



universidad  
de león



**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE DE  
TORRELAVEGA (CANTABRIA) MEDIANTE  
LÍQUENES EPÍFITOS**

**ANALYSIS OF AIR QUALITY IN TORRELAVEGA  
(CANTABRIA) USING EPIPHYTIC LICHENS**

Autor: Laura García Ruiz

**GRADO EN BIOLOGÍA**

**Julio, 2021**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LIQUEN .....	1
1.2. CALIDAD DEL AIRE.....	2
1.3. BIOINDICACIÓN.....	4
1.3.1. Tipos de biomonitores .....	4
1.3.2. Uso de líquenes como bioindicadores .....	5
1.3.3. Técnicas de bioindicación .....	6
1.3.4. Sensibilidad de los líquenes .....	7
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>8</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	8
3.2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANTABRIA.....	10
3.2.1. Red de Vigilancia .....	10
3.2.2. Comarca de Torrelavega .....	11
3.3. DISEÑO DE MUSTREO Y RECOPIACIÓN DE DATOS .....	12
3.4. DATOS AMBIENTALES .....	13
3.5. TRATAMIENTO DE DATOS .....	15
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>15</b>
4.1. RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE LÍQUENES .....	15
4.2. IPA.....	18
4.2.1. Zonas de isocontaminación .....	19
4.3. BIOTIPOS .....	21
4.4. ESPECIES INDICADORAS .....	23
4.5. ANÁLISIS DE COMUNIDAD .....	23
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>31</b>

## RESUMEN

En el presente estudio se llevó a cabo una evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Torrelavega, empleando líquenes epífitos como herramienta para obtener los valores del IPA (Índice de Pureza Atmosférica). El estudio se realizó en 11 localidades de muestreo en la zona de estudio y una localidad de control en el municipio de Riente, teniendo solo en cuenta a ejemplares de robles (*Quercus* sp.) como forófito. Con los datos obtenidos se estudió la riqueza liquénica y se llevó a cabo un análisis multivariante de ordenación (Análisis de Componentes Principales). Se encontraron 27 especies en total y con los valores del IPA se determinaron 5 zonas de isocontaminación. Los valores más bajos de riqueza e IPA se encontraron en las zonas más próximas a los dos principales complejos industriales de la zona. La escasa presencia de líquenes fruticulosos y compuestos, junto con los bajos valores de IPA en el centro urbano, reflejan la baja calidad del aire y la eficacia del empleo de líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica.

**Palabras clave:** líquenes epífitos, IPA, bioindicadores, calidad del aire.

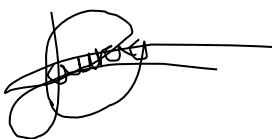
## ABSTRACT

In the current study an assessment of air quality in the city of Torrelavega was carried out, using epiphytic lichens as a tool to obtain the values of the IAP (Index of Atmospheric Purity). The study was carried out in 11 sampling sites in the study area and one control site in the municipality of Riente, considering only oak specimens (*Quercus* sp.) as phorophytes. With the data obtained, lichen richness was studied, and a multivariate ordination analysis (Principal Component Analysis) was accomplished. A total of 27 species were found and 5 isocontamination zones were determined with the IAP values. The lowest richness and IAP values were found in the areas closest to the two main industrial complexes in the area. The low presence of fruticose and composite lichens, along with the low IAP values in the urban centre, reflect the poor air quality and the effectiveness of the use of lichens as bioindicators of air pollution.

**Keywords:** epiphytic lichens, IAP, bioindicators, air quality.

En León, a 1 de julio de 2021

**Firma del alumno:**



Fdo. Laura García Ruiz

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. LIQUEN

Según la Real Academia Española (RAE) se define talo como un término botánico que designa al cuerpo de las talofitas, equivalente al conjunto de raíz, tallo y hojas. Los líquenes son organismos simbióticos formados por un componente fúngico, el micobionte, y por uno o varios componentes fotosintéticos, el fotobionte, que normalmente se corresponde con un alga verde y/o una cianobacteria (Nash III, 2008). Sin embargo, recientemente se ha argumentado la evidencia de que algunas especies de líquenes se encuentran en asociación con levaduras pertenecientes a la división Basidiomycota (Abas, 2021).

En muchas ocasiones se hace alusión al término liquen como ejemplo de simbiosis mutualista, donde todos los componentes son beneficiarios de la asociación. Pero resulta que el micobionte recibe la mayoría de los beneficios y el crecimiento del fotobionte se ve reducido en comparación a su crecimiento en libertad, lo que ha incitado que sea más apropiado definirla como un “parasitismo controlado” (Richardson, 1999; Nash III, 2008).

Los líquenes son organismos que no tienen ni cutícula, ni estomas, es decir, no presentan ninguna estructura reguladora. Son organismos poiquilohídricos por lo que absorben el agua directamente de la atmósfera junto con nutrientes y contaminantes, provocando que sean sensibles a la contaminación atmosférica y a las condiciones climáticas (Koch *et al.*, 2019). No obstante, son capaces de desarrollarse en ambientes extremos gracias a que el micobionte recibe hidratos de carbono por parte del fotobionte y a que éste último obtiene protección frente a exposiciones intensas de luz o temperaturas extremas (Barreno y Pérez-Ortega, 2003).

Están presentes en la mayoría de los ecosistemas terrestres y son capaces de prosperar sobre sustratos inertes y orgánicos, como hormigón, corteza de los árboles, hojas, minerales, etc. (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Dependiendo del sustrato que colonicen se pueden dividir en epífitos (sobre plantas, preferentemente en cortezas de árboles), saxícolas (sobre rocas) y terrícolas (sobre suelos desnudos) (Nash III, 2008; Cubas *et al.*, 2010).

Los talos liquénicos están principalmente definidos por el micobionte, por lo que se incluyen dentro del reino Fungi y se caracterizan por presentar distintas formas de crecimiento, reproducción o estructuras vegetativas. Se pueden dividir a los líquenes en tres grupos morfológicos principales: líquenes crustáceos, foliáceos y fruticulosos (Nash III, 2008).

Los crustáceos son aquellos que carecen de córtex inferior y se encuentran fuertemente unidos al sustrato. Los foliáceos se caracterizan por presentar forma laminar (lobulada o no) y se adhieren parcialmente al sustrato, lo que hace que sea fácil su separación. Se pueden agrupar en dos grandes grupos: talo foliáceo con lóbulos anchos con más de 3 mm de diámetro o talo foliáceo con lóbulos estrechos cuando presentan lóbulos menores de 3 mm de diámetro. Los fruticulosos destacan sobre el sustrato donde se encuentran, ya que su talo adquiere formas arbustivas con ramificaciones planas o cilíndricas, pero la superficie con la que se unen al sustrato es mínima (Barreno y Rico, 1984; Barreno y Pérez-Ortega, 2003; Nash III, 2008). No obstante, existen otras formas de crecimiento como son: líquenes leprarioides, escuamulosos y compuestos. Los leprarioides son aquellos con superficie granulosa-pulverulenta, sin córtex y transformada en soralios. Los escuamulosos son los más especializados, presentan forma de escamas o ampollas y tienden a separarse del sustrato por los márgenes (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Aquellos formados por dos tipos diferentes de talo corresponden con líquenes compuestos. Se caracterizan por presentar un talo primario, generalmente escuamuloso y otro secundario fruticuloso (de Paz y Burgaz, 2009).

## 1.2. CALIDAD DEL AIRE

Según la Dirección General de Medio Ambiente y Consejería de Medio Ambiente de Cantabria (2009) se define contaminación atmosférica como: “la presencia de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para personas, medio ambiente y demás bienes”.

La contaminación atmosférica es el resultado de la emisión directa de gases y material particulado procedentes de la actividad humana, tanto social como económica y de fuentes naturales. Podemos definir evaluación de la calidad del aire como: “resultado de aplicar cualquier método que permita medir, calcular, predecir o estimar las concentraciones de un contaminante en el aire ambiente o su depósito en superficies en un momento determinado” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019). Es necesario concretar que los términos calidad del aire y contaminación del aire presentan significados distintos. La calidad del aire se refiere a los efectos que los contaminantes provocan a los seres humanos, animales, plantas, así como a los monumentos. En cambio, contaminación del aire se refiere más a los niveles de contaminantes presentes en la atmósfera (Nimis *et al.*, 1991).

Según se recoge en la *Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en*

Europa, y en España en el *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire* y sus posteriores modificaciones, para poder hacer una evaluación de la calidad del aire ha de tenerse en cuenta el tamaño de las poblaciones y la exposición de los ecosistemas a la contaminación atmosférica. Atendiendo a estos criterios, las administraciones competentes son las encargadas de dividir su territorio en diferentes zonas o aglomeraciones teniendo en cuenta la densidad de población, llevándose a cabo la evaluación para los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), partículas (PM10 y PM2,5), plomo (Pb), benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), monóxido de carbono (CO), arsénico (As), cadmio (Cd), níquel (Ni), benzo(a)pireno (B(a)P) y ozono (O<sub>3</sub>), que son los contaminantes legislados para la protección de la salud (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019).

Si bien la tendencia de los últimos años es la de situar las zonas industriales en las afueras de los núcleos urbanos, aún siguen existiendo áreas industriales en las ciudades lo que supone una gran amenaza para el medio ambiente y el bienestar humano. Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece unos valores para los distintos contaminantes como objetivo a no superar, pero éstos no tienen poder legal, aun así, muchos países optan por utilizarlos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019).

Los diferentes métodos utilizados para la evaluación de una zona o aglomeración son mediciones fijas, mediciones indicativas y/o de modelización, la utilización de un método u otro, o incluso una mezcla de todos ellos, dependerá del contaminante objeto de análisis. Las mediciones fijas tienen lugar en espacios asentados, bien de forma continua o aleatoria, cuyo objetivo es describir los niveles de contaminación existentes en la atmósfera mediante sensores, equipos de medición de partículas y de recogida de muestras de precipitación. Las mediciones indicativas son menos estrictas que las anteriores respecto a la cobertura temporal mínima de la calidad de los datos, pero aun así satisfacen todos los objetivos. Por último, la modelización son un conjunto de herramientas matemáticas que permiten simular el comportamiento de la atmósfera para así poder definir los niveles de los contaminantes presentes. Para ello, se apoyan en información meteorológica, fuentes de emisión y simulan la dispersión de los contaminantes por el viento, turbulencia o las reacciones químicas del contaminante en la atmósfera (Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, 2014).

En las últimas décadas, como consecuencia del incremento de emisiones contaminantes a la atmósfera, se ha ido consolidando un nuevo método para la detección temprana de alteraciones producidas en el medio ambiente y de bajo coste conocido como bioindicación (Valdivia y Ramírez, 2018).

### 1.3. BIOINDICACIÓN

Un bioindicador o indicador biológico se define como aquel organismo que tiene la capacidad de reaccionar, responder o adaptarse a los cambios producidos en la calidad ambiental, ya sea como individuo o como comunidad. Los organismos bioindicadores se caracterizan por ofrecer datos cualitativos y cuantitativos como respuesta frente a un estrés ambiental (Abas, 2021).

Tanto la bioindicación como la biomonitorización tienen significados parecidos y ambas son utilizadas para el control ambiental, sin embargo, en sentido estricto adquieren un significado más específico. En muchos casos el término bioindicación hace referencia a mediciones de tipo cualitativo, mientras que biomonitorización hace alusión a mediciones más cuantitativas y prolongadas en el tiempo y en el espacio (Carballeira Ocaña *et al.*, 2003).

Los líquenes y los musgos son ampliamente utilizados en estudios de biomonitorización en todo el mundo debido a su alta sensibilidad frente a la contaminación del aire u otro tipo de estrés ambiental. Su efectividad es consecuencia de la falta de mecanismos protectores y de la absorción directa de nutrientes y agua del medio ambiente (Nash III, 2008; Fačkovcová *et al.*, 2020; Abas, 2021). Los líquenes, particularmente los epífitos, son considerados como los mejores indicadores de la calidad del aire. Sus características y su ubicación en zonas medias de los troncos de los árboles, hacen que sean considerados como “sistemas de control permanente” de las condiciones y cambios ambientales (Conti y Cecchetti, 2001; Barreno y Pérez-Ortega, 2003).

Los usos de este tipo de indicadores aportan una serie de ventajas puesto que se tratan de métodos sencillos, de bajo coste y que ofrecen datos sobre las variaciones de los contaminantes a lo largo del tiempo; a diferencia de los métodos físicos y químicos que solo aportan información en el momento del muestreo (Szczepaniak y Biziuk, 2003).

#### 1.3.1. Tipos de biomonitores

La contaminación atmosférica provoca modificaciones en las comunidades liquénicas y dependiendo de la naturaleza y composición de los contaminantes su impacto será mayor o

menor. Hoy en día, los líquenes son los organismos más utilizados en biomonitorización y pueden clasificarse en sensibles y acumulativos (Llop *et al.*, 2012).

Los biomonitores sensibles se basan en cambios morfológicos y fisiológicos, es decir, son de tipo visual y sirven como sistemas de alarma temprana. En cambio, los biomonitores acumulativos presentan la capacidad de almacenar contaminantes y se emplean en la medición de la concentración de los contaminantes presentes en el medio ambiente (Conti y Cecchetti, 2001; Abas, 2021). Para que su uso sea eficaz han de cumplir una serie de requisitos: ser organismos perennes, amplia distribución, reacciones de tolerancia o evitación y carecer de cutícula externa protectora, entre otros (Barreno y Pérez-Ortega, 2003).

### 1.3.2. Uso de líquenes como bioindicadores

Como se ha comentado anteriormente, los líquenes son muy útiles en este campo por diferentes razones como son su naturaleza simbiótica o sus características anatómicas, morfológicas y fisiológicas. Gracias a ello permiten elaborar estudios rápidos sobre los niveles de contaminación en distintas áreas actuando como señal de alarma. Además, las técnicas que se aplican con líquenes se consideran simples y de bajo coste, no obstante, también presentan desventajas. En ocasiones resulta difícil diferenciar entre los efectos de la climatología u otras variables ambientales de los cambios provocados por la acción humana. Asimismo, pueden verse afectados por plagas o distintos tipos de estrés como competencia o depredación (Nimis *et al.*, 2002). Se ha de mencionar que los líquenes nunca deben reemplazar a otros sistemas de medición de la calidad del aire, sino todo lo contrario, lo ideal sería emplear distintos tipos de métodos (físicos, químicos, bioindicadores) de manera conjunta (Nimis *et al.*, 2002).

El empleo de líquenes como bioindicadores y/o monitores puede desarrollarse de distintas maneras, una de ellas consiste en mapear todas las especies que se encuentran en un área concreto. También puede llevarse a cabo un muestreo individual junto con la medición de los contaminantes acumulados en el talo. Otro método empleado es el trasplante de líquenes de una zona no contaminada a otra que sí lo está, con el objetivo de observar cambios morfológicos y/o determinar bioacumulación de contaminantes (Conti y Cecchetti, 2001). Las especies más apropiadas en su uso como bioindicadores son los líquenes foliáceos y fruticulosos (Sett y Kundu, 2016).

La sensibilidad de los líquenes a la contaminación aumenta de unas formas de crecimiento a otras. En general, sigue el siguiente patrón: crustáceos < foliáceos < fruticulosos,



aunque no siempre se puede generalizar puesto que hay excepciones (Blett *et al.*, 2003; Sett y Kundu, 2016). Se ha descrito una serie de efectos que la contaminación provoca sobre las características de los líquenes, como pueden ser una disminución del tamaño del talo y los soralios, mortalidad de especies sensibles, talos más pálidos, empobrecimiento en términos de riqueza y/o abundancia (Blett *et al.*, 2003; Llop *et al.*, 2012; Abas, 2021). A nivel microscópico y molecular, se produce una reducción del número de células de algas presentes y/o cambios ultraestructurales en el talo (Sett y Kundu, 2016). No obstante, los más importantes son aquellos que provocan daños en la fotosíntesis y la respiración, puesto que inhiben la asimilación de CO<sub>2</sub> y perturban la composición de las membranas celulares con pérdidas de iones K<sup>+</sup>, así como otros cambios morfo-estructurales y reproductivos (Fernández-Salegui *et al.*, 2002).

### 1.3.3. Técnicas de bioindicación

Diversos estudios demuestran que los cambios en las comunidades líquénicas tienen relación con las alteraciones en los niveles de contaminación atmosférica. Por ello, es de especial importancia tener en cuenta aspectos como las características de la zona, diversidad de comunidades líquénicas y daños observables en especies sensibles (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). Si bien la información cualitativa se puede conocer sencillamente inventariando la presencia o ausencia de especies, la información cuantitativa se puede determinar mediante el uso de índices (El Rhzaoui *et al.*, 2015).

El más usado para cuantificar las condiciones ambientales empleando los líquenes como bioindicadores es el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Dicho índice fue propuesto por Amman y mejorado por Nimis *et al.* en 1990, siendo la ecuación:

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

Donde:  $m$ = número de forófitos por estación de muestreo;  $n$ = número total de especies en el inventario;  $f$ = frecuencia (valores entre 1 y 10). Para calcular el IPA de cada estación de muestreo, se suman las frecuencias de las especies encontradas y se divide entre los árboles muestreados (Barreno y Pérez-Ortega, 2003). En numerosos estudios se elige un único forófito de soporte común a todas las áreas, con el objetivo de evitar que variables del sustrato como el pH y la rugosidad afecten en el crecimiento de los líquenes (Correa-Ochoa *et al.*, 2020). Este método permite identificar cómo la distribución, frecuencia y la cobertura de líquenes varían en el espacio y/o en el tiempo sobre los diferentes gradientes de contaminación (El Rhzaoui *et al.*, 2015). Es utilizado sobre todo para hacer evaluaciones de la calidad del aire en áreas urbanas contaminadas, pero también puede emplearse para determinar la calidad de las condiciones

ecológicas de los líquenes en zonas con menor índice de contaminación (Tanona y Czarnota, 2020).

Otro método similar al IPA es el Índice de Biodiversidad Liquélica (IBL), conocido como el método de los cuadrantes, que se calcula mediante la suma de todas las especies de líquenes presentes en cada árbol. Consiste en colocar cuatro redes dispuestas al norte, sur, este y oeste de cada forófito (González-Torres *et al.*, 2006). También se emplea el Índice de Poleotolerancia (IP) propuesto por Trass en 1973 y revisado por Déruelle en 1978 (Gombert *et al.*, 2004). Permite representar un mapa de contaminación basándose en índices matemáticos teniendo en cuenta árboles de diferentes edades y especies (Conti y Cecchetti, 2001).

#### 1.3.4. Sensibilidad de los líquenes

En las últimas décadas, el SO<sub>2</sub> ha sido el principal contaminante que ha perjudicado a la distribución de líquenes epífitos en áreas urbanas e industriales. Gracias a las nuevas políticas de control se ha conseguido que estos organismos puedan volver a colonizar áreas que debido a la contaminación habían sido eliminadas. Sin embargo, esto no es suficiente puesto que es clara la disminución de riqueza de especies entorno a regiones urbanas e industriales (Giordani, 2007; Llop *et al.*, 2012). Sin embargo, no existe solo un contaminante que ocasione los efectos más graves en los líquenes. Se tomó como referente al SO<sub>2</sub> por ser el principal y estar claros los daños ocasionados por el mismo, pero siempre ha sido una mezcla de varios contaminantes (Conti y Cecchetti, 2001; Llop *et al.*, 2012).

Por todo ello, en el presente estudio se propone la utilización de los líquenes epífitos como biomonitores de la calidad del aire en la zona de estudio, con el fin de estudiar cómo afecta la contaminación atmosférica a estos organismos en la zona de Torrelavega (Cantabria).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es analizar la calidad del aire en la ciudad de Torrelavega mediante el uso de líquenes epífitos. Para ello, establecemos como objetivos parciales:

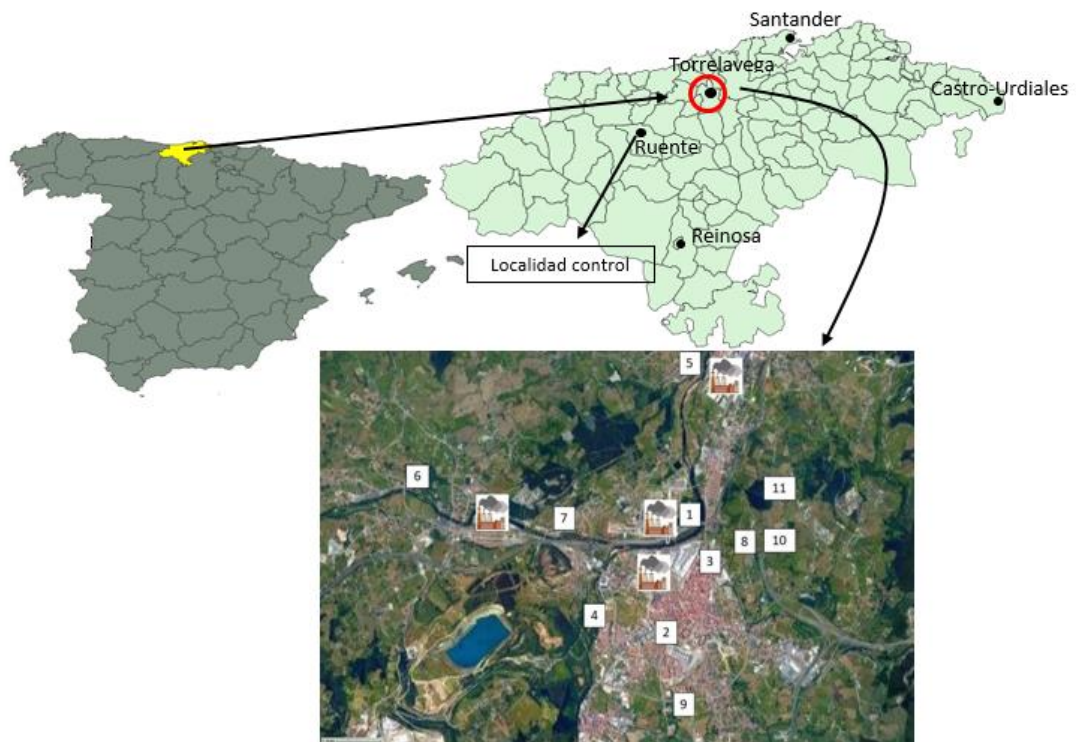
- Conocer las especies líquénicas epífitas de la zona de estudio.
- Calcular el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) de los puntos de muestreo de la zona de estudio.

- Obtener un mapa de síntesis de las zonas de isocontaminación.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el cuadrante noroccidental de la Comunidad Autónoma de Cantabria, en el norte de la Península Ibérica. En su mayoría perteneciente al municipio de Torrelavega, no obstante, también abarca una pequeña superficie perteneciente a los municipios vecinos de Reocín y Santillana del Mar (Figura 1). Se ubica dentro de la comarca costera entre los 35 y 79 msnm y se caracteriza por presentar el bioclima templado hipoceánico con temperaturas medias anuales de 14°C y precipitaciones medias anuales de 1335 mm (Ninyerola *et al.*, 2005).



**Figura 1.** Zona de estudio. Situación de los 11 puntos de muestreo y localización de los cuatro principales complejos industriales. La localidad control se ubica en el término municipal de Ruente a 30 Km al SW de Torrelavega.

Torrelavega es la segunda ciudad más grande de la Comunidad Autónoma de Cantabria por detrás de Santander (capital de la comunidad), su término municipal comprende una superficie de 35,54 km<sup>2</sup> con 51.597 habitantes repartidos en sus diez localidades que son: Barreda, Campuzano, Duález, Ganzo, La Montaña, Sierrapando, Tanos, Torrelavega, Torres y Viérnoles (Andrés y Masiá, 2019). Esta ciudad presenta una importante actividad industrial,

con instalaciones papeleras y químicas con un intensivo empleo de combustibles fósiles (Ruiz Andrés, 2014).

El Complejo Industrial de Sniace S.A. y el de Solvay Química, S.L. situadas en el área de estudio, suponen las industrias con mayor incidencia de contaminación atmosférica de toda Cantabria. No obstante, también se hallan las industrias de especial relevancia de ASPLA-Plásticos Españoles, S.A. y Bridgestone Hispania Manufacturing, S.L (Tabla 1); ésta última ubicada en el municipio vecino de Reocín (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2015).

**Tabla 1.** Principales complejos industriales en el área objeto de estudio. Fuente: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (MITECO), mayo 2021.

Municipio	Complejo industrial	Tipo de industria	Contaminantes expulsados
Torrelavega	Solvay Química, S.L.	Fabricación de productos básicos de química inorgánica	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> y PM <sub>10</sub>
Torrelavega	Sniace, S.A.	Fabricación de celulosa, fibra corta, fibras poliamídicas, secado de leñas	CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> y PM <sub>10</sub>
Torrelavega	ASPLA-Plásticos Españoles, S.A.	Fabricación de envases y embalajes de plástico	CO, COVNM, NO <sub>x</sub> y NO <sub>2</sub>
Reocín	Bridgestone Hispania Manufacturing, S.L.	Fabricación de neumáticos y cámaras de caucho	CO, CO <sub>2</sub> , COVNM, NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> y SO <sub>2</sub>

Respecto a espacios naturales de interés, se ha de señalar que Torrelavega no se encuentra dentro de ningún Espacio Natural Protegido, así como tampoco en ningún Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), definido en base a la Directiva 92/43/CEE del Consejo, relativa a la Conservación de los Hábitats Naturales y de la Fauna y Flora Silvestres. De igual forma, tampoco se encuentra dentro de una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), de acuerdo a la Directiva 79/409/CEE del Consejo, relativa a la Conservación de las Aves Silvestres (Andrés y Masiá, 2019). Señalar que, según el Visualizador de Información Geográfica del Gobierno de Cantabria, en el área objeto de estudio está presente el Área Natural de Especial Interés “La Viesca” (ES130009) aprobado por el Decreto 63/2016 del 29 de septiembre. La proclamación de este espacio natural se ejecutó de acuerdo a los supuestos contemplados en el artículo 7 de la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza (Andrés y Masiá, 2019).

El estudio experimental se ubica dentro de la Cuenca Hidrográfica del Cantábrico y como consecuencia de distintas acciones antropogénicas, han provocado la alteración de las formaciones vegetales limitándose a dos formaciones de evidente origen antrópico como son

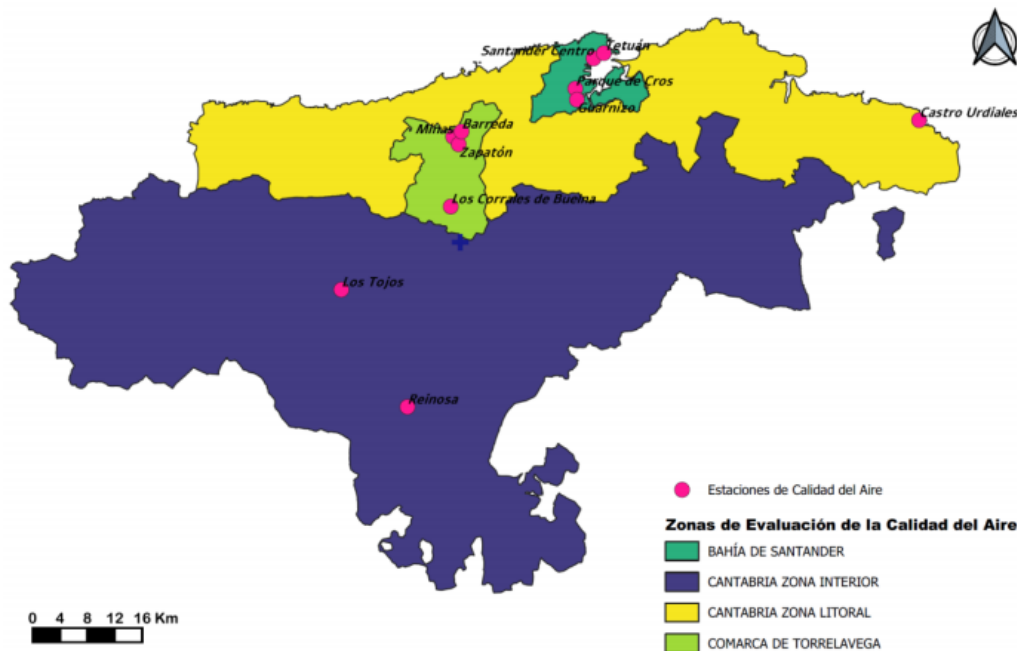
diferentes plantaciones de eucaliptos y los prados de siega (Andrés y Masiá, 2019). En el área objeto de estudio existen dos áreas industriales principales: el complejo industrial de Sniace, S.A., en torno al cual se ha llevado a cabo el diseño experimental y el complejo industrial de Solvay Química, S.L., situado a 2,5 km al norte del anterior complejo. El estudio se llevó a cabo en diferentes parques urbanos o plantaciones pertenecientes al municipio de Torrelavega, así como a los municipios vecinos, donde encontramos castaños de indias (*Aesculus hippocastanum*, L.), diferentes robles del género *Quercus* L., fresnos (*Fraxinus* sp., L.) y falsos plátanos (*Acer pseudoplatanus*, L.). Diferentes especies pero con una corteza semejante en cuanto al pH que será lo que determine el establecimiento de los líquenes.

### 3.2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANTABRIA

#### 3.2.1. Red de Vigilancia

Teniendo en cuenta el Centro de Investigación del Medio Ambiente (CIMA), la evaluación de la calidad del aire en la *Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire del Gobierno de Cantabria* se realiza a través de 11 estaciones fijas y una unidad móvil, que registran en tiempo real los niveles de los contaminantes.

Las estaciones se encuentran distribuidas por diferentes localidades de la región y la selección de los parámetros de medida, así como su ubicación se ha realizado teniendo en consideración las características de los focos y la tipología de la estación. Podemos clasificarlas en: urbanas de fondo, tráfico, industrial y regional de fondo. De igual forma, también se ha dividido la Comunidad Autónoma de Cantabria en 4 áreas de calidad del aire distintas que son: Bahía de Santander, Comarca de Torrelavega, Cantabria Zona Litoral y Cantabria Zona Interior (Figura 2) (Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente de Cantabria, 2009).



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones de medición y las zonas de evaluación de la calidad del aire en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Tomada de Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente de Cantabria (2009).

### 3.2.2. Comarca de Torrelavega

Torrelavega junto con los municipios vecinos de Cartes, Los Corrales de Buelna, Polanco, Reocín y San Felices de Buelna forman la Comarca de Torrelavega (ES0602) (Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente de Cantabria, 2009). Dentro de esta se hallan cuatro estaciones de medida de la calidad del aire, perteneciendo una de ellas al municipio de Los Corrales de Buelna y el resto al municipio de Torrelavega. La estación perteneciente a Los Corrales de Buelna es de tipo urbana de fondo e industrial y las que se encuentran en Torrelavega son: Estación Escuela de Minas (tráfico e industria), Estación Parque Zapatón (urbana de fondo) y Estación de Barreda (tráfico e industria) (Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente de Cantabria, 2009). Esta comarca tiene 186,26 km<sup>2</sup> de extensión y una población de 84.723 habitantes. Las estaciones miden en tiempo real los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas en suspensión de tamaño inferior a 10 micras (PM<sub>10</sub>), óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>) (Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo del Gobierno de Cantabria, 2011).

De acuerdo con el Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), Torrelavega se sitúa en el puesto 246 de las 856 ciudades europeas más contaminadas respecto a la media anual de NO<sub>2</sub> presente en la atmósfera. Se posiciona por delante de la ciudad de Santander, capital de

la región de Cantabria, que ocupa el puesto 296. La principal fuente de este contaminante son los procesos de combustión (vehículos motorizados en su mayoría) que pueden irritar las vías respiratorias y agravar enfermedades respiratorias como el asma y/u otro tipo de infecciones respiratorias (Organización Mundial de la Salud, 2018). Los líquenes presentes en áreas urbanas también se ven perjudicados por los procesos de combustión, lo que provocará que su distribución o diversidad de especies cambie de una zona a otra (Abas y Awang, 2017). A pesar de que Torrelavega es una ciudad con menor superficie y habitantes que Santander, 51.597 habitantes en Torrelavega frente a los 173.375 habitantes en Santander en 2020 (Instituto Nacional de Estadística, 2021), se trata de un núcleo urbano con gran carácter industrial. Por ello, la diferencia entre sus niveles de contaminación se debe en parte a la situación geográfica. Santander se sitúa junto a la costa mientras que Torrelavega se localiza en un valle a unos 10 km del mar, lo que dificulta la dispersión de los contaminantes (Bonet *et al.*, 1988).

### 3.3. DISEÑO DE MUSTREO Y RECOPIACIÓN DE DATOS

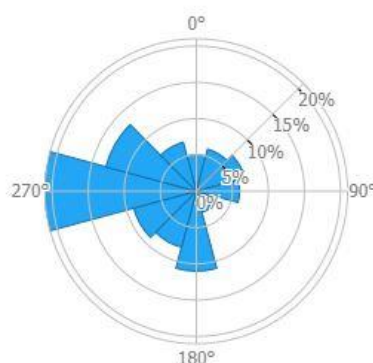
El muestreo se llevó a cabo entre septiembre de 2020 y enero de 2021. Se tomaron muestras de líquenes de 11 localidades con diferente distancia respecto a las dos principales zonas industriales. En cada punto de muestreo se seleccionaron aleatoriamente 3 árboles adecuados para llevar a cabo el muestreo de líquenes que debían cumplir los siguientes criterios: robles pertenecientes al género *Quercus* L., tronco recto no ramificado por debajo de 1,60 m, con perímetro comprendido entre 62 y 273 cm, ejemplares maduros y sin corteza lisa o pelada. El estudio abarcó en total 12 puntos de muestro, once de ellos en el área de estudio y el restante se tomó como punto de referencia o localidad control, perteneciente al municipio de Ruento en pleno valle de Cabuérniga enclavado en la zona occidental de la comunidad, situado a unos 30 km al SW de las dos zonas industriales. Dicha zona fue elegida puesto que se encuentra dentro del Parque Natural Saja-Besaya. En concreto, el muestreo se realizó en el Robledal del Monte Aá (perteneciente al pueblo de Ruento), el cual está declarado como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y forma parte de la Red Natura 2000 (Ayuntamiento de Ruento, 2015).

En total se muestrearon 36 árboles. En cada árbol, solo se tuvo en cuenta la presencia de líquenes epífitos que se encontraban a la altura entre el pecho y la frente de la persona que realizó el muestreo. Siguiendo las directrices italianas (Nimis *et al.*, 1991), para realizar el conteo de las frecuencias de cada especie de liquen se utilizó una red de muestreo de 30 x 50 cm, compuesta por 10 rectángulos de 10 x 15 cm cada uno, colocada sobre el tronco a la altura dicha anteriormente y en la cara con mayor densidad liquénica. Al encontrarse subdividida en

10 rectángulos, los valores de frecuencia de una determinada especie pueden oscilar entre 0 y 10, donde 0 indica que la especie no se encuentra presente y 10 que se encuentra presente en los 10 rectángulos del área de inventario (Conti y Cecchetti, 2001). Esto se repitió para cada especie de líquen presente en el árbol. Los líquenes fueron identificados en el campo y para aquellos que no fue posible fueron recolectados y posteriormente identificados en el laboratorio. Se identificaron hasta nivel de especie y en aquellos que resultó difícil como consecuencia del grado de malformación o de desarrollo, fueron reconocidos hasta nivel de género (Anexo I).

### 3.4. DATOS AMBIENTALES

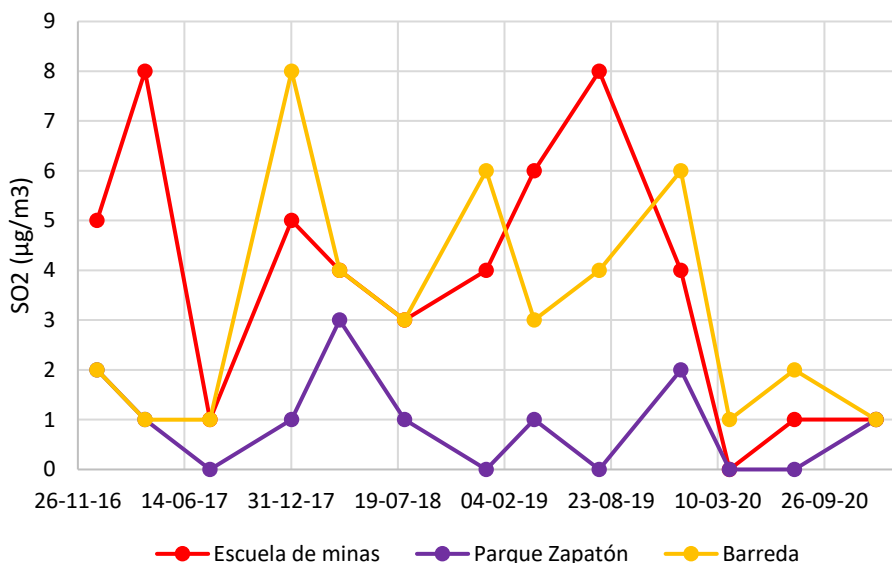
Se recopilaban datos ambientales a nivel de cada árbol y localidad de muestreo. Estos incluyeron datos como la orientación de la cara de cada árbol muestreado, las coordenadas de los puntos de muestreos y la contaminación (distancia en kilómetros desde las principales industrias y la localidad de muestreo). Así mismo, resulta importante destacar el régimen de vientos dominantes presentes en la zona, puesto que son los principales agentes dispersantes de los contaminantes. Como se puede observar en la Figura 3 presentan una mayor incidencia hacia el E, SE y N, por el contrario, hacia el NW y el S la frecuencia es mucho menor.



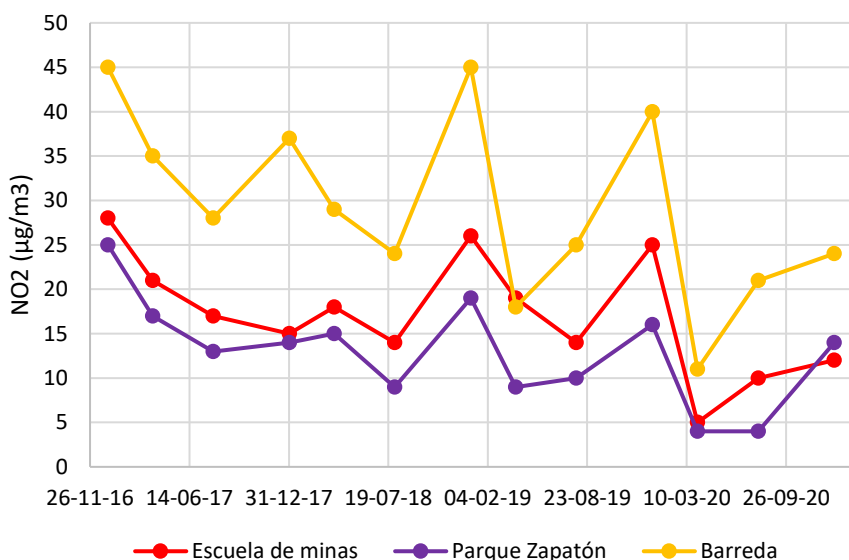
**Figura 3.** Rosa de los vientos de la ciudad de Torrelavega y su frecuencia. Fuente: Global Wind Atlas, 2021.

A través de la página web de la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo del Gobierno de Cantabria sobre la Calidad del aire de Cantabria, se puede acceder a los datos de los niveles de concentración en el aire de cada contaminante registrados por cada red de vigilancia existentes en la provincia. Las mediciones se efectúan de manera continua y es posible acceder al historial de los datos (Figuras 4 y 5).





**Figura 4.** Valores mensuales de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) del 01/01/2017 al 01/01/2021 registrados por las tres estaciones automáticas de vigilancia y control de la calidad del aire ubicadas en el área objeto de estudio (municipio de Torrelavega). En rojo la Escuela de minas (situada a 1,5 km al SW del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 3,5 km al SW de Solvay Química, S.L.); en morado el Parque Zapatón (situado a 3 km al S del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 4 km al S de Solvay Química, S.L.); en amarillo Barreda (situada a 800 m. al E del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 2 km al S de Solvay Química, S.L.). Datos tomados de la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo del Gobierno de Cantabria.



**Figura 5.** Valores mensuales de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) del 01/01/2017 al 01/01/2021 registrados por las tres estaciones automáticas de vigilancia y control de la calidad del aire ubicadas en el área objeto de estudio (municipio de Torrelavega). En rojo la Escuela de minas (situada a 1,5 km al SW del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 3,5 km al SW de Solvay Química, S.L.); en morado el Parque Zapatón (situado a 3 km al S del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 4 km al S de Solvay Química, S.L.); en amarillo Barreda (situada a 800 m. al E del complejo industrial de Sniace, S.A. y a 2 km al S de Solvay Química, S.L.). Datos tomados de la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo del Gobierno de Cantabria.

### 3.5. TRATAMIENTO DE DATOS

Para calcular el IPA de cada estación o punto de muestreo se siguió la propuesta de Nimis *et al.*, (1991), donde se especifica que se deben sumar las frecuencias de todas las especies presentes en la red de muestreo y dividirse entre el número de forófitos que se vayan a muestrear en cada punto, que en nuestro caso fue de 3 forófitos. Para la obtención de estos valores se utilizó el programa Microsoft Excel (versión 2016). Para la representación cartográfica de los resultados se ha utilizado el programa SURFER (Golden Software, Inc., 1993-2004, Golden, Colorado, USA), versión 8.05. Se ha empleado Kriging como método de interpolación.

El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico PAST (PAleontological STatistics), versión PAST3.18 (Hammer *et al.*, 2001). Se aplicó la técnica estadística multivariante de ordenación y se realizó un Análisis en Componentes Principales (ACP) para establecer si existen agrupaciones a nivel de alianza, para lo que se utiliza la matriz de especies y localidades.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE LÍQUENES

El número total de especies identificadas fue 27, de las cuales ninguna estaba presente en todas las áreas de muestreo y 12 de ellas fueron exclusivas de una determinada localidad (Anexo I).

Se encontraron 23 géneros, de los cuales *Physcia* fue el género más representativo con 3 especies, seguido de *Lecanora* y *Pertusaria*, con 2 especies cada uno. Respecto a las especies, las que tuvieron una mayor frecuencia total, es decir, suma de las frecuencias (de 0 a 10) individuales de cada árbol donde se encontraban son: *Heterodermia obscurata* Nyl. (96), *Xanthoria parietina* L. (76), *Phaeophyscia nigricans* Flörke (49) y *Lecidella elaeochroma* Ach. (47). Por el contrario, *Melanelixia subaurifera* Nyl., *Physcia aipolia* Humb. y *Ramalina farinacea* L., todas ellas con frecuencia igual a 1, fueron las especies con menor frecuencia. En la localidad control, tres de cinco especies presentes fueron exclusivas de esta localidad, que corresponden con *Chrysothrix candelaris* L., *Parmelia caperata* L. y *Pertusaria amara* Ach.

Fue notable el alto grado de cobertura de líquenes presentes en la localidad 9, así como en la localidad control, frente a las localidades más próximas a las zonas industriales (Figura 6). En el punto de muestreo 9, las especies *Phaeophyscia nigricans* Flörke, *Physcia adscendens*

H. Olivier, *Physcia semipinnata* JF Gmel. y *Xanthoria parietina* L. se encontraban con una frecuencia igual a 10 en los tres árboles muestreados (ver Anexo I). En cambio, en la localidad 1, situada frente al foco de contaminación, la cobertura observada fue notablemente menor, encontrando con la mayor frecuencia (frecuencia igual a 6) la especie *Lecanora conizaeoides* Cromb. en un solo árbol de los 3 muestreados.



**Figura 6.** Comparación de la cobertura líquénica entre dos localidades de muestreo. **A.** Cobertura líquénica y riqueza observada en uno de los tres árboles muestreados en la localidad 9. **B.** Cobertura líquénica y riqueza observada en uno de los tres árboles muestreados en la localidad 1.

De las 12 localidades muestreadas (contando con la localidad control), la localidad 11 fue la que presentó un mayor número de especies, con 7 especies presentes de las 27 identificadas. Ésta se ubica en el Barrio San Ramón ( $43^{\circ} 21' 46''$  N /  $4^{\circ} 2' 6''$  W) a 1 km al E de Sniace y a 1,5 km al SE de Solvay. En cambio, las localidades 5 y 8 son las que menor diversidad de especies presentan, cada una con 3 especies de las 27 observadas. La localidad 5 ( $43^{\circ} 22' 17''$  N /  $4^{\circ} 2' 28''$  W) se encuentra a menos de 400 m al W de Solvay Química, S.L., separada de ésta por el río Saja, por lo que la alta vecindad a la fuente de contaminación provoca que la riqueza líquénica sea menor. El Parque “Las Traídas” ( $43^{\circ} 20' 58''$  N /  $4^{\circ} 2' 49''$  W) corresponde con la localidad 8, la cual se ubica a 2 km al S de Solvay y a 1,2 km al SE de Sniace. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Correa-Ochoa *et al.* (2020), en donde los cambios en las comunidades de líquenes se encuentran relacionados con la contaminación del aire. Existiendo una correlación negativa entre la diversidad líquénica y la concentración de contaminantes.

El Parque de las Tablas (43° 21' 35" N/ 4° 2' 42" W), conocido popularmente como “El Patatal” es el punto de muestreo nº 1, el cual está frente a las instalaciones industriales de Sniace, S.A. por lo que la riqueza de líquenes observada no fue muy amplia, se visualizaron únicamente 4 especies con talo liquénico muy reducido y con cobertura mínima.

La localidad 2 se ubica en el centro urbano de Torrelavega, en el gran pulmón verde de esta ciudad, conocido como Parque Manuel Barquín (43° 20' 47" N / 4° 3' 12" W). Se encuentra a 1,5 km y a 3,6 km al S de los dos complejos industriales de la zona. En el Barrio “La Inmobiliaria” se sitúa la localidad 3, el muestreo fue realizado en una plantación de robledales donde se identificaron 5 especies, de las cuales es importante destacar *Xanthoria parietina* L., con efectos notables en su morfología, puesto que la gran mayoría de sus apotecios estaban vacíos. La localidad 4 tuvo lugar en el Parque de la Viesca (43° 20' 24" N/ 4° 3' 46" W), el cual se encuentra dentro del Área Natural de Especial Interés de la Viesca. Esta fue la única localidad donde se encontró un líquen con biotipo compuesto (*Cladonia fimbriata* L.).

La localidad 6 tuvo lugar en el municipio vecino de Reocín, en concreto, en Puente San Miguel (43° 21' 50" N/ 4° 5' 33" W) a 2,8 km al W de Sniace, S.A. y a 4,8 km al SW de Solvay Química, S.L. El punto de muestreo 7 se encuentra en la localidad de Ganzo (43° 21' 33 " N/ 4° 4' 8"W) perteneciente al municipio de Torrelavega, situada a 1,3 km al W de Sniace y a 3,8 km al SW de Solvay. En esta localidad se observó la presencia de *Ramalina farinacea* L., con cambios morfológicos destacables en su talo como consecuencia de la contaminación atmosférica.

En el Campus Universitario de la ciudad de Torrelavega (43° 20' 6" N/ 4° 2' 58" W) tuvo lugar el muestreo nº 9, se trata de la localidad situada más al sur y con mayor distancia a las principales fábricas de esta ciudad, situada a 3 km al S de Sniace y a 5 km al S de Solvay. Su ubicación y distancia a estos focos de contaminación, así como que la dirección predominante de los vientos sea hacia el E, provoca que la cobertura de líquenes encontrada en este lugar fuese más elevada y notable en comparación con otras ubicaciones como la localidad 7 o 1.

En la parte alta y al este del municipio tuvo lugar el muestro nº 10 (43° 21' 21" N/ 4° 2' 6" W), esta localidad se encuentra próxima al punto de muestreo 8. Fue seleccionado porque estas dos localidades se encuentran separadas por la Autovía del Cantábrico (A-8) con el fin de estudiar si la presencia de una carretera transitada tiene efectos sobre las poblaciones de líquenes. En estas dos últimas localidades, junto con el Barrio San Ramón, se muestrearon

ejemplares maduros con gran perímetro. Por lo que, según Cristofolini, *et al.* (2008), en condiciones ecológicas similares, la aparición de corteza rugosa puede influir en la riqueza líquénica, de ahí que se observaron diferencias entre estos puntos cercanos.

Como localidad control o de referencia, se llevó a cabo un muestreo en los robledales del Monte Aá (43° 15' 44" N/ 4° 17' 45" W), perteneciente al municipio de Ruate, situado a unos 30 km al SW de Torrelavega. En esta área es importante destacar que, aunque no fue la localidad con mayor riqueza, sí que se observó una alta colonización de las especies presentes, tanto en el tronco como en las ramas. Se encontraron las especies de *Lepraria incana* L., *Chrysothrix candelaris* L., *Pertusaria amara* L. y *Parmelia caperata* L., ésta última junto con *Parmotrema perlatum* Huds., destacan por presentar talos amplios y el mayor desarrollo de todas las especies encontradas.

#### 4.2. IPA

A través del método de Índice de Pureza Atmosférica (IPA), de manera indirecta nos indica la cobertura de los líquenes y de forma directa la diversidad de especies encontradas en los diferentes puntos de muestreo (LijteRoff *et al.*, 2009). En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos del IPA para los distintos puntos de muestreo.

**Tabla 2.** Número de especies observadas, su frecuencia total y valores de IPA obtenidos en cada localidad o punto de muestreo.

Localidad	Nº de especies	Frecuencia total	IPA
1	4	15	5,00
2	6	44	14,67
3	4	31	10,33
4	5	30	10,00
5	3	21	7,00
6	4	45	15,00
7	6	61	20,33
8	3	28	9,33
9	6	145	48,33
10	5	62	20,67
11	7	88	29,33
Localidad control	5	73	24,33

Como se observa en la Tabla 2, el valor de IPA más pequeño se dio en la localidad 1, lo que nos indica la elevada contaminación en ese lugar, puesto que se encuentra enfrente a las instalaciones de Sniace, S.A. De igual forma, en la localidad 5 el valor de IPA obtenido es de 7, siendo la segunda localidad más contaminada. Dicha localidad se encuentra al noroeste del complejo industrial de Solvay Química, S.L., y como se puede ver en la rosa de los vientos (Figura 3), los vientos soplan predominantemente hacia el N, llevando consigo todas las

partículas y otros contaminantes que esta fábrica libera al medio (Tabla 1). Además, donde se realizó el muestreo era una plantación arbórea que tuvo lugar en los años 2009/2010, por lo que los ejemplares no eran muy maduros y los líquenes son especies que tardan muchos años en colonizar nuevos ejemplares.

Por el contrario, la localidad 9 situada al sur del área de muestreo y con la mayor distancia respecto a las dos principales industrias, así como que el régimen de vientos sople hacia el este, la convierten en la localidad con el valor de IPA más alto. Estos datos nos indican que los valores obtenidos en los puntos de muestreo más cercanos a las fuentes de contaminación, fueron significativamente diferentes a los puntos con mayor distancia. Por tanto, los valores de IPA aumentaron gradualmente, según cuando la distancia a los focos de contaminación era cada vez mayor.

#### 4.2.1. Zonas de isocontaminación

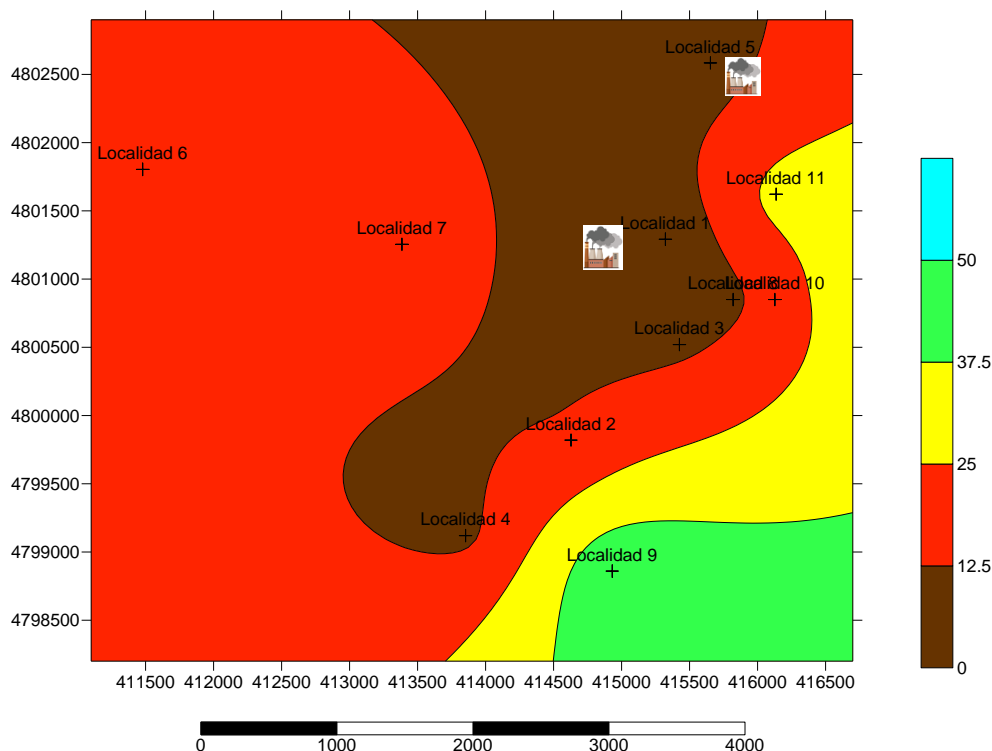
Para la delimitación de las zonas de isocontaminación se utilizaron los valores de IPA obtenidos comprendidos entre 5,00 y 48,33. En el mapa de la Figura 7 se observa el mapa bidimensional del área objeto de estudio con las diferentes zonas de isocontaminación. Hemos definido cinco zonas de isocontaminación (Figura 7) con un intervalo del IPA de 12,5 unidades.

Zona I: es la zona con mayor nivel de contaminación, comprendida entre valores de 0 y 12,5. Engloba a las localidades 1, 3, 4, 5 y 8, y a los complejos industriales de Sniace S.A. y Solvay Química, S.L.

Zona II: con una calidad del aire baja, con valores de IPA de 12,5 a 25. Se sitúa rodeando a la anterior, con mayor abundancia hacia el SW. Esta zona engloba el centro urbano de la ciudad de Torrelavega y las localidades 2, 6, 7 y 10, así mismo dentro de ésta se encontrarían las industrias con menor impacto ya citadas, que corresponden con ASPLA-Plásticos Españoles, S.A. y Bridgestone Hispania Manufacturing, S.L.

Zona III: con un nivel moderado de contaminación y con valores de IPA comprendidos entre 25 y 37,5, se extiende sobre todo en dirección E y S. Engloba únicamente a la localidad 11.

Zona IV: con bajo nivel de contaminación y valores de IPA de 35,5 a 50, establecida en el S del área objeto de estudio, contiene únicamente la localidad 9.



**Figura 7.** Mapa de isocontaminación obtenido del área objeto de estudio. Con colores marrones-rojizos se representan las zonas con valores bajos de IPA, sin embargo, con colores verdes-azules se representan zonas con valores de IPA más elevados.

Zona V: con un nivel de contaminación muy bajo y con valores de IPA mayores de 50, en esta zona no se encuentra ninguna de las localidades estudiadas.

En la Tabla 3 se indican las cinco zonas establecidas según los valores de IPA obtenidos, las áreas más degradadas son las zonas I y II, que comprenden los complejos industriales y el centro urbano donde mayor actividad antrópica existe. Las especies líquénicas encontradas aquí corresponden, en su mayoría, con especies presentes en ambientes influenciados por la actividad humana. A medida que nos desplazamos hacia el SE del área objeto de estudio, la calidad del aire mejora.

**Tabla 3.** Zonas establecidas, junto con los diferentes intervalos de IPA y la calidad del aire en cada una de ellas. Modificado de Conti y Cecchetti (2001).

Zona	Intervalo IPA	Calidad del aire
I	$0 < IPA < 12,5$	Nivel de contaminación muy alto
II	$12,5 < IPA < 25$	Alto nivel de contaminación
III	$25 < IPA < 37,5$	Nivel moderado de contaminación
IV	$37,5 < IPA < 50$	Bajo nivel de contaminación
V	$IPA > 50$	Nivel de contaminación muy bajo

### 4.3. BIOTIPOS

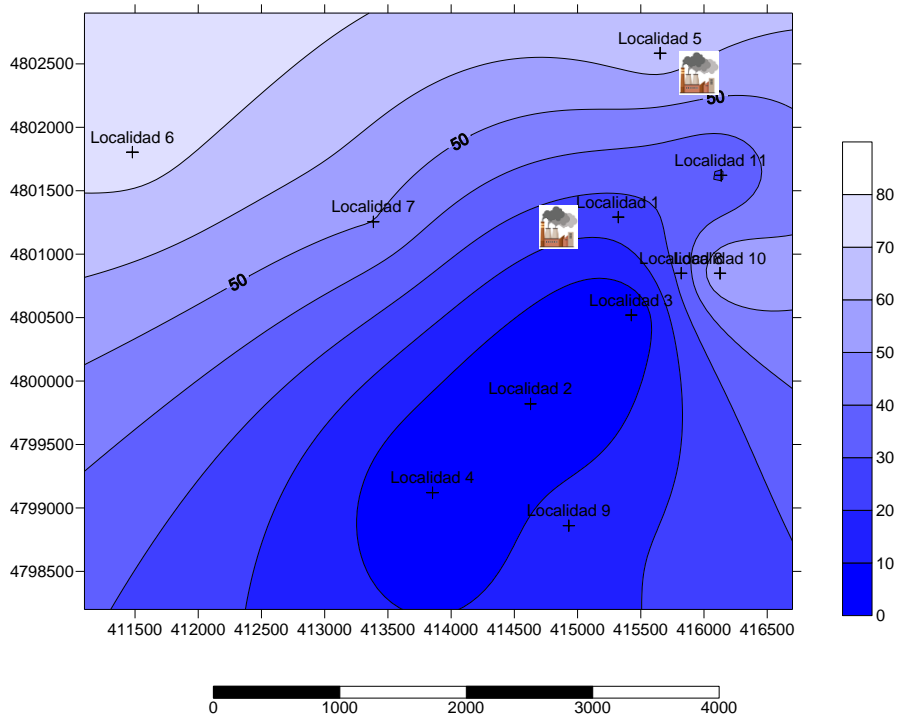
Se identificaron seis biotipos diferentes, siendo el de mayor representación el crustáceo con 10 especies de las 27 encontradas, seguido del biotipo foliáceo con lóbulos estrechos (7), foliáceo con lóbulos anchos (5) y leprarioide (2). Por el contrario, los biotipos compuesto, fruticuloso y escuamuloso solo fueron observados en una ocasión.

Como se observa en la Figura 8, las especies con biotipo crustáceo aumentan hacia el NW donde las localidades 6 y 7 se encuentran próximas a las fuentes de contaminación, pero no todos los crustáceos son de zonas contaminadas. Algunos como *Arthonia stellaris* Kremp., especie supersensible a la contaminación, aparece únicamente en la localidad 7 próxima al complejo industrial de Sniace, sin embargo, que los vientos predominen en dirección contraria favorece el desarrollo de esta especie. Otro caso es el de *Buellia disciformis* Fr., que se trata de una especie que se encuentra en bosques maduros, bien conformados y no muy eutropizados, por lo que únicamente aparece en la localidad control. Por el contrario, *Lecanora conizaeoides* Cromb., es una especie toxitolerante que se conoce que es capaz de vivir en zonas con emisiones de contaminantes. Esta se encuentra presente en las localidades 1 y 10, las cuales reciben gran cantidad de contaminantes como consecuencia del predominio de los vientos hacia el E y SE.

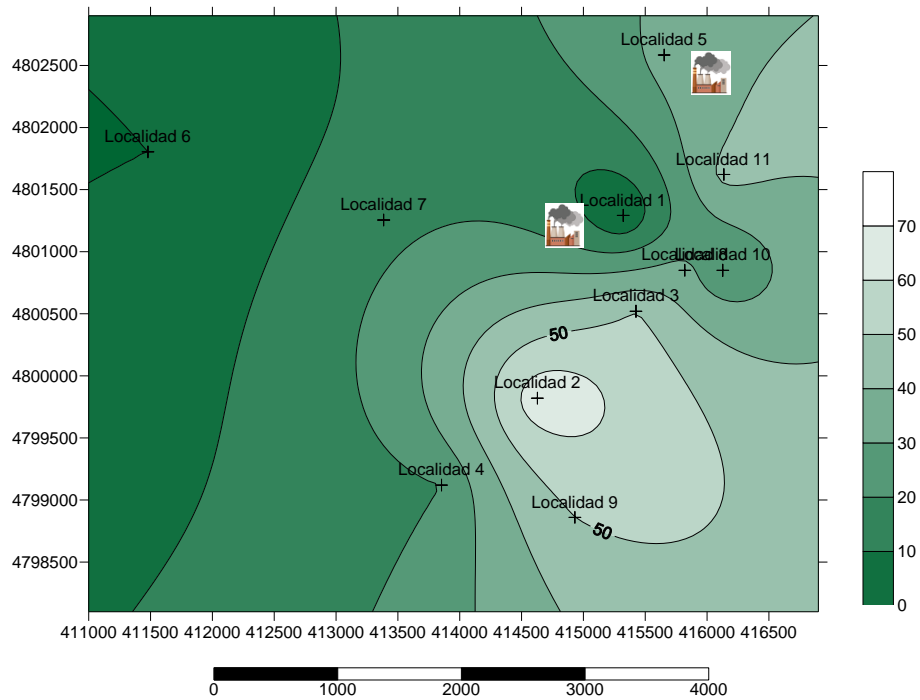
En la Figura 9, se representa la distribución de especies foliáceas con lóbulos estrechos. Se observa que a medida que nos desplazamos hacia el sur, el número de especies con este biotipo aumenta, siendo las localidades 2 y 9 las que mayor porcentaje presentan. En la localidad 2, encontramos *Hyperphyscia adglutinata* Flörke, especie tolerante que suele habitar en áreas urbanas. En el punto de muestreo 9, se halla *Phaeophyscia nigricans* Flörke que es una especie un poco sensible, por lo que la ubicación de este punto permite que la especie pueda sobrevivir.

La distribución de los grupos morfológicos en los puntos de muestreos fue diferente. El mayor porcentaje de taxones crustáceos se registró en la localidad 6 (75,00%), de taxones foliáceos con lóbulos estrechos en la localidad 2 (66,67%) y foliáceos con lóbulos anchos en la localidad 1 y 3 (ambas con 50,00%). En la localidad de referencia el 40,00% de las especies presentes pertenecían al biotipo leprarioide.





**Figura 8.** Distribución en porcentaje de especies con biotipo crustáceo encontradas en la zona de estudio. Se observa un mayor predominio de especies crustáceas hacia el norte y noroeste, por el contrario, hacia el S, el número de especies crustáceas disminuye.



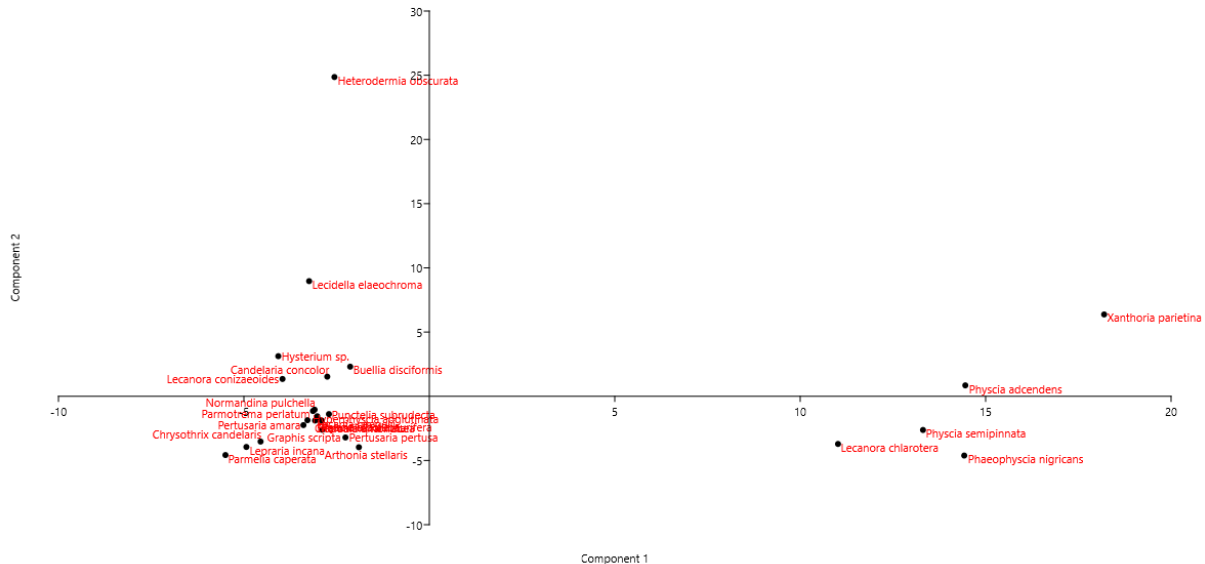
**Figura 9.** Distribución en porcentaje de especies con biotipo foliáceo lóbulo estrecho encontradas en el área de estudio. Hacia el sur aumenta la presencia de especies foliáceas con lóbulos estrechos.

#### 4.4. ESPECIES INDICADORAS

Los líquenes en función de su sensibilidad o tolerancia a la contaminación, pueden determinar patrones locales de la calidad del aire (El Rhzaoui *et al.*, 2015). Algunos de los líquenes más sensibles encontrados son *Arthonia stellaris* Kremp., *Buellia disciformis* Fr., *Lepraria incana* L., *Cladonia fimbriata* L., *Normandina pulchella* Borrer, *Physcia semipinnata* JF Gmel. y *Ramalina farinacea* L. En cambio, los más tolerantes a la contaminación fueron *Lecanora chlarotera* Nyl., *Lecanora conizaeoides* Cromb., *Candelaria concolor* Dicks., *Lecidella elaeochroma* Ach., *Physcia adscendens* H. Olivier, *Physcia aipolia* Humb. y *Xanthoria parietina* L. Para determinar que especies eran sensibles y cuáles tolerantes, se ha tenido en cuenta la información recogida en ITALIC 6.0 (Nimis, 2016).

#### 4.5. ANÁLISIS DE COMUNIDAD

Para realizar el análisis de comunidad, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) teniendo en cuenta todos los árboles muestreados, con todas las especies presentes y su frecuencia. En la Figura 10 observamos el resultado del ACP, el cual determinó la división de la comunidad líquénica en dos grupos.

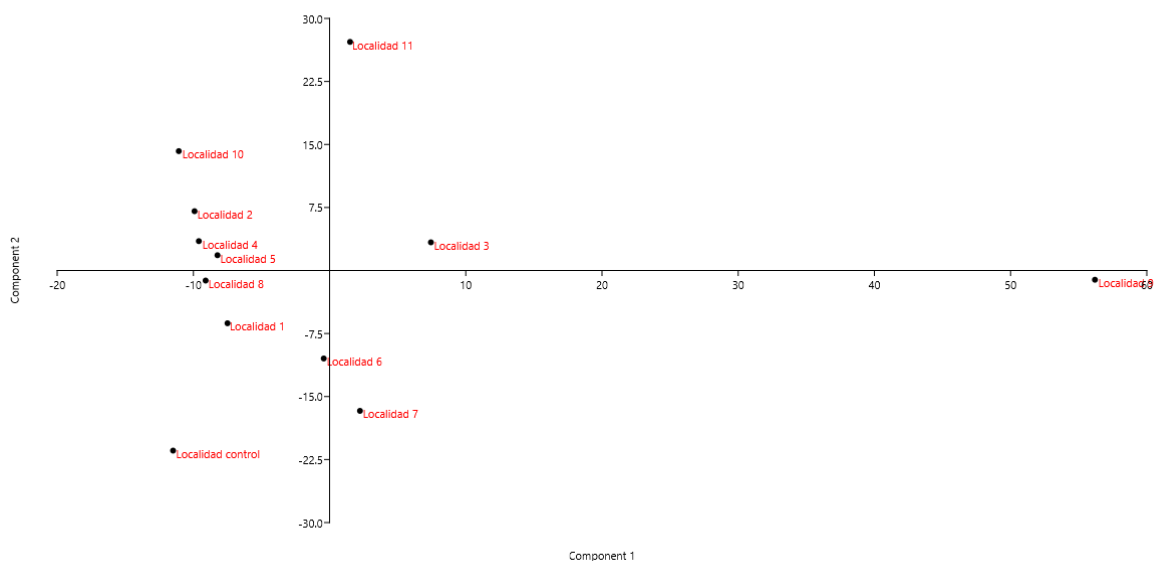


**Figura 10.** Gráfico obtenido del Análisis de Componentes Principales de las especies observadas en todas las localidades muestreadas. Los ejes X e Y representan los dos componentes principales y en rojo las especies de líquenes identificadas.

En este caso, el ACP está basado en el total de forófitos muestreados, por lo que la representación obtenida responde a las afinidades entre especies de los distintos puntos de muestreo. El mayor porcentaje de varianza (29,58 %) se obtuvo para el primero, mientras que

para el segundo se obtuvo un 20,82 % de varianza. Las principales diferencias entre la ordenación espacial de las especies se deben a su tolerancia o sensibilidad frente a la contaminación. De esta forma, las especies a la derecha del gráfico de la Figura 10 corresponden con especies tolerantes, que sobre todo aparecen en zonas afectadas por la contaminación y pertenecen a la alianza *Xanthorion* (Fernández-Salegui y Terrón, 2003). El resto de especies está bastante indefinido, no se marca alianza. Las situadas a la izquierda no presentan las mismas características o bien no son tan tolerantes. Con relación al segundo eje o factor, hacia arriba se sitúan las especies con menor amplitud respecto a la insolación y la humedad, que necesitan ambientes no contaminados y con bastante claridad, pero sin sol directo y humedad no excesiva. Por el contrario, hacia abajo las especies muestran mayor amplitud respecto a iluminación y humedad.

Al someter las localidades a un Análisis de Componentes Principales, obtenemos información de cómo se agrupan en función de las frecuencias de las especies presentes y las localidades de muestreo. Como se observa en la Figura 11, podemos agrupar las localidades en 3 grupos principales, donde la varianza del componente principal es de 39,91 % y para el segundo componente de 19,67 % de varianza. A la derecha del gráfico encontramos las localidades 9, 3, 11, 7 y 6, éstas se caracterizan por tener especies sensibles y tolerantes, lo que genera un aumento en los valores de IPA. Sin embargo, en muchas ocasiones los talos son pequeños, lo que se conoce como efecto ecotono o borde donde se mezclan especies con diferente sensibilidad. La localidad 9 es la que más se diferencia con el resto y es la zona donde mayor efecto de ecotono encontramos. En la parte inferior izquierda aparece la localidad control, la cual presenta un IPA más bajo, pero casi todas sus especies presentes son sensibles a la contaminación, por lo que marca una mejor calidad del aire. El resto de localidades corresponden con puntos de muestreo donde los niveles de contaminación son mayores y sobre todo se encuentran especies toxitolerantes.



**Figura 11.** Gráfico obtenido del Análisis de Componentes Principales de las localidades o puntos de muestreo (en rojo). Los ejes X e Y representan los dos componentes principales.

## 5. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue analizar la calidad del aire en una ciudad con altos índices de contaminación como lo es Torrelavega. Para ello, se llevó a cabo un estudio de las comunidades liquénicas presentes en diferentes localidades de esta ciudad, centrándonos fundamentalmente en qué especies estaban presentes y cuáles eran sus frecuencias.

Se ha demostrado que el mapeo con líquenes es una herramienta muy útil en áreas urbanas, donde resulta difícil y costoso monitorear varios contaminantes y fuentes puntuales mediante métodos físico-químicos (McCarthy *et al.*, 2009; Koch *et al.*, 2019).

El biotipo liquénico es una característica fácilmente reconocible y se ha revisado si pueden ser una herramienta potencial para evaluar los efectos de la contaminación (Degtjarenko *et al.*, 2018). De acuerdo con Cohn-Berger y Quezada (2016), los líquenes fruticulosos son los primeros en desaparecer en un ecosistema urbano debido a la contaminación atmosférica. Esto se confirma con los datos obtenidos en este trabajo, ya que solamente se encontró una especie con biotipo fruticuloso (*Ramalina farinácea* L.), cuya estructura morfológica se encontraba gravemente dañada, lo que indicaría la presencia de contaminantes atmosféricos. Kock *et al.* (2019) establece que este biotipo suele estar asociado con lugares menos perturbados. El mayor biotipo encontrado correspondió con especies foliáceas (44,44%), concuerda con los resultados obtenidos por Correo-Ochoa *et al.* (2020), donde afirma que estos líquenes suelen ser indicadores sensibles de la contaminación. Además, Kock *et al.* (2019) establece que el grado

de perturbación afecta a la forma de crecimiento y en zonas altamente urbanizadas asociadas a altos niveles de contaminación, abundaban con mayor presencia líquenes foliáceos de lóbulos estrechos, puesto que toleran niveles moderados-altos de contaminación. Todos los puntos de muestreo mostraban algún grado de perturbación, lo que explica la rareza de líquenes fruticulosos (Kock *et al.*, 2019). Además, en el estudio llevado a cabo por Tanona y Czarnota (2020), constataron que la acumulación de contaminantes en los talos liquénicos se correlaciona negativamente con una mayor distancia a los principales focos de contaminación.

Entre localidades próximas o incluso dentro de una misma localidad, se observaron diferencias entre riqueza o frecuencia de las distintas especies. Esto se observó en la localidad 8, donde cada árbol muestreado presentó una única especie diferente en los 3 ejemplares. Así mismo, al comparar esta localidad con el punto de muestreo 10 (muy próxima), la diversidad de especies fue notablemente mayor. De acuerdo con Cristofolini *et al.* (2008), la textura de la corteza, el perímetro y la inclinación del tronco son factores que influyen en la abundancia y distribución de los líquenes. Así mismo, estas dos localidades se encuentran separadas por la Autovía del Cantábrico A-8 (transitada carretera que rodea de oeste a norte la ciudad de Torrelavega). Acorde con lo dicho anteriormente, varios autores (LijteRoff, *et al.*, 2009; Llop *et al.*, 2012) afirman que el tráfico es una de las principales causas de la disminución de la diversidad y abundancia liquénica.

La familia con mayor representación fue Physciaceae, esto se respalda por los resultados obtenidos por autores como Correa-Ochoa *et al.* (2020) o Käffer *et al.* (2011), que encontraron predominio de especies de la misma familia en estudios similares. La ausencia de ejemplares de *Usnea* sp. (Adans) y otros géneros sensibles a la contaminación (especies toxifóbicas), y la presencia de especies toxitolerantes como *Candelaria concolor* Dicks., *Hyperphysia* sp. Müll. Arg. y *Physcia* sp. Schreb, indican que la industrialización ha provocado perturbaciones en las comunidades liquénicas de esta ciudad (LijteRoff, *et al.*, 2009; McCarthy *et al.*, 2009).

De los valores de IPA obtenidos, los valores más bajos corresponden con niveles de contaminación más elevados. Esto se explica por una mayor cercanía a zonas industriales o de alta urbanización. Por el contrario, los valores más elevados se encontraron en aquellos puntos con mayor distancia a las fuentes de contaminación o con menor grado de urbanización. Concuerta con los resultados obtenidos por otros autores como Llop *et al.*, (2012), Valdivia & Ramírez (2018), donde la diversidad liquénica aumenta cuando nos alejamos de los puntos con mayor índice de contaminantes.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio, nos indican que la ciudad de Torrelavega se trata de un núcleo urbano industrial con efectos notables para la diversidad y riqueza de líquenes. Aunque existan estaciones de medición de partículas contaminantes y se lleve a cabo un control de la calidad del aire, no es suficiente. Las emisiones de gases contaminantes por parte de industrias o procesos de combustión originados por la gran cantidad de vehículos motorizados, provocan alteraciones en las comunidades liquénicas.

## 6. CONCLUSIONES

- Los líquenes son una herramienta útil como bioindicadores de la calidad del aire porque integran los efectos de todas las sustancias presentes. Además, sus características fisiológicas hacen que sean métodos menos costosos y más rápidos que otras técnicas empleadas para determinar los efectos de la contaminación atmosférica.
- El Índice de Pureza Atmosférica (IPA) evidencia que las zonas más próximas a las fuentes de contaminación presenta una menor riqueza y abundancia de especies que zonas más alejadas. Por lo tanto, a medida que nos alejamos de los centros industriales y del centro urbano, la calidad del aire mejora.
- La ausencia casi total de líquenes con biotipos fruticulosos o compuestos puede relacionarse con la baja calidad del aire, gran circulación de vehículos a motor o escasez de zonas verdes.
- Para estudiar la calidad del aire en una zona tan compleja como lo es Torrelavega, sería necesario un mayor número de unidades de muestreo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abas, A. (2021) "A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges", *Ecological Indicators*. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107197
- Abas, A., & Awang, A. (2017) "Air pollution assessment using lichen biodiversity index (LBI) in Kuala Lumpur, Malaysia", *Pollution research*, 36(2), pp. 241-248.
- Andrés C., & Masiá LL. (2019) *Informe de sostenibilidad ambiental*. Torrelavega (Cantabria): Ayuntamiento de Torrelavega.
- Ayuntamiento de Ruento (2015) *Robledal de Monte Aá*. Disponible en: <https://ruente.es/robledal-de-monte-aa/> (Accedido: 19 de mayo de 2021).
- Barreno, E. y Pérez-Ortega, S. (2003) *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Oviedo: KRK Ediciones.

- Barreno, E., & Rico, V. J. (1984) “Sobre la biología de los líquenes. I Anatomía, morfología y estructuras vegetativas”, *Anales De Biología*, (1), pp. 161-195.
- Blett, T., Geiser, L., & Porter, E. M. (2003) *Air pollution-related lichen monitoring in national parks, forests, and refuges: guidelines for studies intended for regulatory and management purposes*. Colorado: National Park Service Air Resources Division.
- Bonet, A., Villar, E., Diaz-Caneja, N., Gutierrez, I., & Martinez, A. (1988) “A comparative study of the ion composition of precipitation in two industrialized cities in Cantabria (Spain)”, *Environment international*, 14(3), pp. 229-236.
- Carballeira Ocaña, A., Retuerto Franco, J. C. R., Fernández Escribano, J. Á., & Aboal Viñas, J. R. (2003) *Biomonitorización de la calidad del aire*. Universidade de Santiago de Compostela: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
- Centro de Investigación del Medio Ambiente (2015) *Diagnóstico sobre problemas ambientales en la región*. Cantabria: Gobierno de Cantabria.
- Centro de Investigación del Medio Ambiente (sin fecha) *Calidad del Aire*. Disponible en: <https://cima.cantabria.es/calidad-del-aire> (Accedido: 15 de abril de 2021).
- Cohn-Berger, G. y Quezada, M. (2016) “Líquenes como bioindicadores de contaminación aérea en el corredor metropolitano de la ciudad de Guatemala”, *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 26(1), pp. 20-39.
- Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo del Gobierno de Cantabria (2011) *Calidad del aire de Cantabria*. Disponible en: <https://airecantabria.com/> (Accedido: 19 de abril de 2021).
- Conti, M.E. y Cecchetti, G. (2001) “Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review”, *Environmental Pollution*, 114(3), pp. 471–492.
- Correa-Ochoa, M.A., Vélez-Monsalve, L.C., Saldarriaga-Molina, J.C. y Jaramillo-Ciro, M.M. (2020) “Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticulous lichens in different phorophyte species”, *Ecological Indicators*, 115, pp. 106-116.
- Cristofolini, F., Giordani, P., Gottardini, E., & Modenesi, P. (2008) “The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps”, *Environmental Pollution*, 151(2), pp. 308-317.
- Cubas, P., Núñez, J., Crespo, A., & Divakar, P. K. (2010) “Líquenes: que son y su uso como bioindicadores”, *GEMM/Proyecto de Innovación*, 123(9).
- de Paz, G. A., & Burgaz, A. R. (2009) *Líquenes epifíticos del Hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid)*. Madrid: Editorial Complutense.
- Degtjarenko, P., Matos, P., Marmor, L., Branquinho, C., & Randlane, T. (2018) “Functional traits of epiphytic lichens respond to alkaline dust pollution”, *Fungal Ecology*, 36, pp. 81-88.
- Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente de Cantabria (2009) *Plan de Calidad del Aire de Cantabria 2006-2012*. Cantabria: Gobierno de Cantabria.
- El Rhzaoui, G., Divakar, P. K., Crespo, A., & Tahiri, H. (2015) “Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco”, *Lazaroa*, 36, pp. 21-30.

Fačkovcová, Z., Vannini, A., Monaci, F., Grattacaso, M., Paoli, L., & Loppi, S. (2020) “Effects of wood distillate (pyrolygneous acid) on sensitive bioindicators (lichen and moss)”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204, pp. 111-117.

Fernández-Salegui, A. B., & Terrón, A. (2003) “Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León)”, *Ecosistemas*, 12(2).

Fernández-Salegui, A. B., Terrón, A., & Barreno, E. (2006) “Bioindicadores de la calidad del aire en La Robla (León, noroeste de España) diez años después”, *Lazaroa*, 27, pp. 29-41.

Fernández-Salegui, A. B., Terrón, A., Fos, S., & Barreno, E. (2002) “Síntomas de daños por contaminantes atmosféricos en *Parmelia sulcata* Tayl. en la zona de La Robla (León, España)”, *Lazaroa*, 23, pp. 7-16.

Giordani, P. (2007) “Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy”, *Environmental Pollution*, 146(2), pp. 317-323.

Global Wind Atlas (GWA 3.0) (2021) *Global Solar Atlas – Energydata.info*. Disponible en: <https://globalwindatlas.info/> (Accedido: 17 de mayo de 2021).

Gombert, S., Asta, J., & Seaward, M. R. D. (2004) “Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France)”, *Science of the total environment*, 324(1-3), pp. 183-199.

González-Torres, D., López de Silanes, M. E. & Paz-Bermúdez, G. (2006) “Determinación de la contaminación atmosférica en la ciudad de Pontevedra mediante bioindicadores líquinicos”, *NACC: Nova acta científica compostelana*, Biología (15), pp. 37-46.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001) “PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis”, *Palaeontologia Electronica* 4(1), pp. 1-9.

Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal) (2018) *ISGlobal Ranking de Ciudades*. Disponible en: <https://isglobalranking.org/es/inicio/> (Accedido: 05 de mayo de 2021).

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2021) *Demografía y población*. Disponible en: [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica\\_P&cid=1254734710984](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254734710984) (Accedido: 12 de mayo de 2021).

Käffer, M. I., de Azevedo Martins, S. M., Alves, C., Pereira, V. C., Fachel, J., & Vargas, V. M. F. (2011) “Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil”, *Ecological Indicators*, 11(5), pp. 1319-1332.

Koch, N.M., Matos, P., Branquinho, C., Pinho, P., Lucheta, F., de Azevedo Martins, S.M. y Ferrão Vargas, V.M. (2019) “Selecting lichen functional traits as ecological indicators of the effects of urban environment”, *Science of The Total Environment*, 654, pp. 705-713.

LijteRoff, R., Lima, L., & PRieRi, B. (2009) “Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina”, *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(2), pp. 111-120.

Llop, E., Pinho, P., Matos, P., Pereira, M. J., & Branquinho, C. (2012) “The use of lichen functional groups as indicators of air quality in a Mediterranean urban environment”, *Ecological indicators*, 13(1), pp. 215-221.

McCarthy, D. P., Craig, B., & Brand, U. (2009) “Lichen monitoring of urban air quality, Hamilton, Ontario”, *Developments in Environmental Science*, 9, pp. 247-267.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2019) *Evaluación de la calidad del aire en España*. Gobierno de España.



Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (sin fecha) *PRTR-España Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes*. Disponible en: <https://prtr-es.es/> (Accedido: 06 de mayo de 2021).

Nash III, T.H. (ed) (2008) *Lichen Biology*. 2.<sup>a</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Nimis, P.L. (2016) *ITALIC 6.0, The Information System on Italian Lichens*. Disponible en: <http://italic.units.it/index.php> (Accedido: 10 de mayo de 2021).

Nimis, P.L., Lazzarin, G. y Gasparo, D. (1991) “Lichens as bioindicators of air pollution by SO<sub>2</sub> in the Veneto Region”, *Studia Geobotanica*, 11, pp. 3-76.

Nimis, P.L., Scheidegger, C. y Wolseley, P.A (2002) *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. Netherlands: Springer.

Ninyerola, M., Pons, X. y Roure, J.M. (2005) *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.

Organización Mundial de la Salud (2018) *Calidad del aire y salud*. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Accedido: 24 de marzo de 2021).

Richardson, D. H. S. (1999) “War in the world of lichens: parasitism and symbiosis as exemplified by lichens and lichenicolous fungi”, *Mycological Research*, 103(6), pp. 641–650.

Ruiz Andrés, S. (2014) *Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en aire ambiente en zonas afectadas por fuentes puntuales en Cantabria*. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.

Sett, R., & Kundu, M. (2016) “Epiphytic lichens: their usefulness as bio-indicators of air pollution”, *Danish Journal of Research in Environmental Studies*, 3(3), pp. 17-24.

Spribille, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., & McCutcheon, J. P. (2016) “Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens”, *Science*, 353(6298), pp. 488-492.

Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial (2014) *Análisis de la calidad del aire en España: evolución 2001-2012*. Gobierno de España.

Szczepaniak, K. y Biziuk, M. (2003) “Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution”, *Environmental Research*, 93(3), pp. 221-230.

Tanona, M., & Czarnota, P. (2020) “Index of Atmospheric Purity reflects the ecological conditions better than the environmental pollution in the Carpathian forests”, *Journal of Mountain Science*, 17(11), pp. 2691-2706.

Valdivia, D. & Ramírez, Á. (2018) “Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú”, *The Biologist (Lima)*, 16(1), pp. 77-95.

# ANEXO I

**Tabla 1.** Frecuencia de las especies presentes en cada estación de muestreo, así como su ubicación y la exposición de los forófitos.

N° localidad	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		Loc. control			
	SW	SE	W	NE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	SE	W	
Exposición	43° 21' 35" N / 4° 2' 42" W	43° 20' 47" N / 4° 3' 12" W	43° 21' 10" N / 4° 2' 37" W	43° 20' 24" N / 4° 3' 46" W	43° 22' 17" N / 4° 2' 28" W	43° 21' 50" N / 4° 3' 33" W	43° 21' 33" N / 4° 4' 8" W	43° 20' 58" N / 4° 2' 49" W	43° 20' 6" N / 4° 2' 58" W	43° 21' 21" N / 4° 2' 6" W	43° 21' 46" N / 4° 2' 6" W	43° 19' 44" N / 4° 17' 45" W														
Ubicación	4	6	4	5	3	4	5	4	3	4	6	5	7	6	3	6	5	6	5	7						
N° de especies																										
<i>Arthonia reticularis</i>																										
<i>Buellia alba fibrosa</i>																										
<i>Canthararia concolor</i>		10	6																							
<i>Chrysocarpus candidarius</i>																										
<i>Cladonia fibrata</i>							3																			
<i>Graphis scripta</i>														1												
<i>Heterodermia obscurata</i>		8	9				1	10	6																	
<i>Hypotrachyna adglutinata</i>																										
<i>Hysterium</i> sp.																										
<i>Lecanina nagelii</i>																										
<i>Lecanora chilensis</i>																										
<i>Lecanora conizosoides</i>																										
<i>Lecanora elaeochroma</i>																										
<i>Leparia bicava</i>	4	3																								
<i>Melanispora subaurifera</i>	1																									
<i>Normanina pulchella</i>																										
<i>Parmelia caperata</i>																										
<i>Parmotrema perlatum</i>	1	1	5																							
<i>Pertusaria amara</i>																										
<i>Pertusaria pertusa</i>																										
<i>Placophyllum nigricans</i>																										
<i>Ploceia adcredens</i>																										
<i>Ploceia alpina</i>		1																								
<i>Ploceia sempiterna</i>																										
<i>Puocrella subrudecta</i>																										
<i>Ramalina farinacea</i>																										
<i>Xanthoria parietina</i>																										