60
6	<i>Peperomia caperata</i> ; <i>Pertusaria albescens</i> ; <i>P. hymenea</i> ; <i>Parmelia revoluta</i> ; <i>P. tiliácea</i> ; <i>P. exasperatula</i> ; <i>Graphis elegans</i> ; <i>Pseudevernia furfurácea</i> ; <i>Alectoria fuscescens</i> .	50
7	<i>Parmelia caperata</i> ; <i>P. revoluta</i> ; <i>P. tiliácea</i> ; <i>P. exasperatula</i> ; <i>Usnea subfloridiana</i> ; <i>Pertusaria hemisphaerica</i> ; <i>Rinodina roboris</i> ; <i>Arthonia impolita</i> .	40
8	<i>Usnea ceratina</i> ; <i>Parmelia perlata</i> ; <i>Rinodina roboris</i> ; <i>U. rubiginea</i> .	35
9	<i>Lobaria pulmonaria</i> ; <i>L. amplissima</i> ; <i>Pachyphiale cornea</i> ; <i>Dimerella lutea</i> ; <i>Usnea florida</i> .	30
10	<i>L. amplissima</i> ; <i>L. scrobiculata</i> ; <i>Sticta limbata</i> ; <i>Pannaria spp</i> ; <i>Usnea articulata</i> ; <i>U. filipéndula</i> .	Puro

Tabla 2: Especies de líquenes que se pueden encontrar a diferentes concentraciones atmosféricas de SO<sub>2</sub>.

Otros estudios evidenciaron también la capacidad de los líquenes para monitorizar otras sustancias contaminantes como el amoníaco, los metales pesados, el polvo alcalino, el



ozono etc. Todos estos compuestos podían ser almacenados por los líquenes, modificar el grado de fotosíntesis, provocar daño en las membranas celulares, intervenir en el metabolismo o distribución de nutrientes e incluso en su tasa de crecimiento [11].

Los musgos empezaron a estudiarse como bioindicadores más tarde que los líquenes por Rühling y Tyler en 1968 en Suecia [15-16-17]. Su estudio y uso se limita mayormente a la monitorización de las deposiciones atmosféricas de metales pesados que se acumulan en estos organismos. Estos estudios de monitorización permiten saber el impacto ecológico que producen los metales pesados sobre entornos que pueden ser de pequeño o gran tamaño.

[11-12-18-19]Las características que tienen los líquenes y musgos, que les hacen ser buenos bioindicadores son las siguientes:

- Son organismos con una amplia distribución en diferentes nichos ecológicos, incluyendo áreas industriales y urbanas.
- No tienen una cutícula externa que les proteja de los contaminantes y por lo tanto están completamente expuestos a los mismos.
- Ambos son organismos poiquilohidros con una capacidad para permanecer en estado de latencia cuando las condiciones de hidratación no son las favorables y esto les otorga una gran capacidad de resistencia a los cambios climáticos.
- Han sido ampliamente estudiados durante muchos años y por lo tanto se sabe cuál es la respuesta de los mismos a diferentes tipos de contaminantes.
- Hay una correlación simple entre la cantidad de contaminante asimilado y la que hay en su entorno.
- Pueden ser recogidos durante todo el año, debido a que son organismos perennes.

### 3. Objetivos

El objetivo de este trabajo de fin de grado es poner de manifiesto y mediante una revisión bibliográfica la utilización de musgos y líquenes como bioindicadores para evaluar y monitorizar los diferentes contaminantes atmosféricos existentes hoy en día. Para llevarlo a cabo nos centraremos en diferentes trabajos publicados en los que se han utilizado estos organismos de manera eficaz para evaluar la contaminación atmosférica proveniente de diferentes focos en áreas de Europa y Asia.

#### 4. Materiales y métodos

La revisión bibliográfica se llevó a cabo, buscando publicaciones científicas en todos los formatos para buscar información acerca de los datos actuales y aquellos que han ido surgiendo a lo largo de la historia acerca del uso de musgos y líquenes como bioindicadores y de sus características biológicas. Todo esto se ha conseguido utilizando bases de datos informáticas como PubMed (NCBI), Google Académico, ICYT (CSIC) y Researchgate. En los buscadores se introdujeron palabras como: “lichens”, “mosses”, “air pollution”, “bioindicators” y combinaciones de las mismas. Se seleccionaron las publicaciones con mayor veracidad científica, mayor accesibilidad bibliográfica, más aclaratorias y con mayor importancia histórica para el estudio actual acerca del uso como bioindicadores de musgos y líquenes.

#### 5. Resultados

##### 5.1. Musgos

##### 5.1.1. Utilización de musgos como bioindicadores en Portugal [20].

Este es un estudio que forma parte de un programa de supervisión de las deposiciones atmosféricas de metales pesados mediante la utilización de musgos que se hace cada cinco años en una gran cantidad de países europeos. Este estudio se realizó entre finales de 1996 y 1998. Tenía como objetivo estudiar y comparar la acumulación de metales pesados en musgos y suelos así como establecer si la fuente de esos metales era antropogénica, geológica o pedológica. Para ello utilizaron el sistema de análisis “Co-inertia” como instrumento estadístico. Las muestras para este estudio se recogieron de diciembre de 1996 hasta diciembre de 1998 en 178 lugares diferentes a escala nacional (Figura 1). Las muestras no se recogieron totalmente de la manera de tenían



Figura 1. Mapa de las zonas de recogida de muestras en Portugal.

establecida desde un principio debido a variaciones temporales que como consecuencia resultaron en una recogida de muestras menos aleatoria de la que se pretendía. Las especies utilizadas fueron *Hypnum cupressiforme* (Hedw.) Y *Scleropodium touretii* (Brid.) L. F. Koch. La primera es una especie que se da en suelos neutros o ácidos, en

zonas con una media de precipitación anual que se encuentra por encima de 600mm y por lo tanto se encuentra mayoritariamente en el norte y centro. La segunda en cambio se utilizó para el monitoreo de la zona sur de Portugal debido a su mayor resistencia a la sequía y a mayor exposición al sol. La utilización de os especies podía llevar a aumentar la variabilidad de los resultados y para saber si había que utilizar alguna corrección se analizó la concentración de diferentes elementos en ambas plantas, que como resultado dio que no había diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ambas especies y no había que utilizar corrección alguna.

A parte de las muestras de musgos se recogieron otras dos muestras de suelo, una del sustrato del musgo y otra que se encontrara directamente expuesta a la deposición atmosférica. Esto se hizo para comprobar las diferencias de composición existentes entre el bioindicador y el suelo para poder aplicar un factor de corrección mediante el análisis con “Co-inertia”. Para identificar la procedía de los contaminantes que se encontraron en las dos especies se utilizó la información de los focos locales de contaminación a pesar de la posible influencias del tráfico marítimo que se encuentra en las costas o el transporte aéreo de dichas sustancias proveniente de otros países europeos.

Se estudiaron los metales pesados que se producen en mayor cantidad y que producen mayor impacto para la salud. Estos metales fueron: Cadmio, cromo, cobre, plomo, hierro, manganeso, níquel y zinc. Para la determinación de concentraciones se utilizó la espectrofotometría de absorción atómica

El cadmio no se encontró solamente a áreas urbanas o industrializadas. Los valores más altos se encontraron en zonas donde se han construido carreteras nuevas y en zonas de extracción de materiales inertes. Estas áreas se encuentran en el sur de Lisboa y en la región central norte del país. En la zona sur los valores también son altos, sobre todo en áreas donde se hay zonas de cultivo con utilización de fertilizantes. Se encontraron valores parecidos en la zona oeste de Lisboa que coinciden con otros análisis geoquímicos (Ferreira, 1997), que indicaron al polvo como fuente de contaminación posible que puede acumularse en los musgos. (Figura 2).

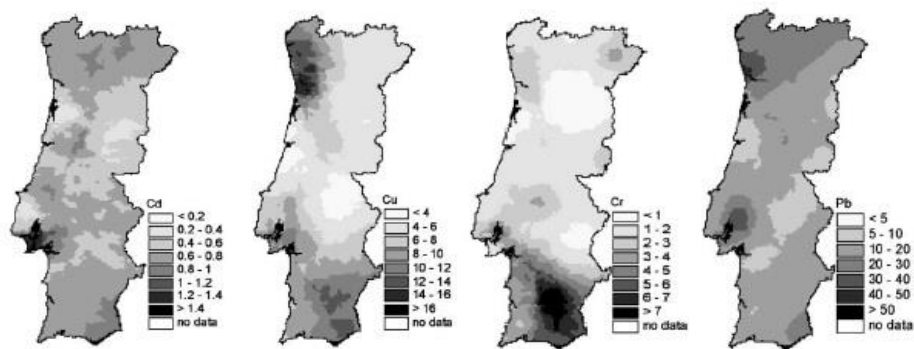


Figura 2. Distribución espacial de la concentración (ng/g) en musgos de cadmio, cobre, cromo y plomo respectivamente.

Los valores más altos de cobre se obtuvieron en la zona norte, incluyendo el área urbana de oporto, donde se encuentran industrias petroquímicas y hay zonas donde se utilizan pesticidas para la cosecha del vino. Las zonas con altos valores en el sur se identificaron como provenientes de la minas para la extracción de diferentes minerales y al tráfico en las áreas urbanas. (Figura 2)

Los valores de cromo se asociaron sobre todo a fuentes litológicas como suelos con poca vegetación en el sur o formaciones rocosas en el norte. La contaminación antropogénica se identificó como proveniente de la quema de carbón para la producción de energía en la costa atlántica. (Figura 2)

Las concentraciones más altas de plomo se encontraron en las zonas con mayor densidad de población. Se asoció mayoritariamente al tráfico. En Lisboa los resultados altos se correspondieron con las zonas de industria metalúrgica y también a los cruces de grandes autopistas. Los datos en la concentración de plomo disminuyeron con respecto a los estudios de años anteriores y esto se debió mayormente a la disminución de los combustibles destinados al transporte que contienen este metal. (Figura 2)

El hierro se asocia en general a fuentes geológicas y los valores más altos encontrados en musgos se encontraron también en zonas de Portugal donde el suelo es más rico en este elemento y por lo tanto no se asoció a ningún foco antropogénico determinado. Esta misma explicación se le da también a los resultados obtenidos de manganeso. (Figura 3)

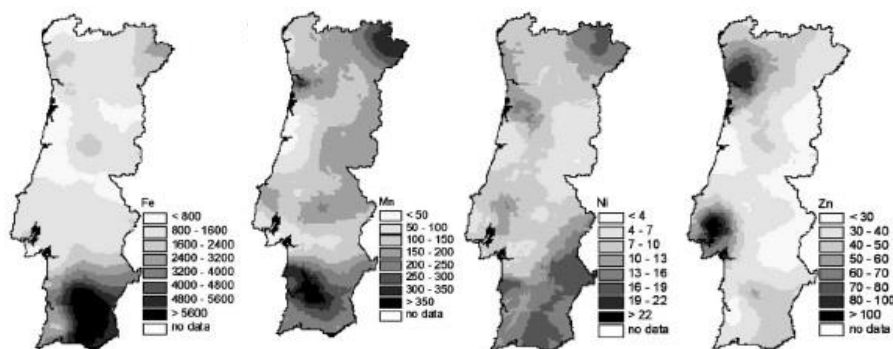


Figura 3. Distribución espacial de la concentración (ng/g) en musgos de hierro, manganeso, níquel y zinc respectivamente.

La procedencia de la contaminación atmosférica por níquel tiene fuentes tanto naturales como antropogénicas. Las fuentes naturales se pueden encontrar en la zona norte y sur donde hay formaciones rocosas ricas en este metal. Las fuentes antropogénicas fueron las más notorias, pues dan valores más altos, como en la zona suroeste cerca de la central de energía más importante del país utilizando combustibles fósiles en su proceso. En la zona noroeste se asoció los altos valores a las industrias locales. (Figura 3)

Por último el zinc, cuyos valores más altos se encontraron en las zonas urbanas e industriales de Lisboa y Oporto, donde se indicó al tráfico como principal responsable. Los valores más altos se encontraron en la zona norte de Lisboa, donde se encuentran grandes empresas químicas y metalúrgicas. En la zona sur los altos valores se relacionaron con unas minas de zinc y plomo que habían sido cerradas recientemente. (Figura 3)

Los valores de manganeso no se asociaron a ninguna fuente determinada, ni antropológica ni natural.

### 5.1.2. Utilización de musgos como bioindicadores en China [21].

Este estudio se realizó en Taizhou, que se encuentra en Jiangsu, provincia central de China. Esta zona se caracteriza por tener un clima subtropical monzónico. La zona de Taizhou ha adquirido un gran desarrollo industrial de manera acelerada en la última década, con 34000 empresas de producción industrial en el año 2012. Esas empresas son mayormente eléctricas, químicas, farmacéuticas, textiles y de producción de materiales destinados a la construcción. Estas actividades comprensiblemente han provocado un aumento de los niveles de contaminación en la zona.

El estudio tuvo como objetivos principales determinar los niveles de metales pesados en la zona, así como saber la distribución de los mismos, evaluar el impacto ecológico de dichos contaminantes e identificar cuáles son las fuentes para cada metal. Todo esto se quiso determinar mediante el uso de musgos y su capacidad para acumular estos contaminantes.

La especie utilizada fue *Haptocladium microphyllum* (Hedw.) Broth. Debido a que es una especie ampliamente distribuida por la provincia de Jiangsu y a que puede aplicarse para la monitorización en áreas urbanas. El muestreo se realizó en 60 sitios diferentes desde el 10 de agosto hasta el 12 de septiembre de 2012. La recogida de muestras se realizó en todos los casos a 300 metros de carreteras principales, áreas urbanas y poblados, así como a 100 metros de carreteras menos transitadas y casas aisladas. La mayoría de las muestras se recogieron en áreas alejadas de la influencia antropogénica.



Figura 4. Distribución espacial de las muestras en el área de Taizhou.

El método para determinar las concentraciones de cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc fue mediante espectrofotometría de emisión atómica de plasma. El programa que se utilizó para en análisis descriptivo estadístico fue el SPSS 17.0 y la significación estadística se estableció en 0.05. Se estableció un factor de contaminación (CF) para evaluar el nivel de contaminación para cada elemento. Este factor se calculó haciendo la media de los valores de concentración en musgos para cada elemento frente a la media de los valores de tres muestras que contenían la menor concentración de cada elemento en la zona de estudio. A parte se hizo un cálculo del potencial ecológico para cada elemento.

A partir de los resultados se vio que la media de las concentraciones para cada elemento era ligeramente mayor que la de las áreas vecinas a la zona de estudio y mucho mayor a la de Europa.

Las concentraciones más altas de plomo se asociaron con industrias de manufacturación y a la construcción. En menor medida se atribuyó el incremento de este metal al transporte y tránsito. El cadmio se asoció mayormente al polvo de las ciudades y al humo de los coches. También altos valores de Cd se vio que era de procedencia edafológica. Se notó que la distribución de plomo y cadmio era similar, las zonas con mayores concentraciones se dieron mayoritariamente en el sur. En el sur se encuentra el río Yangze, el cual tiene

numerosos puertos en ciudades industrializadas. En la parte norte se encuentra la carretera nacional G204, lugar donde se encontraron también concentraciones significativas de plomo. En la zona norte se encontraron también altas concentraciones de cadmio, muy cerca de la zona industrial dedicada a la distribución de acero inoxidable. (Figura 5)

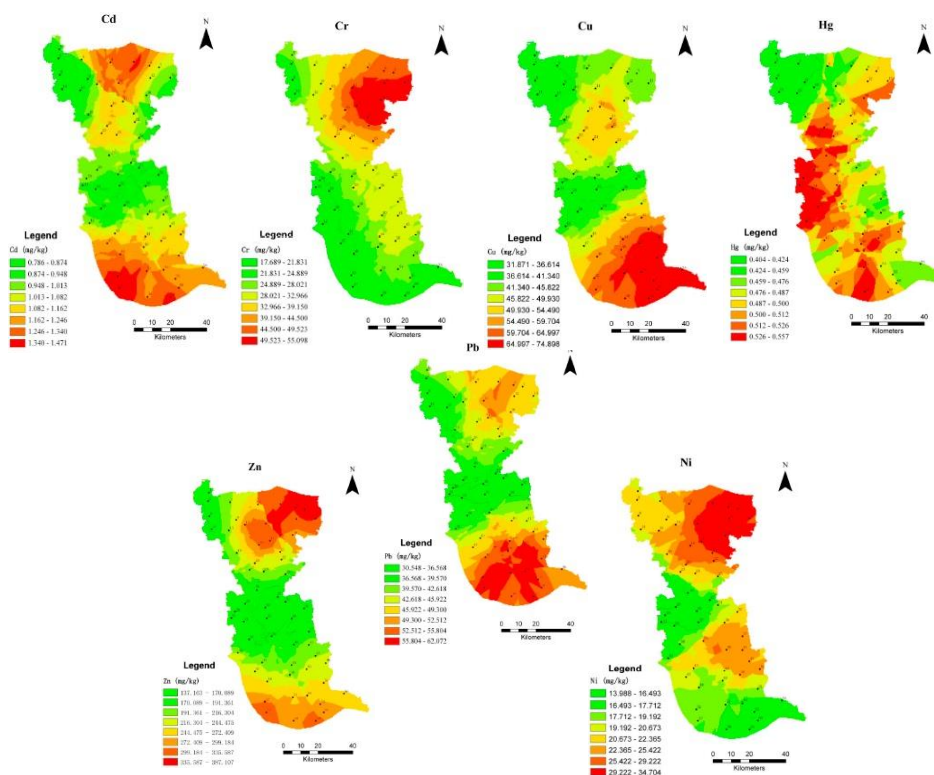


Figura 5. Distribución espacial de la concentración en musgos de cadmio, cromo, cobre, mercurio, zinc, plomo y níquel respectivamente.

Cadmio y zinc se encontraron en las zonas del norte y del sur, debido mayormente a los hornos de fundición y refinerías de zinc, que se encuentran en ambas zonas.

Las concentraciones más altas de cobre se encontraron en el suroeste y noroeste, mientras que las de níquel se dieron en el norte y centro. Estos dos elementos tienen origen edafológico y pueden ser transportados como partículas por el aire. La zona norte tiene una producción predominantemente agrícola, donde se utilizan pesticidas y fertilizantes que desprenden estos elementos. Las concentraciones de níquel en la zona central se explicaron como procedentes de la explotación minera.

La distribución del mercurio no se dio de manera uniforme pero fueron particularmente mayores en la zona oeste y sur. En estas zonas se pueden encontrar centrales energéticas, que utilizan combustibles fósiles, así como a factorías de productos plásticos.

## 5.2. Líquenes

### 5.2.1. Utilización de líquenes como bioindicadores en Kenia [22].

La zona donde el estudio se realizó fue en el parque nacional Hell's Gate, que se encuentra en la zona central de Kenia. La zona se eligió debido a su abundancia de líquenes epifíticos que se encuentran en las especies de árboles *Acacia drepanolobium* Y. Sjöstedt y *Tarchonantus camphoratus* (Linneo). En esta zona se encuentra una planta geotérmica que expulsa a la atmósfera cantidades significativas de SO<sub>2</sub>.

Los objetivos de este estudio se centraron en ver el incremento o disminución de la diversidad, la altura a la que se encuentran en los troncos de los árboles y la abundancia de la población liquénica a una distancia de 100 metros del punto de liberación de SO<sub>2</sub>, así como la comparación de dichas características entre los tres puntos de recogida. También la diferencia de esos factores en la población liquénica que se encuentra al sur y al norte del punto de liberación y las demás zonas de muestreo debido que las corrientes de aire tienen dirección norte predominantemente.

Las zonas de muestreo se realizaron en tres áreas de la zona de estudio: la central energética Ol-karia, la zona de picnic Ol Dubai y el mirador del lago que se encuentra en la zona (zona menos expuesta). En esas zonas la recogida de muestras se realizó de 0 a 50 metros al sur y 0 a 50 metros al norte. En cada segmento de 50 metros se realizó muestreo de líquenes en 10 árboles *T. camphoratus* y 10 *A. drepanolobium*, separados por 3 metros de los límites de cada segmento. Los datos recogidos fueron analizados mediante los test *Kolmogorov-Smirnov* usando el programa “*Statistical Package for Social Science*” (SPSS).

La población total de líquenes que cubrían ambas especies de árboles mostró una correlación positiva en cuanto a la distancia del punto de liberación del contaminante. Correlación de Spearman de  $P=0.024$  para la zona norte y  $P=0.030$  para la zona sur.

El número de especies encontradas en los árboles también aumentó en cuanto a la distancia al punto de liberación para la zona norte (Spearman  $P<0.001$ ). En la zona sur, en cambio, no se encontró una relación estadística significativa entre la distancia de los puntos de liberación y el número de especies encontradas.



Se comprobó las diferencias en la población total de líquenes de la zona norte y la zona sur en referencia al punto de liberación entre sí. Los datos que se obtuvieron demostraron que la población de líquenes era mayor en la zona sur (Mann-Whitney  $P=0.043$ ), así como la diversidad y altura en los troncos de los mismos (Mann-Whitney  $P<0.001$  y  $P=0.001$  respectivamente).

A la hora de comparar las tres zonas de muestreo entre se demostró que la población de líquenes era menor en la zona de la planta energética mientras que el valor más alto se dio en el mirador del lago (Kruskal-Wallis  $P<0.001$ ). La diversidad de especies de líquenes fue relativamente similar entre la planta energética y la zona de picnic pero sí que fue significativamente superior en el mirador del lago (Kruskal-Wallis  $P<0.001$ ). Esto se dio también a la hora de comparar la altura de los líquenes en los troncos entre las tres zonas (Kruskal-Wallis  $P<0.001$ ).

### **5.2.2. Utilización de líquenes como bioindicadores en Lituania [23].**

Este estudio se realizó en 2008 para determinar el efecto que producía la polución del tráfico en las especies liquénicas *Physcia tenella* (Scop) DC. y *Parmelia sulcata* Taylor. Este estudio se realizó en el tramo de carretera que une las ciudades de Kaunas y Vilnius de Lituania. El objetivo fundamental fue comprobar si los niveles de  $\text{NO}_2$  producidos por el tráfico de la zona eran mayores en las zonas próximas a la carretera utilizando ambas especies como bioindicadores.

El clima de la zona de estudio es continental con una media de temperatura anual de  $6.2^\circ\text{C}$  y una media anual de precipitación de 780 mm. El tráfico de dicha carretera se encuentra en un rango de 10.000 a 20.000 vehículos por día. El muestreo se realizó por el lado noreste de la carretera con doce zonas de recogida de  $1 \times 50\text{m}$  cada una a una distancia de la carretera de no mayor de 50 metros y una distancia de recogida de 8, 10, 15 y 48 metros de dicha carretera.

La mayoría de los líquenes fueron recogidos de la especie arbórea *Quercus robur* (Linneo). A cada árbol muestreado se les añadieron tres filtros impregnados con trietanolamina, los cuales son capaces de adsorber  $\text{NO}_2$  en estado gaseoso como iones nitrito. Estos filtros estuvieron durante dos semanas en dichos arboles orientados hacia la carretera y pasado ese tiempo se les realizó un análisis para comprobar en contenido en

iones nitrito mediante pruebas de espectrofotometría. A parte de los mencionados filtros también se recogieron muestras de la corteza de los árboles para medir el pH de los mismos. Para el análisis estadístico de las diferentes variables se utilizó el test Kruskal-Wallis.

Se comprobó en los resultados que las concentraciones de NO<sub>2</sub> que recogieron los filtros iban disminuyendo a medida que aumentaba la distancia con la carretera aunque no se pudo establecer una correlación estadística entre las concentraciones y la distancia. En cambio sí se estableció una correlación estadística en que la presencia de la carretera influía en los niveles de NO<sub>2</sub> en los alrededores de la misma ( $P < 0.05$ ). La zona de muestreo que se encontraran a 8 metros de la carretera tenían unos valores mucho mayores comparados con los valores obtenidos a mayores distancias ( $P < 0.05$ ). Por razones que no pudieron explicar en el estudio los valores obtenidos a 15 metros de la carretera eran menores que a 10 metros y a 48 metros.

Los valores de pH obtenidos (entre 5.7 y 7.4) fueron mayores a la distancia de 8 metros. Estos valores disminuyeron 11.34% y 15.91% a 10 y 15 metros respectivamente. Se comprobó que la distancia con la carretera influenciaba de manera significativamente el pH de la corteza de los árboles. El estudio del pH también dio un resultado fuera de lo esperado, ya que el pH de la corteza de los árboles a 8 y 48 metros era mayor que el pH a 10 y 15 metros, cuando lo se esperaba que fuese disminuyendo a medida que aumentara la distancia con respecto a la carretera.

## 6. Conclusiones

Queda demostrado a partir de los estudios publicados mostrados y aquellos que han sido publicados a lo largo de los años que tanto musgos como líquenes pueden ser utilizados como bioindicadores de la contaminación atmosférica, tanto cualitativamente como cuantitativamente gracias a sus características biológicas. Esta alternativa de estudio es menos costosa y está siendo cada vez más utilizada por organismos internacionales para medir la calidad del aire en diferentes zonas del mundo. Estos estudios no solo sirven para monitorizar la calidad del aire sino también para establecer una causalidad en cuanto al origen de dicha contaminación, pudiendo así tomar medidas para disminuirla.

## 7. Bibliografía

- [1]-Vivas M. Adaptación y tolerancia de los líquenes a condiciones adversas a través de gradientes ambientales. Adaptation and tolerance of lichens to adverse conditions through environmental gradients [Tesis]. Universidad Complutense de Madrid (2013)
- [2]-Barreno E., Sergio Perez-Ortega S. Biología de los líquenes. Universidad de Valencia. Informe para la Consejería de medio Ambiente, Ordenación del territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias. 2003; 81-82.
- [3]-Marshall N. Mosses and lichens a popular guide to the identification and study of our commoner mosses and lichens, their uses, and methods of preserving. Doubleday, Page & Company. 1919; 3-17
- [4]-Mauseth J.: Botany. An introduction to plant biology. Jones and Bartlett Publishers 1995; 484-503.
- [5]-Estébanez B, Draper I., Medina R. Briófitas: una aproximación a las plantas terrestres más sencillas. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. 2011
- [6]-Crandall-Stotler B. Bartholomew-Began S. Morphology of Mosses (Phylum Bryophyta). Flora of North America North of Mexico 2007.
- [7]-Delgadillo C. Manual de briofitas. UNAM. 1990. Pág 47-50
- [8]- Ministerio de Fomento. Instituto geográfico nacional. La contaminación en España. [Texto online]. Disponible en;  
[https://www.ign.es/espmmap/mapas\\_conta\\_bach/pdf/Contam%20mapa\\_01\\_texto.pdf](https://www.ign.es/espmmap/mapas_conta_bach/pdf/Contam%20mapa_01_texto.pdf)
- [9]-Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Diario oficial de la Unión Europea. 2008
- [10]-Vasquez M. Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos y la degradación de los mismos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 2015
- [11]-Hawksworth D., Iturriaga T., Crespo A. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. Revista Iberoamericana de Micología. 2005; 2, tabla 1.
- [12]-Conti ME, Cecchetti G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment, a review. Environmental Pollution. 2001
- [13]-Nylander W. Les lichens du Jardin du Luxembourg. Bulletin de La Société Botanique de France. 1866; 364-372.

- [14]-Hawksworth D., Rose F. Qualitative Scale for estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. *Nature*. 1970. Vol. 277; 145-148.
- [15]-Rühling A. and Tyler, G. An ecological approach to the lead problem. *Botaniska notiser*. 1968; 321– 342.
- [16]-Rühling A., Tyler, G. Ecology of heavy metals – A regional and historical studies. *Botaniska notiser*. 1969; 248–259.
- [17]-Rühling A., Tyler, G. Heavy metal deposition in Scandinavia, Water, Air, Soil Pollut. Focus. 1973; 2, 445–455
- [18]-Srivastava K, Bhattacharya P. Lichen as a Bio-Indicator Tool for Assessment of Climate and Air Pollution Vulnerability. *International Research Journal of Environment Sciences* 2005; 1-2
- [19]- Grodzińska K, Frontasyeva M, Szarek-Lukaszewska G, Klich M, Kucharska-Fabiś A, Gundorina SF. Trace element contamination in industrial regions of Poland studied by moss monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2003.
- [20]-Figueira R., Sergio C., Sousa A. Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal. *Environmental Pollution*. 2001.
- [21]-Xiaoli Z., Qin C., Chang L. and Yanming F. Using Moss to Assess Airborne Heavy Metal Pollution in Taizhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017.
- [22]-Meijer S., O'Moore S. The effect of air pollution on lichen distribution, diversity and abundance in Hell's Gate National Park. 2006.
- [23]-Gintarė S. Road traffic pollution effects on epiphytic lichens. *EKOLOGIJA*. 2010.